



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO GEOGRAFIA E GESTÃO DO TERRITÓRIO

ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS DA BACIA DO RIO ARAGUARI-MG: ESTIMATIVAS, MODELAGEM E CENÁRIOS

JUSSARA DOS SANTOS ROSENDO
UBERLÂNDIA/ MG
2010



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO GEOGRAFIA E GESTÃO DO TERRITÓRIO**

**ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS DA BACIA DO RIO
ARAGUARI-MG: ESTIMATIVAS, MODELAGEM E CENÁRIOS**

JUSSARA DOS SANTOS ROSENDO

**UBERLÂNDIA/ MG
2010**

JUSSARA DOS SANTOS ROSENDO

**ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS DA BACIA DO RIO
ARAGUARI-MG: ESTIMATIVAS, MODELAGEM E CENÁRIOS**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Geografia da Universidade
Federal de Uberlândia.

**Área de Concentração: Geografia e Gestão do
Território.**

Orientador: Prof. Dr. Roberto Rosa

Uberlândia/MG
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
2010

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

R813e Rosendo, Jussara dos Santos, 1980-
 Estoque de carbono nos solos da bacia do Rio Araguari-MG
 [manuscrito] : estimativas, modelagem e cenários / Jussara dos Santos
 Rosendo. - 2010.
 311 f.: il.

 Orientador: Roberto Rosa.
 Tese (doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de
 Pós-Graduação em Geografia.
 Inclui bibliografia.

 1. Geografia agrícola – Araguari (MG) - Teses. 2. Araguari, Rio,
 Bacia (MG) - Teses. 3. Solo - Manejo – Teses. I. Rosa, Roberto. II.
 Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em
 Geografia. III. Título.

CDU: 911.3:631(815.1)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Programa de Pós-Graduação em Geografia

JUSSARA DOS SANTOS ROSENDO

**ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS DA BACIA DO RIO
ARAGUARI-MG: ESTIMATIVAS, MODELAGEM E CENÁRIOS**

Banca Examinadora



Prof. Dr. Roberto Rosa (Orientador) - Instituto de Geografia/UFU



Prof. Dr. Edson Eyji Sano - Embrapa Cerrados



Prof. Dr. Wallace de Oliveira - UFMS



Prof. Dr. Beno Wendling - Instituto de Ciências Agrônômicas/UFU



Prof. Dra. Vânia Silvia Rosolen - Instituto de Geografia/UFU

Data: 07 de outubro de 2010.

Resultado: Aprovada com "Distinção"

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. **Roberto Rosa**, pela orientação, pelo exemplo profissional, paciência, estímulo e apoio. Pela permanente disponibilidade de auxílio, motivação e confiança em mim depositada nesses últimos anos.

Ao Prof. Dr. **Edson Eyji Sano**, por aceitar fazer parte da banca avaliadora final e por sua pronta disposição em ajudar. Suas sugestões e assistência foram fundamentais em várias etapas da pesquisa.

Ao Prof. Dr. **Beno Wendling**, pela imprescindível contribuição no aprendizado com o modelo Century, pela disponibilização dos dados de sua pesquisa e por participar como membro das bancas de qualificação e defesa final.

À Prof^a. Dr^a. **Vânia Silvia Rosolen**, pelas contribuições na banca de qualificação e pela participação na banca de defesa final.

Ao Prof. Dr. **Wallace de Oliveira**, por aceitar o convite para participação da defesa final.

Ao Prof. Dr. **Washington Luiz Assunção**, pelo apoio no trabalho de campo durante as coletas de solo, e por disponibilizar dados do laboratório de Climatologia da UFU.

Ao Prof. Dr. **Jorge Luís Silva Brito**, pelo acesso aos materiais do laboratório de Cartografia e aos dados de sua pesquisa.

Ao **Antônio Roberto Formaggio** (INPE) e ao **Daniel Alves Aguiar** (INPE), pela concessão dos dados da expansão da cana-de-açúcar em Minas Gerais.

Aos **colegas do curso de Geografia** da FACIP/UFU em Ituiutaba, pela compreensão. À Prof^a. Dr^a **Gerusa Gonçalves Moura** (coordenadora do curso), pelo apoio concedido.

À **Isabel Vinhal**, pela disposição e realização das análises de carbono orgânico total. Ao **Marco Aurélio, Cílon, Pablo e Gustavo**, pelo apoio na realização das análises de textura de solo.

Ao **Dr. Alexandre de Siqueira Pinto**, pelo treinamento do modelo Century.

Às secretárias do IG/UFU, **Lúcia, Janete, Cynara e Dilza**, por todos os serviços prestados.

À **Ione Vieira e Mical Marcelino**, pela correção ortográfica.

À equipe de trabalho de campo, composta por **Allan, Emerson e Gustavo**, pelo auxílio no trabalho pesado durante as coletas de solo e pelas boas risadas distribuídas nessa etapa.

Ao amigo **Roberto Rosa**, por todos os “chumbitos” merecidos, ou não, pelos ensinamentos e conselhos que ficarão para o resto da vida.

À minha família mineira (**Lizete, Sebastião, Carla, Alessandra, Éder, Minismeire e Baltazar**), pelo carinho e acolhimento de braços abertos durante os anos de trajeto SP-MG.

Ao **André**, pelo incentivo e apoio conferidos nos últimos meses de trabalho.

Ao **Rogério Gerolineto**, pela amizade, querido aluno, que agora ocupa um espaço reservado aos amigos. À **Mariane Rezende**, primeira aluna de Iniciação Científica orientada, pela aprendizagem.

Às meninas da “república” em Uberlândia, **Alcione, Aline, Josy, Camila** e, especialmente, à **Tatiana**, pela acolhida e por me fazerem sentir como em minha própria casa.

À amiga **MK (Mirna Karla)**, pelos momentos de alegria e angústia, compartilhados, mesmo à distância. Por todos os “help” com os softwares de geoprocessamento e pela convivência nos anos de LAGEO.

À **Carla e Aline** pela sempre disposição em ajudar, pelo mapeamento de uso, e por fazerem parte de muitas histórias nesses últimos anos.

Às amigas do coração e irmãs, por opção, **Cláudia, Greice, Luciana Tudisco e Luciana Teixeira** que, mesmo longe, estão sempre presentes nas recordações e pensamentos.

À **Profª. Joelma**, companheira de sonhos, alegrias, tristezas, superações e “revoluções”. Pelas palavras e “ouvidos”, quase todos os dias, desde março de 2008 até o presente momento.

À minha família, em especial à minha mãe **Lúcia**, meu pai **José**, meus irmãos **Sidi e Bruno**, pela confiança, força e apoio em todos os momentos de minha existência.

A **Deus**, meu grande, fiel e verdadeiro amigo, presente em todos os momentos de dificuldades e alegrias, pela força concedida, pelos sonhos realizados e por jamais me abandonar nesta e em outras caminhadas.

A **todos** aqueles que, de uma maneira ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho, meu muitíssimo obrigada!

RESUMO

Os solos podem funcionar como fonte ou sumidouro de carbono para a atmosfera, dependendo das condições climáticas e, sobretudo, do tipo de uso e manejo adotados. Levando-se em consideração o potencial em estocar/sequestrar C, reconhecidamente atribuídos a diversos usos da terra, como é o caso das florestas plantadas (*Pinus* e *Eucalyptus*), das áreas de plantio direto, bem como a eficiência em estocar C nos solos sob pastagens, é que se apresenta o objetivo da presente pesquisa: compreender a potencialidade em estocar C por diferentes usos da terra destacando: o reflorestamento (REF), a cultura anual irrigada (CAI); o plantio direto (PDI); o café (CAF), a cana-de-açúcar (CAN), a pastagem melhorada (PME) e a pastagem degradada (PDE), em comparação à vegetação natural de cerrado, mais especificamente a fitofisionomia denominada Cerrado/Cerradão (CER), que constitui a vegetação típica, no qual está inserida a bacia do rio Araguari-MG, para as profundidades 0-20 cm e 20-40 cm. A bacia do Rio Araguari, localizada na Mesorregião do Triângulo e Alto Paranaíba, porção oeste do Estado de Minas Gerais, está situada entre as coordenadas geográficas 18° 20' e 20° 10' de latitude Sul e 46° 00' e 48° 50' de longitude Oeste de Greenwich, ocupando uma área de 20.186 km², abrangendo parte de 20 municípios. Os resultados da pesquisa mostraram que a agricultura e a pecuária possuem elevado potencial para estocar C no solo. O estoque médio de C dos diferentes usos da terra, presentes na bacia do Rio Araguari, variou de 34,63 Mg C ha⁻¹ a 49,64 Mg C ha⁻¹ na profundidade 0-20 cm, valores relativos às médias da pastagem degradada (PDE) e cultura anual irrigada (CAI), respectivamente. Para a profundidade de 20-40 cm, a menor estimativa observada pertence também a PDE, com aproximadamente 27,51 Mg C ha⁻¹, sendo o valor máximo estimado relativo à média dos estoques de C presentes nas áreas de café (CAF). As áreas de CER, que representam o sistema de referência dessa pesquisa, apresentaram valores de 38,05 Mg C ha⁻¹ para a profundidade 0-20 cm, e 26,80 Mg C ha⁻¹, para 20-40 cm. Verificou-se que o modelo Century simulou de maneira satisfatória o estoque de C dos usos avaliados (PME, PDE e CAN), uma vez que os valores de C mensurados em campo foram muito semelhantes aos estimados pelo modelo. Dessa forma, com base na simulação, o uso que apresentou maior potencial em armazenar C no solo até o ano 2100 foi a PME (66,99 Mg C ha⁻¹). O mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal permitiu a quantificação das diferentes categorias de uso presentes na bacia do Rio Araguari-MG, distribuídos para os anos 1973 e 2009 da seguinte maneira: Cerradão/Mata (16,89 % em 1973 e 12,70 % em 2009); Cerrado (7,26 % em 1973 e 1,67 % em 2009); Campo Sujo (52,60 % em 1973 e 19,50 % em 2009); Campo Limpo (8,59 % em 1973 e 5,71 % em 2009); Reflorestamento (0,90 % em 1973 e 3,52 % em 2009); Pastagem (10,55 % em 1973 e 29,73 % em 2009); Cultura Anual (2,39 % em 1973 e 19,40 % em 2009); Cana-de-açúcar (2,48 % em 2009); Cultura Anual Irrigada (1,66 % em 2009); Cultura Perene – Café (0,18 % em 2009); Influência Mineral (0,06 % em 2009); Influência Urbana (0,53 em 1973 e 1,02 % em 2009); Água (0,30 % em 1973 e 2,35 % em 2009). Da área total da bacia (em 2009), mais de 60% são ocupados pelo uso antrópico, destes, ou seja, 29,73% destinam-se à pecuária, configurando-se a atividade econômica predominante na área. Em 1973, o carbono estocado no solo era oriundo, em sua maior parte, da vegetação natural, um montante de 34,8 Tg C (quase 50% da estimativa total de C) dos mais de 71,0 Tg C estimados. Em 2009, verifica-se o oposto, a maior parte do C armazenado se deu pelo uso antrópico (49,57 Tg C), com maior contribuição das culturas anuais sob sistema de plantio direto, quase 19 Tg C, enquanto o C estocado pela vegetação natural corresponde a 29,71 Tg C. Algumas simulações de mudança de uso da terra foram realizadas de 2009 até 2100, destacando-se a conversão das áreas sob PDE à CAN, e a recuperação das áreas de PDE, reduzindo-as a menos de 1% da área total da bacia, o impacto dessas modificações somou mais de 16 Tg de C estocado no solo.

Palavras-chave: estoque de C; modelo Century; previsão impactos.

ABSTRACT

The soils can act as a source or carbon sink to the atmosphere, depending on the climate conditions and, especially, the type of use and management adopted. Taking into consideration the stock/sequestration carbon potential, admittedly, attributed to several land uses, as in planted forests (*Pinus* and *Eucalyptus*), and no-till areas, as well as the efficiency in stocking C in the soils under pastures, is the objective of this research: the reforestation (REF), the annual irrigated cultivation (CAI); the direct plantation (PDI); the coffee (CAF), sugarcane (CAN), improved pasture (PME) and degraded pasture (PDE), in comparison to cerrado's natural vegetation, more specifically the vegetation type named Cerrado/Cerradão (CER), that's the typical vegetation, which is inserted to Araguari's river (MG state), to the depth of 0-20 cm and 20-40 cm. The river basin of Araguari River, located in the mesoregion of Triângulo and Alto Paranaíba, west portion of Minas Gerais State it's located among the geographic coordinates 18° 20' and 20° 10' latitude South and 46° 00' and 48° 50' longitude West from Greenwich, occupying an area of about 20.186 km², covering part of 20 municipalities. The results of the research showed that the agriculture and livestock have a high potential to stock C in the soil. The average C stock from different land uses, presented in Rio Araguari's river basin, varied from 34,63 Mg C ha⁻¹ to 49,64 Mg C ha⁻¹ in 0-20 cm depth, values related to the average of degraded pasture (PDE) and annual irrigated plantation (CAI), respectively. To 20-40 cm depth, the lower estimate observed also belongs to PDE, with about 27,51 Mg C ha⁻¹, in which the highest value estimated is related to the average of C stocks present in the coffee areas (CAF). The areas of CER, that represent the reference system of this research, present values from 38,05 Mg C ha⁻¹ to 0-20 cm depth, and 26,80 Mg C ha⁻¹, to 20-40 cm. It was verified that Century model simulated in a satisfactory way the C stock of the uses evaluated (PME, PDE and CAN), once that, the C values measured in field were very similar to those estimated by the model. Therefore, based on the simulation, the use which presented a larger C stocking potential in the soil until the year of 2100 was the PME (66,99 Mg C ha⁻¹). The land use and vegetation cover allowed the quantification of different categories of uses in Rio Araguari's river basin, distributed, to their of 1973 and 2009, as follows: Cerradão/Forest (16,89 % in 1973 and 12,70 % in 2009); Cerrado (7,26 % in 1973 and 1,67 % in 2009); Dry Grassland (52,60 % in 1973 and 19,50 % in 2009); Grassland (8,59 % in 1973 and 5,71 % in 2009); Reforestation (0,90 % in 1973 and 3,52 % in 2009); Pasture (10,55 % in 1973 and 29,73 % in 2009); Annual Plantation (2,39 % in 1973 and 19,40 % in 2009); Sugarcane (2,48 % in 2009); Annual Irrigated Plantation (1,66 % in 2009); Perennial Plantation – Coffee (0,18 % in 2009); Mineral Influence (0,06 % in 2009); Urban Influence (0,53 in 1973 and 1,02 % in 2009); Water (0,30 % in 1973 and 2,35 % in 2009). From the basin's total área (in 2009), more than 60% are occupied by anthropic use, among these, 29,73% are destined to livestock, which is the predominant economic activity in the area. In 1973, the stocked carbon in the soil was from, the most part of it, natural vegetation, a sum of 34,8 Tg C (almost 50% from the total estimative of C) of over 71,0 Tg C estimated. In 2009, the opposite was verified, the most part of the stocked C happened through anthropic use (49,57 Tg C), with a bigger contribution from annual plantations under direct plantation system, almost 19 Tg C, while the stocked C through natural vegetation corresponds to 29,71 Tg C. Some change simulations of the land use were done from 2009 until 2100, highlighting the conversion of the areas under PDE to CAN, and the recovery of PDE's areas, reducing them to less of than 1% of the total basin area, the impact of these modifications totaled more than 16 Tg of C stocked in the soil.

Keywords: C stock; Century model; impact prevision.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da bacia do Rio Araguari-MG.....	29
Figura 2: Municípios pertencentes a bacia do Rio Araguari-MG	30
Figura 3: Mapa de solos da Bacia do rio Araguari	36
Figura 4: Mapa de declividade da bacia do Rio Araguari	37
Figura 5: Mapa Hipsométrico da bacia do Rio Araguari.....	38
Figura 6: Mudanças na temperatura, no nível do mar e na cobertura de neve no Hemisfério Norte	43
Figura 7: Mudanças nos sistemas físicos, biológicos e na temperatura superficial de 1970 – 2004.	46
Figura 8: Série temporal do índice de Oscilação Decadal do Pacífico (ODP)	55
Figura 9: Série temporal do Índice Multivariado de El Niño-Oscilação Sul,.....	56
Figura 10: Desvios de temperatura média global da troposfera, obtidos por MSU a bordo de satélites	57
Figura 11: Desvios da temperatura média global, com relação à média do período 1961-90, obtidos em estações meteorológicas de superfície	60
Figura 12: Estoques globais de carbono nos ecossistemas terrestres.	68
Figura 13: Representação simplificada do ciclo do C e seus principais reservatórios e fluxos.	69
Figura 14: Padrões de emissão de gases do efeito estufa global e do Brasil.	70
Figura 15: Fatores que afetam a capacidade de absorção de C pelo solo.....	72
Figura 16: Mudanças do estoque de carbono ao longo do tempo e liberação do carbono como função das práticas agrícolas	75
Figura 17: Fatores que afetam as taxas de sequestro de carbono orgânico do solo em solos agrícolas.....	77
Figura 18: Principais processos no solo que influenciam o conteúdo de carbono no solo.....	79
Figura 19: Figura: Opções de mitigação	83
Figura 20: Resumo esquemático do ciclo de C nos solos	86
Figura 21: Adoção do plantio direto na palha em detrimento ao sistema de preparo convencional do solo como prática atenuadora do aquecimento global.	102
Figura 22: Emissão de gases do efeito estufa e sequestro de carbono pelo solo devido na colheita da cana-de-açúcar com e sem queima.....	103
Figura 23: Representação simplificada do conceito de pastagem degradada.....	113

Figura 24: Localização do Cerrado no Brasil.....	117
Figura 25: Representação pictórica das fisionomias de vegetação mais comuns no cerrado.	120
Figura 26: Representação dos principais estoques e fluxos do ciclo de carbono no Cerrado brasileiro	122
Figura 27: Mapa do estoque de carbono (0-30 cm) nos solos do Brasil sob vegetação nativa	125
Figura 28: Compartimentos e fluxos de C no modelo de simulação CENTURY v.4.0.....	127
Figura 29: Foto ilustrativa do possível efeito de aumento da densidade do solo causado pela utilização de maquinário agrícola.....	167
Figura 30: Imagens MSS/Lansat2 utilizadas para o mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal da Bacia do Rio Araguari-MG (1973)	205
Figura 31: Imagens TM/Lansat5 utilizadas para o mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal da Bacia do Rio Araguari-MG (1973)	205
Figura 32: Mosaico da composição colorida 4B5G7R para o sensor MSS/Landsat 2 (1973)	208
Figura 33: Mosaico da composição colorida 3B4R5G para o sensor TM/Landsat 5 (2009) .	208
Figura 34: Mapa de uso da terra e cobertura vegetal natural da bacia do Rio Araguari-MG (1973)	211
Figura 35: Mapa de uso da terra e cobertura vegetal natural da bacia do Rio Araguari-MG (1973)	212
Figura 36: Mapa de vegetação natural e uso antrópico na bacia do Rio Araguari-MG (1973)	216
Figura 37: Mapa de vegetação natural e uso antrópico na bacia do Rio Araguari-MG (2009)	216
Figura 38: Mapa da cana-de-açúcar em Minas Gerais (safra 2009/2008).....	224
Figura 39: Mapa da cana-de-açúcar nos municípios inseridos na bacia do Rio Araguari-MG (safra 2009/2010).....	227

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Área sob plantio direto no mundo	97
Tabela 2: Evolução da Área de Plantio Direto no Brasil.....	97
Tabela 3: Produção Mundial de cana-de-açúcar.....	104
Tabela 4: Estoques de C na vegetação e 1 metro de profundidade do solo.....	109
Tabela 5: Acúmulo de C (Mg ha^{-1}) em solos sobre diferentes pastagens.....	116
Tabela 6: Estoque de carbono da serrapilheira do Cerrado brasileiro em tC ha^{-1} , para as diferentes fitofisionomias, estimado por meio de amostragem por subparcelas.	123
Tabela 7: Estoques de C em diferentes profundidades no Brasil, para condições de vegetação não perturbadas (Brasil).....	124
Tabela 8: Localização e caracterização do Cerrado (CER)	136
Tabela 9: Localização e caracterização do reflorestamento (REF)	137
Tabela 10: Localização e caracterização da cultura anual irrigada (CAI).....	138
Tabela 11: Localização e caracterização do plantio direto (PDI).....	139
Tabela 12: Localização e caracterização do café (CAF)	140
Tabela 13: Localização e caracterização da cana-de-açúcar (CAN)	141
Tabela 14: Localização e caracterização da pastagem melhorada (PME).....	142
Tabela 15: Localização e caracterização da pastagem degradada (PDE).....	143
Tabela 16: Estoque de C (baseado nas médias) do CER (cerrado), REF (reflorestamento), CAI (cultura anual irrigada), PDI (plantio direto), CAF (café), CAN (cana-de-açúcar), PME (pastagem melhorada) e PDE (pastagem degradada) para as profundidades 0-20 cm e 20-40 cm	148
Tabela 17: Estoques de C, densidade, pH e granulometria das áreas de cerrado (CER) para as profundidades 0-20 e 20-40 cm.	149
Tabela 18: Estoques de C, densidade, pH e granulometria das áreas de pastagem degradada (PDE) para as profundidades 0-20 e 20-40 cm.....	150
Tabela 19: Estoques de C, densidade, pH e granulometria das áreas de cultura anual irrigada (CAI) para as profundidades 0-20 e 20-40 cm.	153
Tabela 20: Estoques de C, densidade, pH e granulometria das áreas de pastagem melhorada (PME) para as profundidades 0-20 e 20-40 cm.	154
Tabela 21: Estoques de C, densidade, pH e granulometria das áreas de plantio direto (PDI) para as profundidades 0-20 e 20-40 cm.....	155

Tabela 22: Estoques de C, densidade, pH e granulometria das áreas de cana-de-açúcar (CAN) para as profundidades 0-20 e 20-40 cm.....	156
Tabela 23: Estoques de C, densidade, pH e granulometria das áreas de café (CAF) para as profundidades 0-20 e 20-40 cm.	156
Tabela 24: Estoques de C, densidade, pH e granulometria das áreas de reflorestamento (REF) para as profundidades 0-20 e 20-40 cm.....	160
Tabela 25: Taxa de adição ou perda de C dos diferentes usos em relação a vegetação natural (CER).....	161
Tabela 26: Média das densidades dos diferentes usos da terra presentes na bacia do Rio Araguari.....	165
Tabela 27: Coeficiente de correlação dos estoques de carbono dos usos da terra presentes na bacia do Rio Araguari com a densidade, pH, areia grossa, areia fina, silte, argila e umidade, para as profundidades 0-20 e 20-40 cm.....	170
Tabela 28: Médias de temperatura e precipitação para o município de Uberlândia-MG.....	174
Tabela 29: Características das áreas testes utilizadas para modelagem no Century	175
Tabela 30: Valores medidos e simulados para o COT em áreas de Cerrado (CER), pastagem melhorada (PME), pastagem degradada (PDE) e cana-de-açúcar (CAN) na bacia do Rio Araguari-MG	180
Tabela 31: Valores simulados para o COT, C Ativo, Lento e Passivo em áreas de Cerrado (CER), pastagem melhorada (PME), pastagem degradada (PDE) e cana-de-açúcar (CAN) na bacia do Rio Araguari-MG	181
Tabela 32: Estimativa da taxa de adição anual de C dos diferentes usos em relação a vegetação natural (CER) até o ano 2009	183
Tabela 33: Porcentagem dos compartimentos Ativo, Lento e Passivo com relação ao COT dos usos da terra em 2009	186
Tabela 34: Estimativa da taxa de adição anual de C dos diferentes usos em relação a vegetação natural (CER) para o ano 2100	194
Tabela 35: Imagens do satélite Landsat utilizadas para o mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal da Bacia do Rio Araguari-MG	204
Tabela 36: Legenda do mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal natural utilizada nos períodos de 2009 e 1973	213
Tabela 37: Área ocupada (ha e %) por cada classe de uso da terra e cobertura vegetal natural - Bacia do Rio Araguari-MG nos anos 1973 e 2009.....	214
Tabela 38: Estimativa de estoque de C na bacia do Rio Araguari-MG para 1973 e 2009	221

Tabela 39: Contribuição da vegetação natural e do uso antrópico no estoque de C da bacia do Rio Araguari-MG (2009).....	222
Tabela 40: Área total ocupada pela cana-de-açúcar em Minas Gerais das safras 2005/2006 a 2009/2010	223
Tabela 41: Área total ocupada pela cana-de-açúcar nos municípios inseridos na bacia do Rio Araguari-MG das safras 2005/2006 a 2009/2010.....	225
Tabela 42: Valores utilizados nos diferentes períodos e tipos de cultura para os anos 2009, 2020, 2050 e 2100	235
Tabela 43: Impacto no estoque de C nas áreas ocupadas pela pastagem degradada, pastagem melhorada e cana-de-açúcar (2009).....	235
Tabela 44: Impacto no estoque de C nas áreas ocupadas pela pastagem degradada, pastagem melhorada e cana-de-açúcar (2020).....	236
Tabela 45: Impacto no estoque de C nas áreas ocupadas pela pastagem degradada, pastagem melhorada e cana-de-açúcar (2020).....	237
Tabela 46: Impacto no estoque de C nas áreas ocupadas pela pastagem degradada, pastagem melhorada e cana-de-açúcar (2020).....	238
Tabela 47: Impacto no estoque de C da bacia do Rio Araguari-Mg a partir da substituição da pastagem degradada por melhorada e cana-de-açúcar (2009, 2020, 2050 e 2100)	241

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Médias dos estoques de C (Mg ha^{-1}) para o cerrado (CER), reflorestamento (REF), cultura anual irrigada (CAI), plantio direto (PDI), café (CAF), cana-de-açúcar (CAN), pastagem melhorada (PME) e pastagem degradada (PDE).....	149
Gráfico 2: ΔEstC para os diferentes usos da terra presentes na bacia do Rio Araguari para as profundidades 0-20 cm e 20-40 cm	161
Gráfico 3: Média das densidades do solo para os diferentes usos da terra.....	166
Gráfico 4: Média dos teores de argila apresentados pelos diferentes usos da terra na bacia do Rio Araguari-MG	168
Gráfico 5: Variação do estoque de COT na pastagem melhorada (PME) na bacia do Rio Araguari-MG	183
Gráfico 6: ΔEstC dos usos da terra em relação a vegetação natural de cerrado.....	184
Gráfico 7: Variação do estoque de COT na pastagem degradada (PDE) na bacia do Rio Araguari-MG	185
Gráfico 8: Variação do estoque de COT na cana-de-açúcar (CAN) na bacia do Rio Araguari-MG.....	186
Gráfico 9: Variação do estoque de C Ativo na pastagem melhorada (PME) na bacia do Rio Araguari-MG	187
Gráfico 10: Variação do estoque de C Ativo na pastagem degradada (PDE) na bacia do Rio Araguari-MG	187
Gráfico 11: Variação do estoque de C Ativo na cana-de-açúcar (CAN) na bacia do Rio Araguari-MG	188
Gráfico 12: Variação do estoque de C Lento na pastagem melhorada (PME) na bacia do Rio Araguari-MG	189
Gráfico 13: Variação do estoque de C Lento na pastagem degradada (PDE) na bacia do Rio Araguari-MG	189
Gráfico 14: Variação do estoque de C Lento na cana-de-açúcar (CAN) na bacia do Rio Araguari-MG	190
Gráfico 15: Variação do estoque de C Passivo na pastagem melhorada (PME) na bacia do Rio Araguari-MG	191
Gráfico 16: Variação do estoque de C Passivo na pastagem degradada (PDE) na bacia do Rio Araguari-MG	191

Gráfico 17: Variação do estoque de C Passivo na cana-de-açúcar (CAN) na bacia do Rio Araguari-MG	192
Gráfico 18: Estoque de COT nos diferentes dos usos da terra e das substituições dos usos em relação ao CER para o ano 2100	194
Gráfico 19: Simulação dos teores de COT na PME, PDE e o efeito da substituição no teores de COT da PDE por PME até o ano 2100	195
Gráfico 20: Δ EstC dos usos da terra e das substituições dos usos em relação ao CER para o ano 2100	195
Gráfico 21: Simulação dos teores de COT na CAN e o efeito da substituição no teores de COT da PDE por CAN e PME por CAN até o ano 2100.....	196
Gráfico 22: Simulação dos teores de C Ativo na PME, PDE e o efeito da substituição dos teores de COT da PDE por PME.....	197
Gráfico 23: Simulação dos teores de C Lento na PME, PDE e o efeito da substituição nos teores de COT da PDE por PME.....	198
Gráfico 24: Simulação dos teores de C Lento na PME, PDE e o efeito da substituição nos teores de COT da PDE por PME.....	198
Gráfico 25: Simulação dos teores de C Ativo na CAN e o efeito da substituição dos teores de COT da PDE e PME por CAN	199
Gráfico 26: Simulação dos teores de C Lento na CAN e o efeito da substituição dos teores de COT da PDE e PME por CAN	199
Gráfico 27: Simulação dos teores de C Passivo na CAN e o efeito da substituição dos teores de COT da PDE e PME por CAN	200
Gráfico 28: Área ocupada (%) por cada uso da terra presente na bacia do Rio Araguari-MG nos anos 1973 e 2009	215
Gráfico 29: Estoque de C na bacia do Rio Araguari-MG (Tg)	220
Gráfico 30: Estimativa do estoque de C para a bacia do Rio Araguari-MG (1973 e 2009)...	222
Gráfico 31: Área (ha) ocupada pelos municípios produtores de cana-de-açúcar inseridos na bacia do Rio Araguari-MG (safra 2005/2006 até 2009/2010).....	225
Gráfico 32: Expansão (ha) da cana-de-açúcar e pastagem melhorada sobre as áreas destinadas às pastagens degradadas (2009 a 2100).....	238
Gráfico 33: Impacto no estoque de C da expansão da cana-de-açúcar e pastagem melhorada sobre as áreas destinadas às pastagens degradadas (2009 a 2100).....	239

Gráfico 34: Impacto no estoque de C da bacia do Rio Araguari-Mg a partir da modificação de uso nas áreas sob cana-de-açúcar, pastagens degradada e melhorada (2009, 2020, 2050 e 2100).....	242
Gráfico 35: Estoque de C para a bacia do rio Araguari considerando a modificação de uso nas áreas sob cana-de-açúcar, pastagens degradada e melhorada (2009, 2020, 2050 e 2100)	242

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Unidades Geomorfológicas da Bacia do rio Araguari.....	33
Quadro 2: Quadro de correlação das características ambientais dos compartimentos morfoesculturais da Bacia do rio Araguari.....	34
Quadro 3: Classe de solos da Bacia do rio Araguari	35
Quadro 4: Passos para coleta das amostras de solo nas profundidades 0-20 e 20-40 cm	134
Quadro 5: Fotos do cerrado	136
Quadro 6: Fotos do reflorestamento	137
Quadro 7: Fotos da cultura anual irrigada (CAI).....	138
Quadro 8: Fotos do plantio direto (PDI).....	139
Quadro 9: Fotos do café (CAF)	140
Quadro 10: Fotos da cana-de-açúcar (CAN)	141
Quadro 11: Fotos da pastagem melhorada (PME)	142
Quadro 12: Fotos da pastagem degradada (PDE).....	143
Quadro 13: Passos para coleta das amostras de densidade do solo	145
Quadro 14: Estoques de C observados em pesquisas realizadas por diferentes autores e a comparação com dados observados nesta pesquisa (Mg C ha^{-1}).....	152
Quadro 15: Histórico de uso das áreas utilizadas para modelagem no Century.....	177
Quadro 16: Exemplo de chave de interpretação utilizada para o mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal na bacia do Rio Araguari-MG.....	210

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Modelo de planilha para coleta de solo em campo	273
Anexo 2: Questionário aplicado aos produtores com intuito de conhecer o histórico de uso da área.....	274
Anexo 3: Arquivo de dados locais do modelo Century (SITE.100).....	275
Anexo 4: Dados do arquivo utilizado para equilíbrio do cerrado (TREE.100).....	287
Anexo 5: Esquema do arquivo utilizados para realizar equilíbrio do Cerrado (.sch).....	289
Anexo 6: Esquema de arquivo utilizado para realizar a modelagem da pastagem melhorada (PME), desde o ano em que houve a derrubada do cerrado até o ano 2100. Arquivos “.sch”	290
Anexo 7: Esquema de arquivo utilizado para realizar a modelagem da pastagem degradada (PDE), desde o ano em que houve a derrubada do cerrado até o ano 2100. Arquivos “.sch”.	292
Anexo 8: Esquema de arquivo utilizado para realizar a modelagem da cana-de-açúcar (CAN), desde o ano em que houve a derrubada do cerrado até o ano 2100. Arquivos “.sch”	293
Anexo 9: Esquema de arquivo utilizado para substituição da PDE por PME do ano 2009 até 2100. Arquivos “.sch”	295
Anexo 10: Esquema de arquivo utilizado para substituição da PDE por CAN do ano 2009 até 2100. Arquivos “.sch”	296
Anexo 11: Esquema de arquivo utilizado para substituição da PME por CAN do ano 2009 até 2100. Arquivos “.sch”	298
Anexo 12: Valores do arquivo “FIX.100”	300
Anexo 13: Valores do arquivo “FIX.100”	302
Anexo 14: Equipes de campo (extras)	311

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	22
2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	28
3 MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS.....	40
3.1 Variabilidade Antropogênica	41
3.1.2 Variabilidade Natural do Clima	47
3.3 Oscilação Decadal do Pacífico (ODP)	55
3.4 A Polêmica do CO ₂	61
4 RESERVATÓRIOS DE CARBONO E CARBONO ORGÂNICO DO SOLO.....	66
4.1 Sequestro de carbono e o uso da terra	93
4.2 Vegetação Nativa – Cerrado	116
4.3 Modelo Century	125
5 ESTOQUES DE CARBONO NOS SOLOS DA BACIA DO RIO ARAGUARI-MG.129	
5.1 Material e Métodos.....	131
5.1.1 Materiais.....	131
5.2 Métodos.....	132
5.2.1 Seleção e amostragem	132
5.3 Resultados e Discussão	147
5.3.1 Estoque de carbono nos diferentes tipos de uso da terra e cobertura vegetal.....	147
5.3.2 Comparação do potencial de sequestro de carbono dos diferentes tipos de uso com a vegetação nativa (Δ EstC)	160
5.4.3 Correlação entre o estoque de carbono e as variáveis físico-químicas do solo	164
6. UTILIZAÇÃO DO MODELO CENTURY NA SIMULAÇÃO DO CARBONO SOB DIFERENTES USOS NA BACIA DO RIO ARAGUARI.....	171
6.1 Material e Métodos.....	173
6.1.1 Localização da área de estudo e amostragem.....	173

6.2 Resultados e Discussão	175
6.2.1 Calibração do modelo.....	175
6.2.2 Dados de entrada no modelo Century	178
6.2.3 Simulação do cenário atual (2009).....	181
6.2.4 Simulação dos cenários futuros.....	192
7 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO MAPEAMENTO DE ESTOQUE DE CARBONO NA BACIA DO RIO ARAGUARI-MG.....	202
7.1 Material e Métodos.....	203
7.1.1 Materiais.....	203
7.1.2 Softwares.....	206
7.1.3 Procedimentos Operacionais	206
7.2 Resultados e Discussão	209
7.2.1 Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal em 1973 e 2009.....	209
7.2.2 Estoque e emissões de C em 1973 e 2009.....	218
7.2.3 A expansão da cana-de-açúcar na bacia do Rio Araguari-MG	222
8 MODIFICAÇÃO DE USO DA TERRA E CENÁRIOS PROPOSTOS PARA A BACIA DO RIO ARAGUARI (2020, 2050 E 2100)	228
8.1 Material e Métodos.....	230
8.1.1 Procedimentos Operacionais	230
8.2 Resultados e Discussão	231
8.2.1 Impacto no estoque de C a partir da mudança de uso da terra estimada para 2020, 2050 e 2100.....	233
8.2.2 Impacto das mudanças de uso da terra propostas no estoque de C da bacia do Rio Araguari- MG (2020, 2050 e 2100).....	239
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	246
REFERÊNCIAS	256
ANEXOS	272

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C	Carbono
CAI	Café
CAI	Cultura Anual Irrigada
CAN	Cana-de-açúcar
CER	Cerrado
CMOM	Carbono da Matéria Orgânica Morta
CMOV	Carbono da Matéria Orgânica Viva
COS	Carbono Orgânico do Solo
COT	<i>Carbono Orgânico Total</i>
GEE	Gases de Efeito Estufa
GEI	Gases de Efeito Invernadero
MSS	<i>Multi-spectral Scanner System</i>
N	Nitrogênio
PDE	Pastagem Degradada
PDI	Plantio Direto
PME	Pastagem Melhorada
REF	Reflorestamento
RPMs	<i>Recommended Management Practices</i>
SIC	<i>Carbon Inorganic of Soil</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SOC	<i>Carbon Organic of Soil</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>

INTRODUÇÃO

A ocorrência de mudanças climáticas globais, em consequência da ação humana na superfície terrestre, tem acirrado inúmeras discussões, principalmente no que se refere ao aquecimento global provocado pela emissão de gases provenientes do desmatamento, queimadas e conversão de florestas em áreas agrícolas, todavia uma das causas mais polêmicas está associada à queima de combustíveis fósseis.

A percepção que se tem é a de que as mudanças climáticas globais nunca foram tão comentadas/discutidas como atualmente¹. Nos mais variados meios de comunicação, é possível ter acesso a reportagens, debates, informes, relatórios, artigos científicos, dentre outros materiais sobre o assunto. Diariamente, o tema é tratado nos mais diversos telejornais. Como resultado, tem-se uma variedade de informações que, muitas vezes, sem preceitos científicos, assombram a população. Até mesmo em alguns anúncios na televisão, as mudanças climáticas globais, representadas principalmente pelo aquecimento global, tornaram-se motivos para a comercialização dos mais variados produtos (calçados, automóveis, etc.).

É a intensificação do efeito estufa, causada pela emissão de gases poluentes provenientes de atividades antrópicas, que preocupa a comunidade científica de maneira geral, pois se alerta para os riscos relacionados a essa intensificação, como por exemplo, a elevação da temperatura terrestre e consequente aumento no nível dos mares.

¹ A autora relata, neste parágrafo, a percepção que teve ao estar inserida como parte integrante de uma sociedade que foi alarmada de um fenômeno (Aquecimento Global) que vem sendo discutido há anos, mas que a partir do ano de 2007 tal assunto foi destaque diário nos diversos meios de comunicação.

As controvérsias sobre a comprovação científica de que as variações e mudanças climáticas recentes são causadas pela ação humana, podendo ser resultantes de causas naturais, não reduzem a gravidade e as ameaças da crescente poluição atmosférica.

A importância dada às alterações na concentração de dióxido de carbono está no fato deste ser produzido antropicamente, por intermédio da queima de combustíveis fósseis, das atividades industriais e, por fim, das queimadas e desmatamentos da cobertura vegetal, ao passo que, dentre as atividades antrópicas, a agricultura pode ser considerada umas das atividades que mais pode influenciar na concentração de CO₂ atmosférico.

Nesta perspectiva, os solos podem funcionar como fonte ou sumidouro de carbono para a atmosfera, dependendo das condições climáticas e, sobretudo, do tipo de manejo adotado. Nessas circunstâncias, mesmo a agricultura sendo considerada uma grande “vilã” (para alguns autores), pois exige, para sua prática, a retirada da cobertura vegetal natural e, em muitos casos, a queimada para completar a limpeza da área, não é permissível pensar em extinguir o modelo vigente de produção agrícola, levando-se em consideração a grande quantidade de nascimentos que acontecem por dia em todo planeta. Dessa forma, é preciso pensar em modelos que evitem, ou, pelo menos, minimizem os impactos causados pela agricultura.

Pesquisas recentes mostram que a agricultura, praticada em condições de manejo adequadas, tem promovido o sequestro de carbono. EMBRAPA (2005) aponta que o sistema de plantio direto acumula no solo cerca de 1,43 Mg/ha/ano de carbono, podendo ser uma opção para minimizar o efeito estufa deste gás e abrir boas perspectivas para a venda de *commodities*. Nessa condição, a pastagem de *Brachiaria* acumula 0,92 Mg/ha/ano de carbono e uma floresta de *Eucaliptus* cerca de 1,22 Mg/ha/ano de carbono. Além das áreas de agricultura, o sistema savânico é considerado uma importante fonte sequestradora de CO₂ atmosférico.

Levando-se em conta que o Cerrado pertence ao ambiente savânico, pode-se afirmar que este é responsável pela absorção de 0,9 Gt C/ano (FAO, 2010).

Com base nesses dados, não se pode ignorar o potencial das áreas ocupadas pela agricultura e pecuária na mitigação do efeito decorrente de gases de efeito estufa, sendo primordial otimizar a produção das áreas já em processo de exploração, evitando o avanço sobre as áreas remanescentes, o que permite a preservação da grande biodiversidade presente no Cerrado.

Por sua vez, a vegetação nativa tem grande importância na manutenção do estoque de C, sendo fundamental o monitoramento dessas áreas. Entretanto não se pode desprezar o potencial das áreas ocupadas por pastagens, culturas anuais e perenes, que também contribuem de forma significativa para o estoque de C, algumas vezes, superando os valores obtidos pela vegetação nativa.

Em virtude da prática da agropecuária muito contribuir para o desflorestamento da vegetação, sobretudo quando as condições do solo se remetem às práticas do cultivo em escala comercial, é necessário um maior acompanhamento dessas atividades agrícolas, até mesmo para conhecimento das consequências que esse desflorestamento pode ocasionar, seja em escala local ou em adição às modificações climáticas globais. Extensas áreas, originalmente cobertas por Cerrado, vêm sendo substituídas por pastagens e diferentes tipos de cultivo.

A opção de pesquisar a bacia hidrográfica do Rio Araguari se deu em virtude desta apresentar vastas áreas ocupadas com agricultura e pastagens. Sabendo-se da relevância econômica desta bacia na região em que está inserida, é fundamental que sejam elaborados dados precisos das áreas ocupadas pelas diferentes categorias de uso da terra e cobertura vegetal natural. Estes dados serão organizados a partir da utilização de sensores orbitais com resolução espacial decimétrica (MSS/Landsat1 e TM/Landsat5). A referida bacia também apresenta significativa importância econômica na criação de gado e na produção de grãos, tornando a região do

Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba um entreposto comercial na distribuição de produtos agropecuários e industrializados.

No intuito de monitorar áreas já ocupadas com a prática da agropecuária e de fiscalizar as áreas ainda cobertas com vegetação natural, faz-se pertinente o emprego de tecnologias como o Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, que possibilitam o monitoramento de extensas áreas com baixo custo. Neste aspecto, é cada vez mais comum a utilização de imagens de satélite que apresentam resolução moderada a global no estudo das modificações do uso da terra e no estado da vegetação, assim como as mudanças climáticas globais, no sentido de combater e prevenir os impactos ambientais causados pela ação do homem na superfície terrestre.

Neste contexto, as imagens fornecidas por satélites, especialmente os da série Landsat, oferecem resoluções espacial, espectral e temporal que propiciam estudos da acentuada dinâmica espaço-temporal do uso e ocupação da terra em áreas de Cerrado. O uso de tais imagens, atualmente, é facilitado, uma vez que o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) disponibiliza estas imagens gratuitamente.

Tais características conferem à bacia do rio Araguari a justificativa de se efetivar o presente trabalho sobre a potencialidade de estoque de carbono em áreas agrícolas, podendo tornar-se referencial deste tipo de pesquisa em áreas de Cerrado, sobretudo Cerrado mineiro, buscando suprir a falta de estudos relacionadas na área.

Esse tipo de pesquisa é de suma importância, tendo em vista a necessidade da produção de alimentos em conformidade com as preocupações ambientais, de forma a elevar o aproveitamento das terras já destinadas à agricultura, bem como promover a preservação das áreas de vegetação natural ainda restantes, levando-se em conta o potencial em estocar/sequestrar C reconhecidamente atribuídos a diversos usos da terra, com manejo

adequado (LAL, 2006), como é o caso das florestas plantadas (*Pinus* e *Eucaliptus*) (WENDLING, 2007), as áreas de plantio direto (METAY et al. 2007; EMBRAPA, 2005) , bem como a eficiência em estocar C nos solos sob pastagens (FAO, 2010).

A hipótese que permeia esta pesquisa é a de que o manejo adequado das áreas agrícolas permite o aumento da potencialidade de estoque de carbono do solo, contribuindo para a diminuição do carbono na atmosfera e, conseqüentemente, reduzindo os efeitos nas mudanças climáticas.

O principal objetivo da pesquisa é avaliar a dinâmica do estoque de carbono nos solos da bacia do Rio Araguari-MG, em diferentes usos da terra, a partir de estimativas do estoque de carbono orgânico total, modelagens realizada pelo modelo Century e a previsão de cenários até o ano 2100.

Esta tese foi estruturada de forma que o capítulo 1, além da Introdução, apresenta a justificativa, a hipótese e o objetivo da presente pesquisa. A localização e a caracterização da área de estudo é realizada no capítulo 2.

O terceiro capítulo traz informações relevantes acerca das mudanças climáticas globais e pretende promover, no leitor, o questionamento sobre até que ponto o homem é o causador do aquecimento global. Apresentamos uma discussão que envolve, de um lado, a variabilidade antropogênica e, de outro, a variabilidade natural do clima.

No capítulo 4, expõe-se a fundamentação teórica que embasou os conhecimentos necessários para a compreensão da dinâmica do estoque de carbono pelos solos. Os principais focos abordados são a importância da matéria orgânica do solo (MOS) e o estoque de carbono pelo uso da terra.

A discussão dos resultados alcançados inicia-se a partir do capítulo 5, cujo objetivo é avaliar o estoque de carbono do solo nos diferentes tipos de usos da terra e a cobertura vegetal na bacia do Rio Araguari-MG, em comparação às áreas de Cerrado nativo. No capítulo 6, apresentam-se os resultados obtidos pela utilização do modelo Century, versão 4.5, na simulação da dinâmica do C do solo, para algumas áreas testes presentes na bacia do Rio Araguari-MG.

No capítulo 7, é realizado o mapeamento do uso da terra e da cobertura vegetal da área de pesquisa nos períodos que contemplam os anos de 1973 e 2009, bem como a espacialização de algumas simulações até o ano 2100.

No capítulo 8, são apresentados os resultados das simulações de modificação de uso da terra e os cenários propostos para a bacia do Rio Araguari-MG nos anos 2020, 2050 e 2100.

2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área escolhida para ser objeto de estudo da pesquisa é a bacia do rio Araguari, localizada na Mesorregião do Triângulo e Alto Paranaíba, na porção oeste do estado de Minas Gerais; compreende a maior parte da região do Triângulo Mineiro, fazendo divisa com a bacia do rio Tijuco a oeste e sudoeste, com a bacia do rio Grande ao sul, com a bacia do São Francisco a leste, com a bacia do rio Dourados a norte e noroeste, e com as nascentes do rio Paranaíba ao norte (Figura 1).

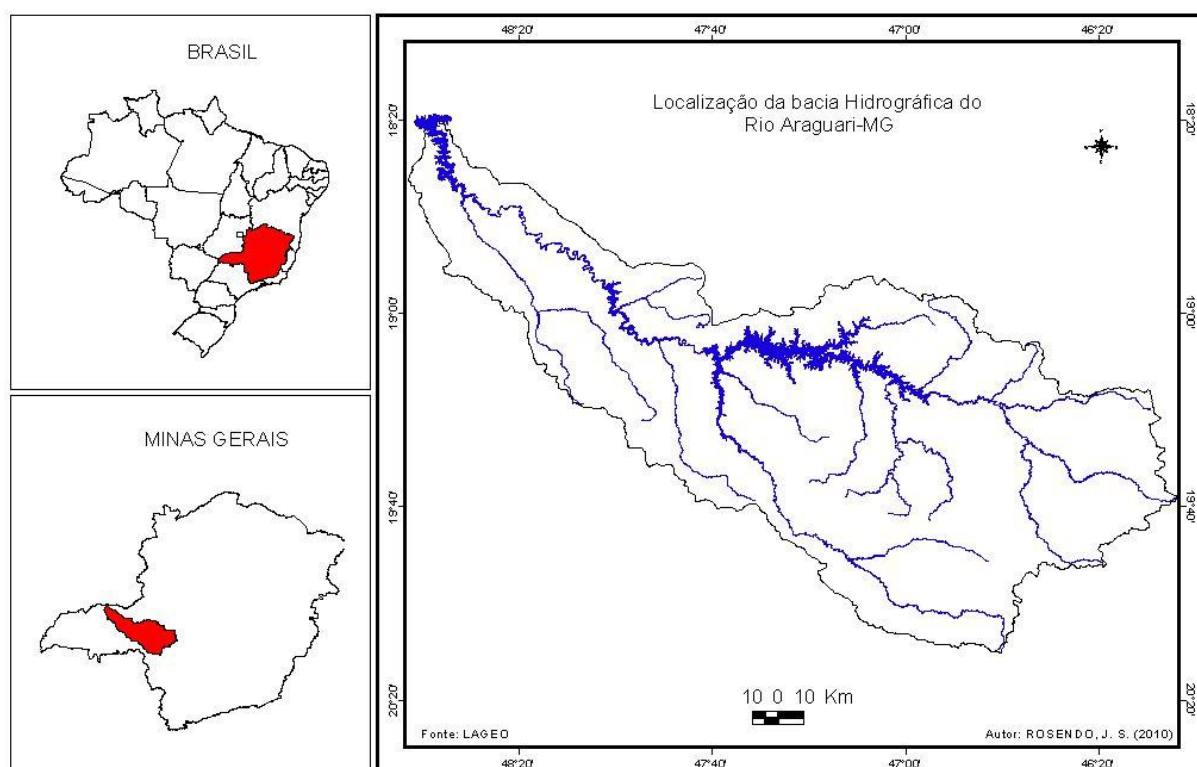


Figura 1: Mapa de localização da bacia do Rio Araguari-MG

Está situada entre as coordenadas geográficas de $18^{\circ} 20'$ e $20^{\circ} 10'$ de latitude sul e $46^{\circ} 00'$ e $48^{\circ} 50'$ de longitude oeste de Greenwich, ocupando uma área de 20.186 km², abrangendo

parte dos seguintes municípios: Araguari, Araxá, Campos Altos, Ibiá, Indianópolis, Iraí de Minas, Nova Ponte, Patrocínio, Pedrinópolis, Perdizes, Pratinha, Rio Paranaíba, Sacramento, Santa Juliana, São Roque de Minas, Serra do Salitre, Tapira, Tupaciguara, Uberaba e Uberlândia (Figura 2). Por não haver necessária concordância entre o limite da bacia e as áreas (divisões) municipais, parte desses municípios não possui suas áreas totalmente compreendidas na área da bacia.



Figura 2: Municípios pertencentes a bacia do Rio Araguari-MG

A maior parte da bacia encontra-se inserida na vegetação do tipo Cerrado. Lima et al. (2004) apresentaram uma breve caracterização do Bioma Cerrado:

O domínio dos Cerrados cobre cerca de 2.000.000 km², equivalente a pouco mais de 20 % do território brasileiro. Caracteriza-se por dois estratos: um herbáceo, que recobre os solos ou aparece em tufo, com altura média de 50 cm, formado por gramíneas, plantas lenhosas rasteiras e palmeiras acaules; o outro, arbustivo arbóreo com dossel descontínuo e densidade variável, é constituído por plantas lenhosas de médio a pequeno porte, com galhos

retorcidos, cascas espessas suberosas, grandes folhas coriáceas. A vegetação dos Cerrados é bastante rica, contando com mais de 800 espécies, das quais as arbustivas e arbóreas são bastante resistentes ao fogo (FURLEY e RATTER, 1988 apud LIMA et al. 2004).

Lima et al., (2004) consideraram que o Triângulo Mineiro compreende planaltos de estrutura complexa, cobertos por cerrados e cerradões nos interflúvios, e florestas de galeria ao longo dos vales, topos das colinas muito largos com latossolos de baixa fertilidade.

Em virtude do elevado grau de antropização presente na área da bacia do Rio Araguari (como extensas lavouras com cultivo de grãos, urbanização crescente, projetos hidrelétricos, etc.), Baccaro et al. (2004) avaliaram que a bacia do rio Araguari necessita de um planejamento que vise o desenvolvimento sustentável das atividades futuras e, também, ao monitoramento das atividades em andamento.

A região do Triângulo Mineiro sofreu um grande processo de modernização tecnológica no campo, responsável pela expansão das áreas cultivadas, pelo aumento da produção e da produtividade nas áreas de Cerrado. As pesquisas realizadas nos últimos anos têm demonstrado que esse processo de modernização da agricultura nessa região tem gerado diversas consequências ambientais (BRITO, 2004).

O clima confunde-se com o do Centro-Oeste e grande parte do sudeste do Brasil (ROSA et al. 2004), e apresenta estações climáticas bem definidas, uma seca, que abrange os meses de abril a setembro, e outra úmida, de outubro a março. Lima et al. (2004) destacaram a pluviometria anual com irregularidade considerável, variando de 800 a 2.000 mm, com uma média variando entre 1.200 a 1.500 mm/ano. Essa condição climática favorece alto potencial agrícola para a bacia do rio Araguari, levando em conta o período de crescimento de que necessitam as culturas para obter pleno desenvolvimento (período seco e período chuvoso).

O comportamento do clima, ao longo do ano, depende da dinâmica dos sistemas de circulação atmosférica que atuam nos diferentes períodos do ano. A estabilidade do ar, que se observa entre os meses de maio a setembro, é derivada da instalação da Massa de Ar Polar, que se tropicaliza e se estabiliza sobre o Planalto Central Brasileiro, impedindo o fluxo de umidade proveniente da Amazônia. É nesse período que, além de seco, o ar torna-se mais frio, particularmente nas madrugadas, embora, durante o dia, a insolação seja quase que permanente:

Nos meses de outubro/novembro observa-se o enfraquecimento dos sistemas de circulação associados a Massa Polar e a instalação de sistemas tropicais, de baixa pressão, portanto instáveis, que atraem a umidade da Amazônia para o Centro Sul do Brasil. Esse fato determina o início do período chuvoso. Essa estação é mais agradável, do ponto de vista térmico, porém apresenta dias com elevada nebulosidade, alternando-se horas de insolação com pancadas de chuva (ROSA et al. 2004, p. 80).

Os rios e córregos da região são encachoeirados e contêm várias corredeiras, ao passo que, próximo ao Vale do Araguari, a paisagem possui relevo fortemente ondulado, com altitude de 800 a 1000 m e declividades suaves, em torno de 30%, enquanto que, nas vertentes mais abruptas pode-se observar a presença de mata mesofítica (BACCARO et al. 2004).

As unidades geomorfológicas identificadas por Baccaro et al. (2004) foram o Complexo Granítico – Gnáissico, a Bacia Sedimentar do Paraná, a Faixa de Dobramento, as intrusões Dômicas e Bacia Sedimentar Cenozóica, além de 12 unidades morfoesculturais: Planalto Dissecado do Paranaíba, Planalto Tabular, Planalto Dissecado, Canyon do Araguari, Serra da Canastra, Planalto dos Residuais (Faixa Brasília), Planalto Dissecado (Faixa Brasília), Planalto Dissecado (Faixa Uruaçu), Domo de Tapira, Domo de Serra Negra e Salitre, Planícies Fluviais e Veredas².

² Para maiores informações e detalhes, consultar Baccaro et al. (2004, p. 6 – 16)

Com relação às formas de relevo existentes na bacia do rio Araguari, estas evidenciam uma grande complexidade litoestrutural e escultural, refletindo-se sobre o arranjo das paisagens e interferindo, dessa maneira, no processo de ocupação (RODRIGUES et al. 2004). No Quadro 2, elaborado pelo citado autor, é exposta uma correlação das características ambientais dos comportamentos morfoesculturais da Bacia do rio Araguari.

Quadro 1: Unidades geomorfológicas da Bacia do rio Araguari

Unidade Morfoestrutural	Unidade Morfoescultural
Complexo Granítico- Gnaissico	Planalto Dissecado do Paranaíba
Complexo Granítico- Gnaissico	Planalto Tabular Planalto dissecado Canyon do Araguari
Faixa de Dobramento	Serra da Canastra Planaltos Residuais (Faixa Brasília) Planalto Dissecado (Faixa Brasília) Planalto Dissecado (Faixa Uruaçu)
Intrusões Dômicas	Tapira Serra Negra e Salitre
Bacia Sedimentar Cenozóica	Planícies Fluviais Veredas

Fonte: Baccaro et al. (2004)

Fazendo menção à morfologia da bacia do rio Araguari, Nishiyama e Baccaro (1989) classificaram-na em vastas superfícies aplainadas, cortando rochas cristalinas e sedimentares, constituindo os extensos planaltos tabulares, com topos aplainados e, geralmente, limitados por escarpas erosivas resultantes da erosão diferencial entre as Formações Marília e Adamantina ou mantidas pelos derrames basálticos.

Quadro 2: Quadro de correlação das características ambientais dos compartimentos morfoesculturais da Bacia do rio Araguari.

Compartimento de Relevo	Segmento de Relevo	Características das Vertentes	Tipo de Solo	Condicionantes de Uso do Solo
Planalto Dissecado (Complexo Granítico Gnáissico)	Superfície de Aplanamento	Predomínio de Vertentes convexas e declividades inferiores a 20 %	Podzólico Vermelho Amarelo, Cambissolos	Pastagem, Agricultura Temporária
Canyon do Araguari	Patamares	Segmentos Convexos com declividades inferiores a 10%	Terra Roxa Estruturada, com textura Argilosa e com Microestrutura	Predomínio de Pastagem Plantada
Canyon do Araguari	Vales fortemente Entalhados	Predomínio de Vertentes Côncavas e retilíneas organizadas em anfiteatros erosivos	Cambissolos, Litossolos	Floresta Mesofítica e Pastagens
Planalto Tabular Dissecado	Interflúvios Tabulares	Predomínio de superfícies horizontais a suavemente inclinadas	Latossolo Vermelho Escuro	Culturas Temoprárias (milho e soja), Pastagem, Campos Úmidos
Planalto Dissecado (Faixa Uruaçu)	Superfície de Aplanamento	Interflúvios e Colinas Amplas	Cambissolos, Latossolos e Litólicos	Agricultura Temporária (milho), Agricultura Permanente (café), Pastagem
Planalto Residual (Faixa Brasília)	Sistema de Dissecação Fluvial	Cristas e Morros	Cambissolos, Litólicos, Afloramentos Rochosos	Agricultura Temporária (milho), Agricultura Permanente (café), Pastagem
Planalto Dissecado (Faixa Brasília)	Sistema de Dissecação Fluvial	Colinas Médias e Pequenas. Serras Localizadas	Cambissolos, Latossolos e Litólicos	Pastagem, Agricultura Temporária
Serra da Canastra	Superfície Cimeira	Interflúvios Tabulares e Patamares	Latossolos, Cmbissolos, Litólicos e Afloramentos Rochosos	Campo Cerrado, Campo Rupestre, Cerrado e Silvicultura
Intrusões Dômicas	Superfícies Arqueadas e Aplanadas	Colinas Amplas e Serras Localizadas	Cambissolos, Latossolos e Litólicos	Agricultura Temporária, Agricultura Permanente, Pastagem e Cerrado

Fonte: Baccaro et al. (2004).

Os solos presentes na bacia do rio Araguari são, em sua maioria, do tipo Latossolos (Quadro 3). Os Latossolos, que ocorrem em declives planos a suave-ondulados (< 8%), facilitam

intensas atividades agrícolas, desde que suas naturais limitações em fertilidade sejam corrigidas (MIELNICZUCK, 2008). Esses solos são considerados de grande potencial para a produção agrícola de culturas anuais e perenes e também para pastagens. Os Argissolos são solos moderadamente profundos com acentuada diferenciação entre os horizontes em decorrência da iluviação de argilas da camada superficial para a subsuperficial. Os solos do tipo Cambissolos são fracamente desenvolvidos e apresentam um horizonte B com uma espessura menor do que 50 cm, constituídos de material parcialmente intemperizados, encontrados em declividade de 8-30 % ou superior. Os Gleissolos são solos relativamente rasos, associados com a flutuação do lençol freático, que induz a uma intensa redução dos óxidos de ferro, o que resulta na formação da cor acinzentada. As informações anteriormente citadas, foram todas extraídas de Resck et al. (2008).

Quadro 3: Classe de solos da Bacia do rio Araguari

Símbolo	Descrição da legenda dos solos	Área Ocupada (km²)	Área Ocupada (%)
Latossolo Vermelho Amarelo			
LVaw	Latossolo Vermelho -Amarelo Ácrico + Latossolo Vermelho - Ambos Textura Argilosa (fase cerrado)	5.016	22,61
LVAd	Latossolo Vermelho -Amarelo Distrófico + Latossolo Vermelho Escuro Distrófico + Cambissolo Háptico Tb Distrófico	5.857	26,40
Latossolo Vermelho			
LVd	Latossolo Vermelho Distrófico + Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico (ambos textura média) +Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico	1.015	4,58
LVdf	Latossolo Vermelho Distroférrico + Latossolo Vermelho - Amarelo Eutrófico + Nitossolo Vermelho Eutrófico + Cambissolo Háptico Eutrófico	1.112	5,01
Nitossolo Vermelho			
Nvef	Nitossolo Vermelho Eutrófico + Latossolo Vermelho Eutroférrico e Distrófico + Cambissolo Háptico Férrico	1.414	6,37
Argissolo Vermelho Amarelo			
PVAe	Argissolo Vermelho - Amarelo Eutrófico + Cambissolo Háptico Tb. Eutrófico	812	3,66

Cambissolo			
CXd1	Cambissolo Háplico Tb. Distrófico	748	3,37
CXd2	Cambissolo Háplico Tb. Distrófico + Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico	3.114	14,03
CXd3	Cambissolo Háplico Tb. Distrófico + Neossolo Litólico Distrófico	1.858	8,37
Gleissolo			
Gxbe	Gleissolo Háplico Tb.	796	3,58
Neossolo			
RLd	Neossolo Litólico Distrófico + Afloramento Rochoo+ Cambissolo Háplico Tb. Distrófico	443	2,00
Total		22.185	100,00

Fonte: Adaptado de Rosa et al. (2004, p. 78)

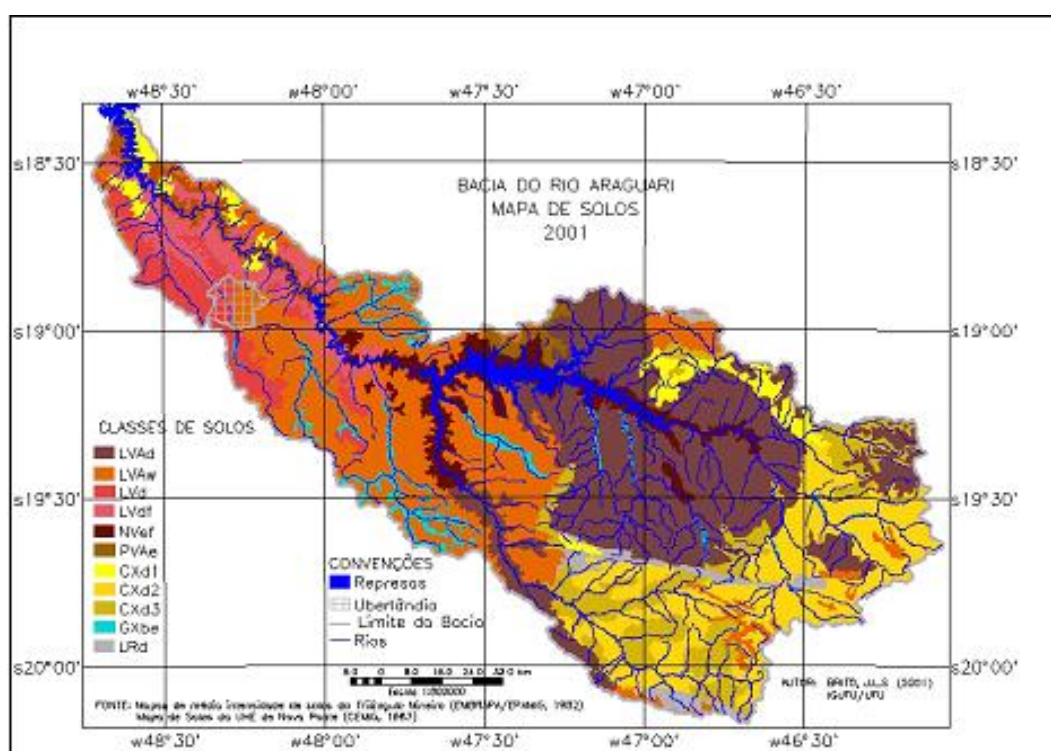


Figura 3: Mapa de solos da Bacia do rio Araguari

Fonte: Rosa et al.(2003).

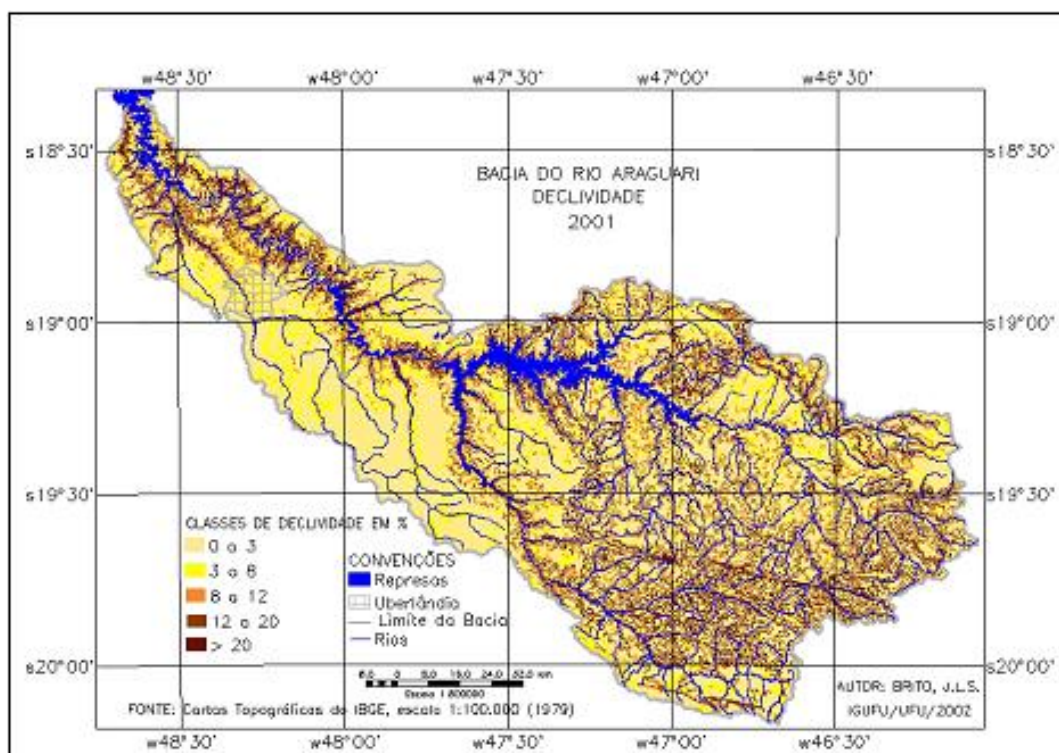


Figura 4: Mapa de declividade da bacia do Rio Araguari

Fonte: Rosa et al. (2003).

A Figura 4 registra as classes de declividade da Bacia do rio Araguari. Pode-se perceber que grande parte da bacia constitui-se áreas bastante planas (0 a 3%), principalmente a porção Noroeste da área, onde se encontram as principais áreas destinadas à produção agropecuária. De acordo com a análise do mapa hipsométrico (Figura 5), essas áreas estão a uma altitude de cerca de 850 a 950 m.

Na porção central da bacia do rio Araguari, as altitudes estão em torno de 950 a 1050 m, apresentando declividades que vão desde 0 a 3 %, 3 a 8% e 12 a 20%, nas proximidades dos rios de maior porte, e declividades mais acentuadas no Vale do Araguari; em contrapartida, as altitudes nessa área variam de 480 a 700 m. Já as áreas de maior declividade encontram-se na porção Sudeste da bacia, próximas ao curso dos rios e nascentes, bem como o divisor de águas dessa porção, com altitudes variando de 1050 a 1350 m.

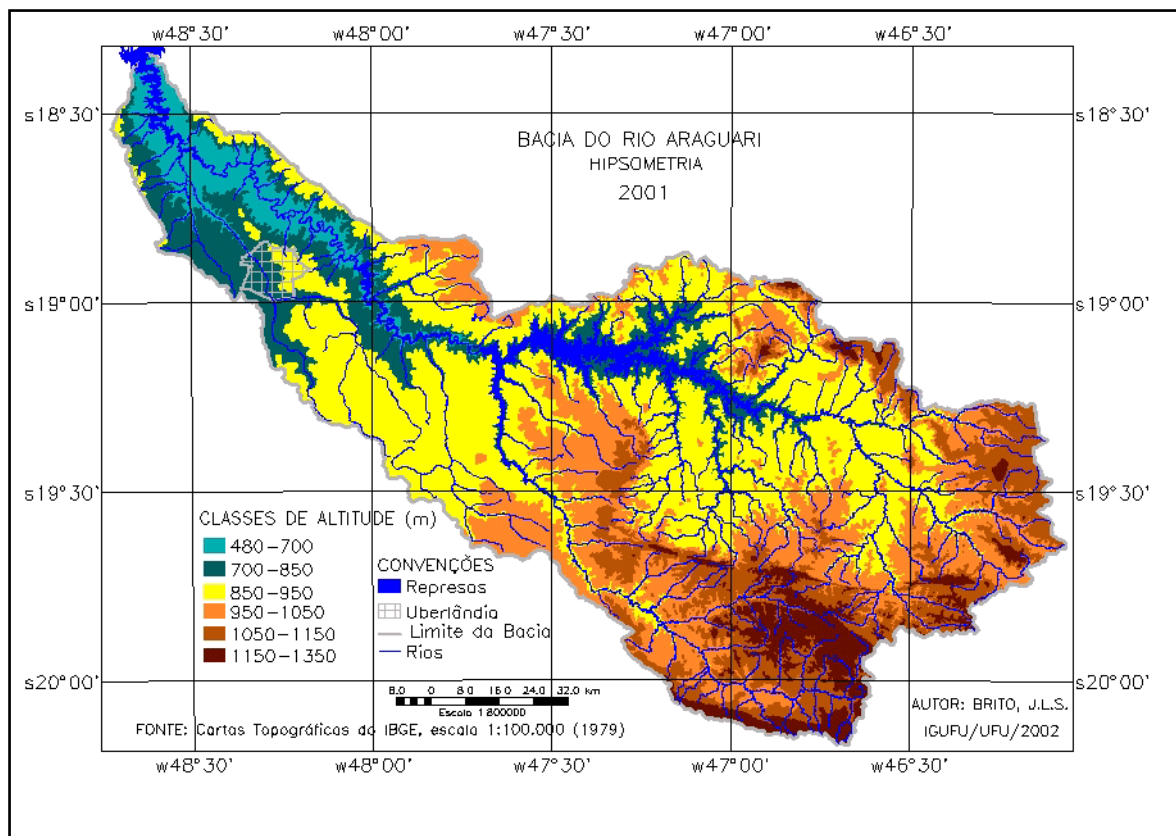


Figura 5: Mapa Hipsométrico da bacia do Rio Araguari

Fonte: Fonte: Rosa et al. (2003).

A dinâmica urbana na bacia do rio Araguari foi analisada por Soares et al. (2004) que observaram importantes mudanças na dinâmica demográfica e no processo de urbanização nos últimos 30 anos. Verificaram, ainda, que, de modo geral, a população total da bacia cresceu 125,3% para o mesmo período, saltando de 517.768 habitantes, em 1970, para 1.161.772 habitantes em 2000 (SOARES et al. 2004, p. 127):

O expressivo crescimento da população urbana, nas cidades da Bacia do rio Araguari elevaram os seus índices de urbanização, visto que as cidades oferecem melhores condições de vida e oportunidades de trabalho. Atualmente, dentre os municípios mais urbanizados, estão Araxá (98,4%), Uberlândia (97,6%), Uberaba (96,9%), Araguari (91,0%) e Campos Altos (90,6%) (FIBGE, 2000 apud SOARES et al. 2004).

Os municípios inseridos na área da bacia do rio Araguari apresentam campo dinamizado, consequência dos processos de modernização da agricultura e da pecuária, e também devido

às condições físicas favoráveis, o que confere à bacia destaque na produção desses elementos. Em virtude da produção presente na área da bacia, desenvolveu-se importante complexo agroindustrial, constituído por agroindústrias processadoras de grãos, carnes, frutas, vegetais e laticínios, e também por indústrias relacionadas às demandas do campo, ou seja, indústrias para agricultura, especialmente, aquelas associadas ao segmento da biotecnologia animal e aquelas de insumos e equipamentos agrícolas (SOARES et al. 2004).

Cleps et al. (2004) relataram que a região em que está inserida a bacia do rio Araguari recebeu significativas aplicações de recursos com a implementação de programas oficiais, como o Programa de Crédito Integrado (PCI/1972–1975) e o Programa Nipo-Brasileiro de Desenvolvimento Agrícola da Região dos Cerrados (PRODECER). Pode-se assegurar que esses programas foram, de maneira geral, os responsáveis pela modernização da atividade agrícola nos Cerrados, pois favoreceram as mudanças na base técnica e produtiva; como exemplo, tem-se a mecanização de grandes extensões de terra, as inovações tecnológicas, a introdução de novas culturas, como café, soja e milho:

Como ocorreu nas demais áreas do Cerrado, os municípios da Bacia do rio Araguari sofreram profundas modificações no ambiente natural, sobretudo nas três últimas décadas, provocadas pela introdução da agricultura moderna, com a produção em grande escala de grãos, o que levou à eliminação de grandes extensões de vegetação nativa, provocando desequilíbrios, contaminação por agroquímicos, erosão, compactação, diminuição da fertilidade dos solos e principalmente, à diminuição do volume e da qualidade das águas (CLEPS, 2004, p. 168).

3 MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS

3 MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS

3.1 Variabilidade Antropogênica

O efeito estufa é a propriedade que permite que parte da radiação solar seja absorvida pela atmosfera terrestre, em função dele, a temperatura média na superfície da Terra mantém-se em cerca de 15°C. Portanto, o efeito estufa é benéfico ao planeta, pois cria condições para a existência de vida, caso contrário, a temperatura média da Terra seria de, cerca de -18°C (MOLION, 1995). A intensificação do efeito estufa, causada pela emissão de gases poluentes provenientes de atividades antrópicas, é a que mais preocupa a comunidade científica, em virtude das consequências negativas à existência da vida no planeta.

Os principais gases da atmosfera terrestre que contribuem para o efeito estufa são vapor d' água (H_2O), o gás carbônico (CO_2), o monóxido de carbono (CO), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O), sendo o vapor d' água o gás mais importante para o efeito estufa (representando 3 a 4% do volume da atmosfera), e o CO_2 , o segundo em importância, ocupando apenas 0,035% do volume da atmosfera (IPCC, 2007).

O CO_2 tem causado polêmica em relação ao efeito estufa, porque sua concentração, embora baixa, está crescendo muito a cada ano, sendo grande parte em decorrência da queima de combustíveis fósseis, e da queima da vegetação (principalmente, florestas tropicais e cana-de-açúcar). Embora 95% do dióxido de carbono oriundo da queima de combustíveis fósseis sejam liberados no Hemisfério Norte, existe somente uma diferença de 3ppm nos níveis de dióxido de carbono entre o Hemisfério Norte e o Sul (MACHADO, 2005)

O quarto relatório do IPCC, divulgado em Paris em 02 de fevereiro de 2007, foi incisivo: o clima do planeta está mudando e a culpa é do homem. O relatório, dividido em quatro

volumes com um total de 1,6 mil páginas, levou seis anos para ser feito e contou com a participação de mais de 2,5 mil pesquisadores de 130 países (AGÊNCIA FAPESP, 2007).

De acordo com o documento, o aquecimento global está se acelerando, motivado, especialmente, pela queima descontrolada de combustíveis fósseis. A temperatura média global subiu cerca de 0,7°C entre 1901 e 2005, sendo que os dois anos mais quentes registrados até hoje foram 1998 e 2005.

Para IPCC (2007), a concentração atmosférica global de dióxido de carbono aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 280 ppm para 379 ppm em 2005. A concentração atmosférica de dióxido de carbono, em 2005, ultrapassou em muito a faixa natural dos últimos 650.000 anos (180 a 300 ppm), como determinado a partir de testemunhos de gelo. A taxa de aumento da concentração anual de dióxido de carbono foi mais elevada durante os últimos 10 anos (média de 1995 a 2005: 1,9 ppm por ano) do que desde o início das medições atmosféricas diretas contínuas (média de 1960 a 2005: 1,4 ppm por ano), embora haja variações de um ano a outro nas taxas de aumento.

O relatório do IPCC informou haver 90 % de probabilidade das atividades humanas serem causa da maior parte do aquecimento nas últimas décadas. Entre as consequências da mudança climática, estão a alteração nos padrões de chuva, com secas e tempestades violentas, e níveis mais elevados nos mares.

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, El deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento del promedio mundial del nivel del mar. (IPCC, 2007, p. 2)

Para IPCC (2007), não há dúvida de que a temperatura na superfície da Terra está aumentando:

De los doce últimos años (1995-2006), once figuran entre los doce más cálidos en los registros instrumentales de la temperatura de la superficie

mundial (desde 1850). La tendencia lineal a 100 años (1906-2005), cifrada en $0,74^{\circ}\text{C}$ [entre $0,56^{\circ}\text{C}$ y $0,92^{\circ}\text{C}$] es superior a la tendencia correspondiente de $0,6^{\circ}\text{C}$ [entre $0,4^{\circ}\text{C}$ y $0,8^{\circ}\text{C}$] (1901-2000) indicada en el Tercer Informe de Evaluación (TIE) (Figura RRP.1). Este aumento de temperatura está distribuido por todo el planeta y es más acentuado en las latitudes septentrionales superiores. Las regiones terrestres se han calentado más aprisa que los océanos. (IPCC, 2007, p. 2).

No entanto, ao passo que as informações são divulgadas, é destacado, em nota de rodapé, que as cifras entre colchetes indicam um intervalo de incertezas de 90% em torno de uma estimativa, e uma probabilidade estimada de 5% de que seu valor real supere o intervalo assinalado entre colchetes, além de uma probabilidade de que o dito valor seja inferior. Sendo assim, os intervalos de incerteza não são necessariamente simétricos em torno de uma estimativa correspondente.

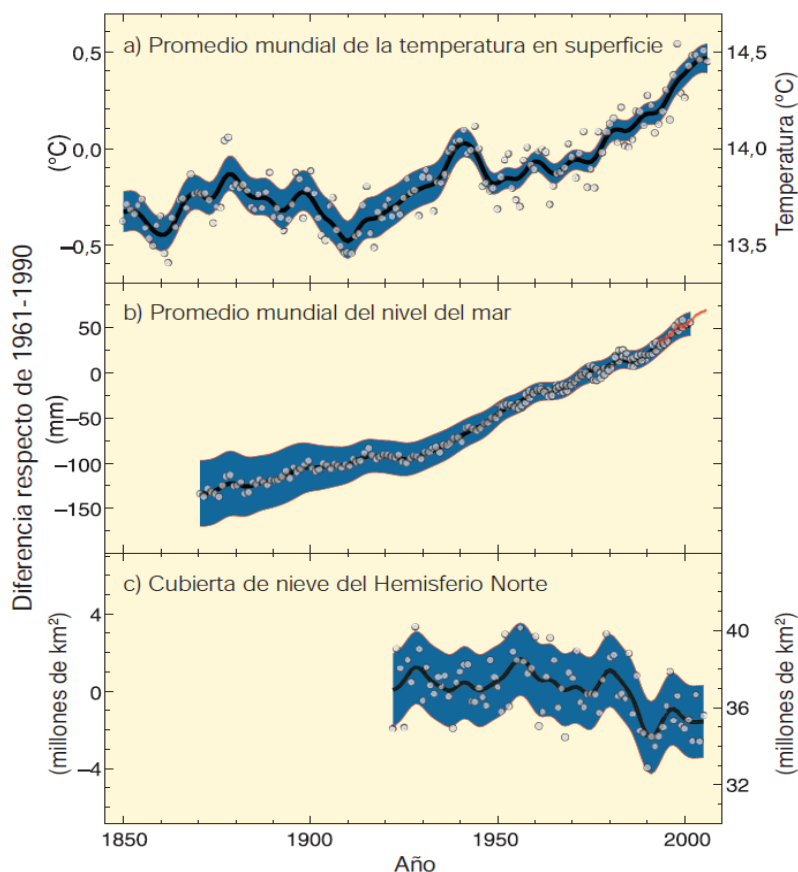


Figura 6: Mudanças na temperatura, no nível do mar e na cobertura de neve no Hemisfério Norte

Fonte: IPCC (2007, p. 3)

A Figura 6, extraída de IPCC (2007), representa o aumento nas temperaturas médias mundiais da superfície, o aumento do nível médio dos mares, e a diminuição da cobertura de neve no Hemisfério Norte. Ainda com relação à figura, o IPCC revelou que todas as diferenças registradas foram calculadas a partir das médias correspondentes ao período compreendido de 1961 – 1990. As curvas analisadas reproduzem os valores médios decendiais, enquanto que os círculos representam os valores anuais. As áreas sombreadas figuram os intervalos de incertezas estimados a partir de uma análise completa das incertezas conhecidas (a e b e da série temporal c).

O IPCC (2007) também fez referência às mais de 29.000 séries de dados observados (Figura 7), recolhidos em 75 estudos, que trazem mudanças importantes em sistemas físicos e biológicos, em que mais de 89% são coerentes com a direção de mudança esperada em resposta ao aquecimento. A seleção dos dados envolveu os seguintes critérios:

- abrangem até 1990 ou mais adiante;
- compreendem um período de no mínimo 20 anos;
- exibem uma mudança apreciada em alguma direção, segundo as avaliações de diferentes estudos.

Com relação às séries de dados mencionadas acima, o IPCC (2007, p. 4) esclareceu que

(...) Estas series de datos proceden de unos 75 est e los cuales cerca de 70 son nuevos en el período que abarca desde la Tercera Evaluación, y contienen aproximadamente 29.000 series de datos, de las que 28.000 provienen de estudios europeos. Las áreas en blanco no contienen datos climáticos observacionales suficientes para estimar la tendencia de la temperatura. Los recuadros de cuatro celdas indican el número total de series de datos que exhiben cambios significativos (hilera superior) y el porcentaje de ellas que concuerda con el calentamiento (hilera inferior) para: i) regiones continentales: América del Norte (AN), América Latina (LA), Europa (EUR), África (AFR), Asia (AS), Australia y Nueva Zelandia (ANZ), y regiones polares (RP), y ii) a escala mundial: extensiones terrenas (TER), marinas y de agua dulce (MAD), y globales (GLO). El número total de

estudios de los siete recuadros regionales (AN, EUR, AFR, AS, ANZ, RP) no coincide con el total global (GLO) ya que, excepto las cifras correspondientes a La región polar, las de las restantes regiones no incluyen los sistemas marinos y de agua dulce (MAD). No se ha incluido en el mapa la ubicación de los cambios registrados en grandes extensiones marinas. IPCC (2007, p. 4).

Ao analisar a Figura 7, fica evidente que ocorre discrepância na origem dos dados, é perceptível que ocorre no Hemisfério Norte um número de estudos significativamente maior que no Hemisfério Sul. Os pequenos quadros, localizados na parte inferior da Figura 7, possuem quatro células que indicam o número total de séries de dados que exibem mudanças significativas na fileira superior, e a porcentagem das que concordam com o aquecimento na célula inferior. As células à esquerda representam as séries de dados dos sistemas físicos (neve; gelo e terreno congelado; hidrologia; e processos costeiros) e, as células à direita representam os sistemas biológicos (sistemas biológicos terrestres; marinhos e de água doce).

A discrepância no total de dados utilizados para tais médias mundiais parece não configurar a realidade, quando se leva em conta a ausência de dados para a porção Sul do globo terrestre. Como explicar alterações de processos biológicos em escala global, à medida que o número desses estudos provenientes da Europa, por exemplo, são um total de 28.115, enquanto que, na América Latina, são apenas cinco?

Sobre a desigualdade de dados em termos geográficos, o IPCC (2007, p. 3) apenas mencionou que, “Sin embargo, hay un notable desequilibrio geográfico en los datos y publicaciones referentes a los cambios observados, siendo menos abundantes los relativos a países en desarrollo”. Molion (2007) relatou que não há um posicionamento a respeito das consequências que essa ausência de dados ocasiona, principalmente quando se leva em consideração uma média global que, na verdade, foi embasada em dados majoritariamente provenientes de uma determinada parte do globo. Quais consequências teriam esses dados se

houvesse uma homogeneidade de informações em todas as partes do globo? Seriam os mesmos resultados?

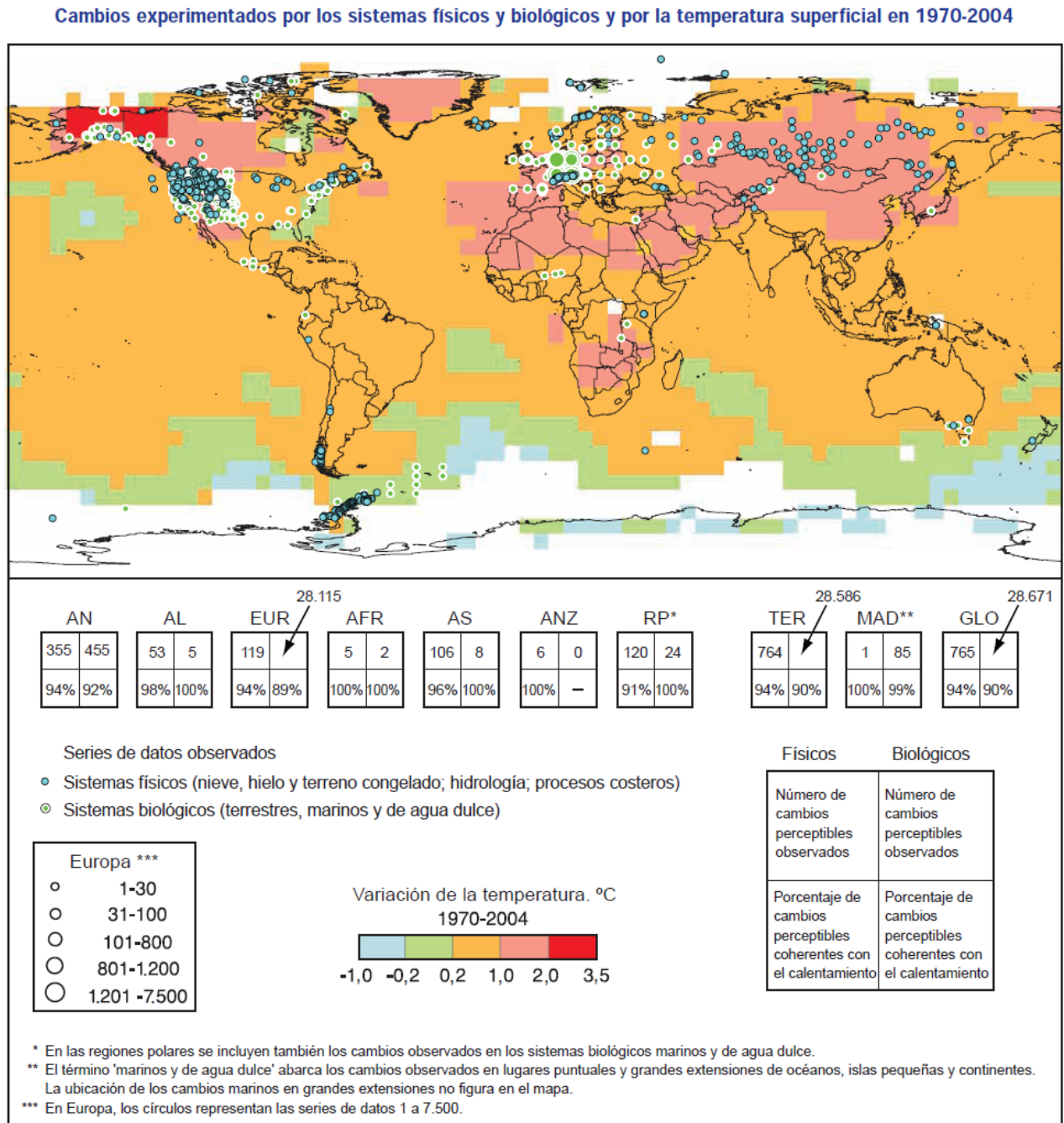


Figura 7: Mudanças nos sistemas físicos, biológicos e na temperatura superficial de 1970 – 2004.

Fonte: IPCC (2007, p. 4)

Já em 1995, quando as discussões sobre um possível aquecimento global se iniciavam, Molion redigiu um artigo para a revista *Ciência Hoje* intitulado “Um século e meio de aquecimento global”. No artigo, o referido autor defendia a hipótese de que a temperatura do planeta não está subindo, e que, ao contrário do que pensa a grande maioria, a ação do homem (ou seja, o incremento de gás carbônico na atmosfera entre outros poluentes) nada tem a ver com o anunciado aquecimento global.

3.1.2 Variabilidade Natural do Clima

Quando se fala em aquecimento global como consequência da emissão de gases poluentes, normalmente, esquece-se de mencionar algumas causas naturais que podem estar associadas ao suposto aquecimento. Neste item, são apresentadas algumas discussões e incertezas acerca do aquecimento global, indicando descobertas científicas recentes que colocam em dúvida a veracidade do alarmismo sobre tais modificações no clima mundial.

Tebeaud (2007) argumentou que, do ciclone Katrina às tempestades de 1999 na Europa, todo fato meteorológico excepcional é, hoje, vinculado à mudança “global” e que esta mudança climática continua objeto de controvérsia. Para Tebeaud (2007), o fato de alguns especialistas recusarem o alarmismo associado ao aquecimento, de outros contestarem os resultados dos modelos e até mesmo o fato dos céticos não serem ouvidos, permite que seja lançada à dúvida.

[...] Para Diderot, entretanto “a dúvida é o primeiro passo em direção à ciência ou à verdade; aquele que não discute nada não se certifica de nada; aquele que não duvida de nada não descobre nada”. (TEBEAUD, 2007, p. 35).

A referida autora afirmou que o sistema climático não é e nunca foi isento de variações, e que o clima atual evidencia apenas uma situação provisória, expressão de um equilíbrio dinâmico,

ao mesmo tempo frágil e bastante complexo. Fez referência ao fato de o planeta sofrer variações naturais de temperatura, periódicas ou não, em que a temperatura média oscila naturalmente entre +10 e +16 °C.

Desde o surgimento da vida na Terra, sua temperatura permaneceu bastante estável e próxima da temperatura atual de 14 °C. Na escala de milhares de anos, as altas e as baixas deveram-se aos ciclos de Milankovic, isto é, à posição da Terra em relação ao Sol. A insolação recebida durante os 400.000 últimos anos explica as quatro alternâncias glaciária/interglaciária. Os ciclos permitem afirmar também que a próxima glaciação começará dentro de 40.000 anos. (TEBEAUD, 2007, p. 38).

Há 3,8 bilhões de anos, a quantidade de gases de efeito estufa era muito maior do que a dos dias atuais. É graça a esses gases que a vida é possível na Terra, porque, sem eles, a temperatura média do planeta seria de -18 °C, o que tornaria impossível a presença da água no estado líquido, condição indispensável para o desenvolvimento da vida na forma que conhecemos. Quando do surgimento da vida, a atmosfera continha 100 vezes mais dióxido de carbono que agora e a temperatura média da superfície era de 60 °C. Há cerca de 3,5 bilhões de anos, bactérias e algas azuis começaram a modificar a composição química da atmosfera pela redução do CO₂, ao mesmo tempo, essa atividade metabólica fez aumentar a taxa de oxigênio (O₂) e, indiretamente, formar a camada de ozônio (O₃), condição também indispensável para o desenvolvimento da vida nas terras emersas. Paralelamente, o carbono na atmosfera foi diminuindo e, conseqüentemente, a temperatura média do planeta também diminuiu tornando possível as glaciações.

A primeira glaciação pré-cambriana ocorreu há 2,3 bilhões de anos, sob o efeito conjugado de diversos fatores. Um segundo episódio glacial surgiu no final do Pré-Cambriano, há cerca de 1 bilhão de anos, com uma sucessão de três glaciações de cerca de 100 milhões de ano de intervalo. Na era Paleozóica que se iniciou há 540 milhões de anos, estão associadas a diversificação e a complexidade das formas primitivas de vida que se desenvolveram em um

ambiente de grandes mudanças climáticas. Esse período sofreu duas glaciações de 5 milhões de anos cada uma. No Quaternário (de 1,75 milhões de anos até hoje), surgiu o *Homo Sapiens*, no período das grandes glaciações recentes (Gunz, Mildel, Riss e Wurm).

Molion (1995) considerou ser um fator muito importante e normalmente esquecido, quando se trata de um possível aquecimento global, o aquecimento ocorrido antes dos anos 50, que possivelmente foi provocado por variações climáticas naturais, determinadas por fatores externos à atmosfera, e que, de acordo com Molion (1995, p. 25), podem ser:

- Internos: entre os fatores internos, estão as variações do albedo (refletividade média) planetário e as variações das circulações atmosféricas e oceânicas. O albedo controla a quantidade de energia solar absorvida pelo sistema Terra-atmosfera. Se o albedo diminuir 1% devido, por exemplo, a uma pequena diminuição da nebulosidade terrestre, a radiação solar absorvida aumentará até 50% a mais do que o aumento do fluxo de radiação infravermelha para a superfície, decorrente de uma atmosfera que contenha o dobro de CO₂ estimado pelos modelos;
- Variações na circulação atmosférica, como alterações na frequência de eventos El Niño - Oscilação Sul (ENOS), causam mudanças significativas na temperatura global. Nos anos da fase quente do ENOS, isto é, com temperaturas de superfície do Pacífico mais altas que as normais, há uma tendência para temperaturas do ar acima da média. Na década de 80, ocorreram dois eventos ENOS fortes: o de 1982/83 foi o mais forte, sendo que no início da década de 90 ocorreram outros. Portanto, as altas temperaturas registradas podem estar parcialmente relacionadas aos eventos ENOS que, sozinhos, seriam responsáveis por 20 – 30% da variação da temperatura global;
- Com relação aos oceanos, sabe-se que existem mudanças de prazo mais longo, da ordem de um milênio, nas circulações oceânicas e que estas influenciam fortemente a

distribuição horizontal do calor entre o mar e a atmosfera. Atualmente sabe-se que o fenômeno denominado Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) pode acarretar modificação na variabilidade climática;

- Alterações de longo prazo, como as variações naturais do próprio efeito estufa. Como observaram Hense e colaboradores em 1988 (assim como Flohn e Kapala em 1989) apud Molion (1995, p. 24), o conteúdo do vapor d' água aumentou entre 20 – 30% nos últimos 30 anos na média da atmosfera, sobre o Pacífico Equatorial. Desconheciam-se as causas desse fenômeno, mas sua contribuição para o aumento de temperatura pode ter sido relevante. É possível, portanto, que cerca de 50% do aquecimento observado ao longo dos 150 anos sejam decorrentes de variações naturais internas à atmosfera.

O autor ainda considerou que, dentre os principais fatores que afetam o clima estão a variação da produção de energia solar, as mudanças dos parâmetros orbitais da Terra e o grau de intensidade das atividades vulcânicas (MOLION, 1995, p.25).

- O Sol é, de longe, a principal fonte energética para os processos físicos atuantes na atmosfera, porém sua produção de energia, em média de 1.370 Wm^{-2} , não é constante. Observações feitas por satélite confirmaram que ela varia de cerca de 0,1% de ano para ano, ou seja, $1,3 \text{ Wm}^{-2}$ com os ciclos de 11 anos e de 22 anos das manchas solares. Mudanças no diâmetro do Sol, o ciclo de Gleissberg (ciclo de variação do número máximo de manchas solares, que aumenta e diminui num período de 80-90 anos) podem também afetar o fluxo de energia. A falta de conhecimentos ainda não permite estabelecer se a variação da produção de energia solar influencia o clima. Há quem acredite que ela não seja significativa. Convém notar, porém, que uma variação de $1,3 \text{ Wm}^{-2}$ corresponde a 30-50% do aumento da radiação infravermelha prevista para uma atmosfera com o dobro de CO_2 ;

- As variações dos parâmetros orbitais da Terra são todas de ciclos longos. A excentricidade da órbita varia entre 0,001 e 0,057 (atualmente, é de 0,0167) num período de 105 mil anos, e a precessão do eixo de rotação apresenta um ciclo de 26 mil anos. É a obliquidade (inclinação) do eixo de rotação da Terra, que varia entre 22,1° e 24,5° (atualmente é de 23,5°) com um ciclo de 41 mil anos, que parece se relacionar às grandes mudanças climáticas, as glaciações;
- O último interglacial começou há cerca de 15 mil anos e atingiu o máximo (o chamado Ótimo Climático do Holoceno) há 6-7 mil anos, quando as temperaturas estiveram em média cerca de 2-4°C acima das presentes. O autor concluiu que o planeta parece estar vivendo o fim de um período interglacial e a véspera de um período glacial. Pode ser que o período mais frio entre 1650 e 1850 – a Pequena Era Glacial, como foi chamada, e que hoje se sabe que afetou o globo inteiro – tenha sido um indício de que já estamos dentro de uma nova era glacial;
- As erupções vulcânicas explosivas, que lançam grandes quantidades de aerossóis na atmosfera, também acarretam variações climáticas, causando um forte resfriamento durante décadas. Foi observado que, após a erupção do El Chichón, no México, em abril de 1982, houve um curto período de decréscimo da radiação solar em Mauna Loa, no Havaí, da ordem de 7,7%, o que equivale a uma redução de cerca de 30 Wm^{-2} , oito a dez vezes maior que a variação da radiação infravermelha prevista pelos modelos climáticos. Por sua vez, Minnis e colaboradores, usando dados do satélite ERBE, mostraram que a erupção do Pinatubo, nas Filipinas, em 1991, reduziu, durante vários meses, em 10 a 15 Wm^{-2} o saldo da radiação planetária entre as latitudes 40° N - 40° S do globo;

- Os efeitos de uma erupção vulcânica sobre o clima podem ter prazo mais longo, se considerarmos a inércia térmica dos oceanos ao responderem a essas variações de curto prazo. Das maiores erupções vulcânicas, 48% aconteceram até 1920, período em que a temperatura do ar esteve relativamente baixa. Entre 1920-1940, período de rápido aquecimento e altas temperaturas, foram registradas apenas 11% dessas erupções, enquanto no período de resfriamento suave, entre 1940-1980, ocorreram 34% delas;
- A década de 80, que voltou a registrar temperaturas elevadas, similares às dos anos 30, foi coincidentemente agraciada com um número menor de erupções: apenas 7% do total. No período de 1920-1940, a opacidade da atmosfera teve os menores valores dos últimos 110 anos, permitindo maior entrada da radiação solar no sistema Terra-atmosfera. É muito provável, portanto, que o aquecimento observado entre 1920-1940 se relacione à redução da atividade vulcânica e que a erupção recente do Pinatubo vá causar um resfriamento, embora temporário.

Eerola (2003) avaliou que a perspectiva de mudanças climáticas do passado, a questão do tempo geológico e as incertezas científicas são, geralmente ignoradas, quando se trata de aquecimento global, e ainda pondera que o clima oscila e muda naturalmente, acontecendo, muitas vezes, no passado, cujas causas são geológicas e essas mudanças fazem parte da dinâmica natural da Terra, e são necessárias à evolução das espécies.

Além da variabilidade natural do clima, Molion (1995) apontou algumas limitações apresentadas por modelos matemáticos.

Em 1988, Grotch comparou a distribuição latitudinal dos aumentos de temperatura previstos para o inverno no hemisfério Norte pelos quatro modelos matemáticos mais renomados, em função da duplicação do gás carbônico. Os quatro modelos concordavam que tais aumentos seriam maiores nas regiões polares do que nas equatoriais. Para o Ártico, por

exemplo, previam um incremento entre 8 e 15°C no inverno. Em 1989, porém, Rodgers mostrou que a média invernal das anomalias de temperatura do ar, observadas para o setor ártico do oceano Atlântico desde 1900, apresentara na realidade, um decréscimo superior a 2°C depois de 1930. Ou seja, exatamente nas regiões onde os modelos haviam previsto os maiores incrementos de temperatura, observa-se o oposto, principalmente no período de maior concentração de gás carbônico! (MOLION, 1995, p. 25).

O referido autor considerou que, na realidade, as características do registro histórico conflitam com a hipótese do efeito-estufa intensificado. O planeta aqueceu-se mais rapidamente entre 1920-1940, quando a quantidade de CO₂ lançada à atmosfera era 70% menor do que a atual³, e resfriou-se entre 1940-1970, quando se deu o desenvolvimento econômico do pós-guerra.

Molion (1995) e Tebeaud (2007) estimaram que o período atual está marcado incontestavelmente por um aquecimento. No entanto, o que é discutível é a origem do aquecimento constatado nos últimos 150 anos. Tebeaud (2007) questionou se esta elevação será totalmente dependente da atividade solar, ou, em parte, associada às atividades humanas, e concluiu que não é o aquecimento contemporâneo que está em debate e, sim, sua origem.

Para Molion (1995), essas causas são questionáveis, porque podem ser apenas uma variabilidade natural do clima, associadas aos diversos fatores vistos anteriormente, causadas não por ações humanas, que liberam gás carbônico, mas por outros fenômenos. Além disto, a maioria das estações climatológicas em funcionamento se localizavam em áreas urbanas ou foram mudadas para locais que poderiam ter condições microclimáticas distintas, sendo impossível a correção das particularidades introduzidas pelas duas situações nas séries temporais.

Os métodos estatísticos de homogeneização dos dados climáticos – apesar das dificuldades inerentes aos aperfeiçoamentos sucessivos dos aparelhos de medição e mesmo à distribuição

³ Vale lembrar que o termo atual refere-se ao ano de 1995, quando o autor redigiu o artigo.

desigual das estações de medição nos diferentes continentes – evidenciam uma elevação da temperatura em todo o planeta, que data do último século (Tebeaud, 2007). Este aumento, estimado em 0,6° C, resulta principalmente de uma elevação das mínimas noturnas em razão de que os anos recentes apresentaram-se como os mais quentes desde 1860, sendo a década de 1990 – 1999 a mais quente desde o começo do período dotado de instrumentos de medição.

Molion (1995) revelou que, se houvesse dados anteriores a 1850, certamente, a história do aquecimento global não seria a mesma. Isto porque haveria medições de séries temporais com dados anteriores ao alarmado aumento de CO₂ na atmosfera. Com relação ao CO₂, o autor considera que o único fato concreto é que a concentração de gás carbônico aumentou cerca de 25 % nos últimos 150 anos e que não existe conhecimento suficiente para se estabelecer se o aumento de temperatura, se existiu, foi consequência ou causa do acréscimo do CO₂. O autor pondera que se há argumentos em favor de um aumento da temperatura média global, causado pelo acréscimo de CO₂, há também bons argumentos em favor de um possível resfriamento, que já poderia estar ocorrendo, ante a aproximação de uma nova era glacial.

O autor ainda faz uma revelação importante, ao comparar o período de ocorrência de glaciações no último milhão de anos, com os períodos interglaciais. O clima tem sido, em 90% do tempo, sempre mais frio que o presente (1995).

Ora, a última era glacial terminou há cerca de 15 mil anos; portanto, o atual período interglacial estaria prestes a findar. É mesmo possível que a nova era glacial já tenha começado. Testemunhos dessa última possibilidade podem estar registrados em árvores seculares. Nas regiões tropicais, em geral, os anéis de crescimento das árvores são mais largos e sua madeira de menor densidade nos períodos úmidos, e mais estreitos e densos nos períodos secos, o que pode se dever também a outros fatores além do clima. Parece, portanto, mais provável que num futuro próximo o planeta mergulhe em uma nova era glacial não num hiperaquecimento. Aliás, diga-se de passagem, o resfriamento aparentemente acarretaria mais catástrofes para a Terra do que o aquecimento. Com o avanço das geleiras em direção ao equador, perde-se muita terra agricultável nas regiões temperadas e os trópicos ficam mais secos. Ao contrário, durante Ótimos Climáticos, as áreas agricultáveis se expandem em direção aos pólos e os trópicos ficam

mais úmidos, com a vegetação ocupando áreas mais extensas. (MOLION, 1995, p. 28).

3.3 Oscilação Decadal do Pacífico (ODP)

As temperaturas da superfície do Oceano Pacífico apresentam uma configuração com variações de prazo mais longo, semelhante ao El Niño, denominada Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). Estes eventos (ODP) persistem por 20 a 30 anos, enquanto os El Niños por 6 a 18 meses (Figura 8) (MOLION, 2005).

Não se sabe ainda qual é a causa da ODP, tampouco seus impactos sobre o clima. Porém, considerando que a atmosfera terrestre é aquecida por debaixo, os oceanos são a condição de contorno inferior mais importante para o clima e, certamente, o Pacífico, por ocupar um terço da superfície terrestre, deve ter um papel preponderante na variabilidade climática interdecadal. (MOLION, 2005, p. 1).

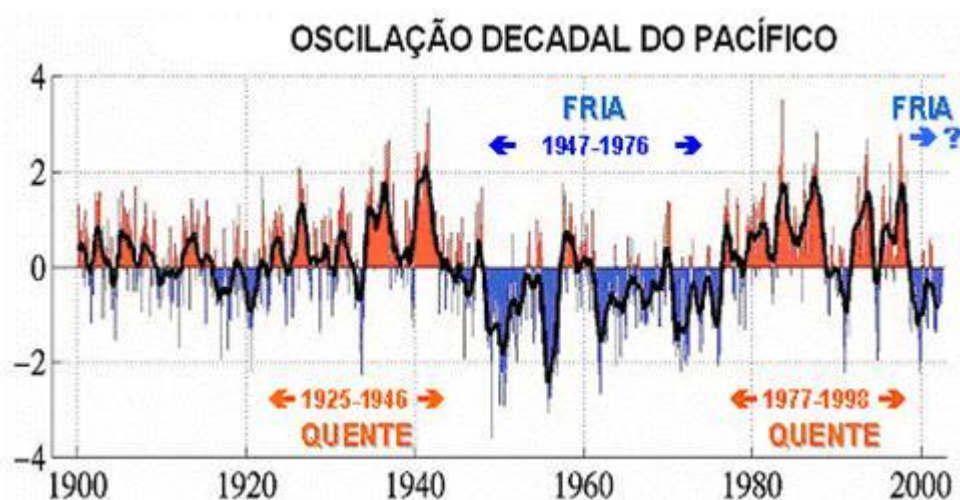


Figura 8: Série temporal do índice de Oscilação Decadal do Pacífico (ODP)

Fonte: Molion, (2005, p. 1)

Molion (2005) esclareceu que, da mesma forma que o El Niño, a Oscilação Decadal do Pacífico apresenta duas fases, a fase fria que é caracterizada por anomalias negativas de temperaturas da superfície do Oceano Pacífico, no Pacífico Tropical e, simultaneamente,

anomalias de temperatura de superfície positivas no Pacífico Extratropical em ambos os hemisférios. A última fase fria ocorreu no período 1947-1976. Já a fase quente apresenta configuração contrária, com anomalias de temperatura de superfície positivas no Pacífico Tropical e negativas no Pacífico Extratropical. A fase quente se estendeu de 1977 a 1998 (MOLION, 2005, p. 1).

A Figura 9 reproduz a variação do Índice Multivariado de El Niño - Oscilação Sul ENOS-com o tempo, a partir de 1950 até o presente, sendo descrito e elaborado por Wolter e Timlin (1998) apud Molion (2005). Os números positivos (negativos) mostram as intensidades dos El Niños (La Niñas). Observa-se a predominância de eventos La Niña no período 1950 a 1976, em contraste com a alta frequência de eventos severos de El Niño entre 1977 e 1998.

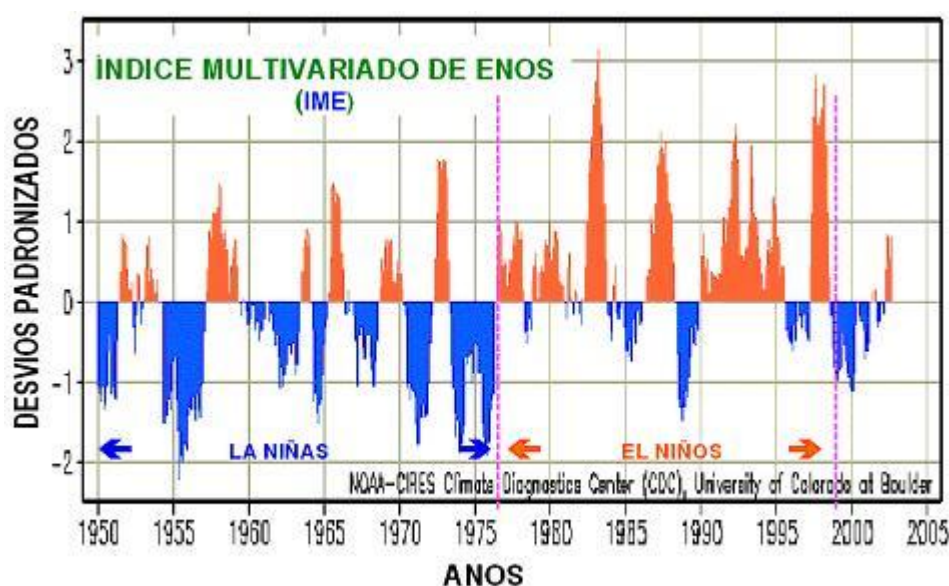


Figura 9: Série temporal do Índice Multivariado de El Niño-Oscilação Sul,

Fonte: Molion (2005, p. 2).

De acordo com Christy e Spencer (2004) apud Molion (2005, p. 2), as temperaturas médias globais, obtidas por meio de Microwave Sounding Units (MSU) a bordo de satélites desde

1979, aumentaram quando da ocorrência de eventos El Niño e diminuíram quando da ocorrência dos La Niñas (Figura 10).

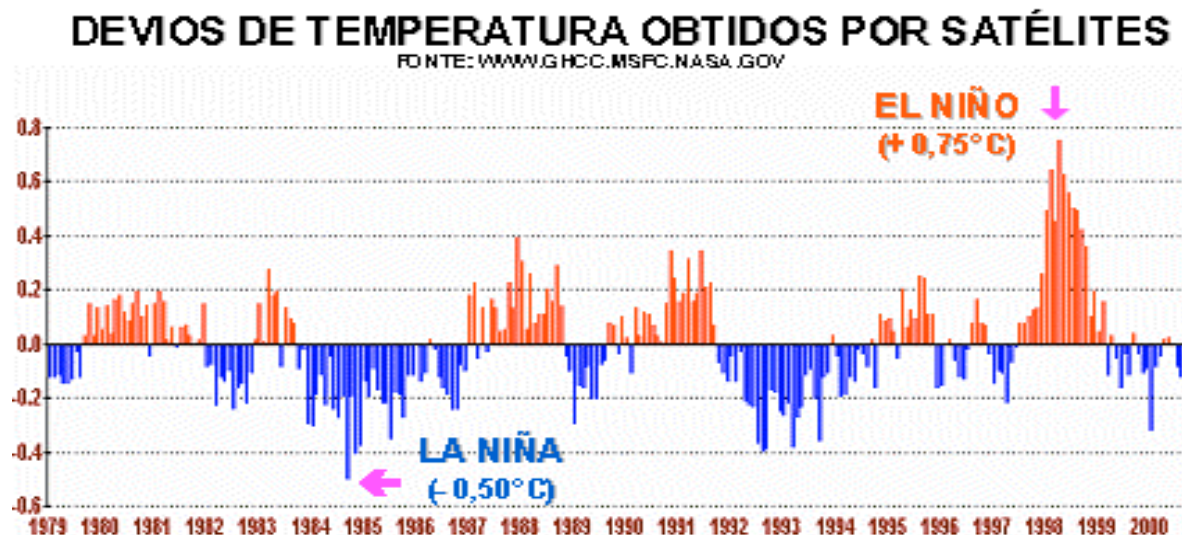


Figura 10: Desvios de temperatura média global da troposfera, obtidos por MSU a bordo de satélites

Fonte: Molion (2005) adaptado de Christy e Spencer (2004)⁴.

Molion (2005) seguiu explicando que,

[...] No auge do último evento El Niño forte de 1997/98, a temperatura média global chegou a apresentar uma anomalia positiva de aproximadamente 0,75°C em abril de 1998 enquanto, no La Niña de 1984/85, as anomalias de setembro de 1984 chegaram a - 0,50°C com relação á média do período. Nos El Niños de 1982/83 e 1992/93, as anomalias positivas não foram evidentes devido à presença dos aerossóis das erupções dos vulcões El Chichón (México, abril de 1982) e Monte Pinatubo (Filipinas, junho de 1991) que resfriaram o Planeta por 2 a 3 anos. (MOLION, 2005, p. 2).

Uma possível causa para o aquecimento (resfriamento) durante um El Niño (La Niña) pode ser a alteração do balanço radiativo da Terra.

⁴ <http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/MSU/msusci.html>

[...] Durante o evento El Niño de 1997/98, notou-se que, em geral, as médias mensais de anomalias de radiação de onda longa emitida para o espaço exterior (ROLE) foram negativas sobre uma grande extensão do Pacífico Equatorial, indicando que a Terra perdeu menos ROLE no período. Por exemplo, as anomalias de ROLE chegaram a exceder -40 Wm^{-2} em janeiro de 1998. Em contraste, durante o evento La Niña, em janeiro de 2000, a mesma região apresentou anomalias positivas, indicando uma perda de ROLE superior à média. (MOLION, 2005, p. 2).

Em pesquisa realizada por Molion; Bernardo (2002) apud Molion (2005), foram divulgadas as diferenças das anomalias de radiação de ondas longas emitidas (ROLE) entre janeiro de 1998 (El Niño) e janeiro de 2000 (La Niña), em que é possível notar a existência de diferenças superiores a 120 Wm^{-2} e, em uma grande extensão do Pacífico, as diferenças foram superiores a 40 Wm^{-2} . As anomalias negativas (menor perda) ocorrem devido à intensificação do efeito-estufa sobre o Pacífico durante os El Niños, em decorrência da maior concentração de vapor d'água (umidade), o principal gás de efeito-estufa, nos níveis inferiores da troposfera (camada limite) e a maior cobertura de nuvens sobre a região de águas anormalmente quentes. Durante os La Niñas, verifica-se o contrário, e o efeito-estufa se enfraquece, fazendo com que a região de águas frias perca mais ROLE. Molion (2005) concluiu que o sistema Terra-atmosfera pode sofrer, naturalmente, uma variação de temperatura de cerca de $1,5^\circ\text{C}$ entre fases fria e quente do ENOS.

Vale ressaltar que o Pacífico ocupa um terço da superfície terrestre. Sendo assim, Molion (2007) garante que fica nítido que se houver uma variação de temperatura do Pacífico, esta afetará o clima. Não se deve deixar de lado a informação de que, ao ocupar 71% da superfície terrestre, os oceanos são, sem dúvida, um importante fator de controle do clima.

Para o autor, a tendência da temperatura média global da troposfera, nos últimos 25 anos, foi de apenas $+0,08^\circ\text{C}$ de acordo com os dados de MSU. Já a tendência estimada das estações de superfície foi significativamente maior, igual a $0,32^\circ\text{C}$ (MOLION, 2005), conforme pode ser

observado na Figura 11. A partir dessa figura, é possível observar as anomalias da temperatura média global em função do tempo. Molion (2005, p. 3) fez algumas observações relevantes após a análise da referida figura:

- As anomalias apresentaram uma tendência positiva, de cerca de $+0,37^{\circ}\text{C}$, durante o período da fase quente da ODP (1925-46). Uma análise dos ciclos de 11 anos de manchas solares revelou que, simultaneamente, o número máximo de manchas aumentou entre 1920 e 1957, indicando maior produção de energia solar durante esse período.
- Já no período subsequente de 1947 a 1976, que coincidiu com a fase fria da ODP e maior frequência de eventos La Niña (Figura 10), as anomalias da temperatura média global registraram uma tendência negativa, com um decréscimo aproximado de $-0,14^{\circ}\text{C}$. Entretanto, a partir de 1977, as anomalias voltaram a apresentar tendência positiva, com um aumento de $+0,32^{\circ}\text{C}$. Esse aumento foi atribuído à intensificação do efeito-estufa pelas atividades humanas. Coincidentemente, esse aumento da temperatura média global aconteceu quando a ODP estava em sua fase quente, e a frequência de eventos El Niño (quentes) fortes foi grande (Figura 9).
- Um outro aspecto observado é que os oceanos deixam de absorver cerca de 30 ppmv de CO_2 para cada grau centígrado que a temperatura de sua camada de mistura aumente. Isto é, a solubilidade do CO_2 nos oceanos varia inversamente com a sua temperatura. Portanto, durante a fase quente da ODP, em que o Pacífico Tropical está mais quente e predominam os El Niños, espera-se que mais CO_2 fique armazenado na atmosfera, conforme observado, quando comparado com sua fase fria.

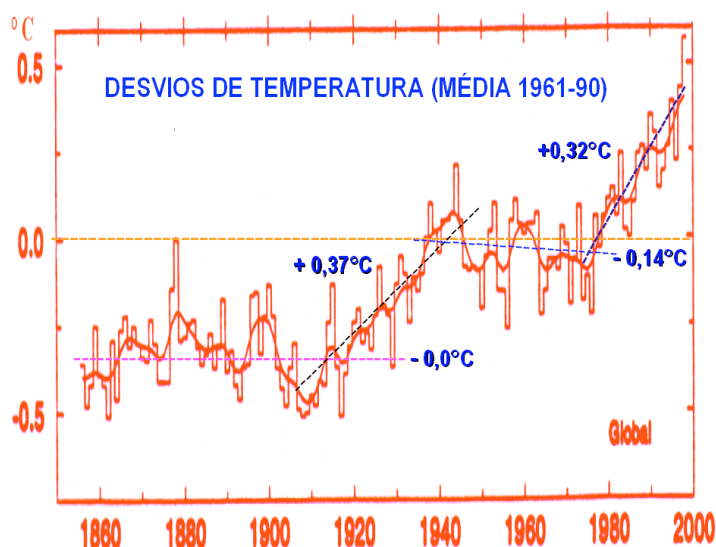


Figura 11: Desvios da temperatura média global, com relação à média do período 1961-90, obtidos em estações meteorológicas de superfície⁵

Fonte: Molion (2005, p. 4).

Molion (2005) avaliou que a ODP parece ter entrado novamente em sua fase negativa a partir de 1999 (conforme observado na Figura 1), na qual deve permanecer até cerca de 2025 possivelmente, ou seja, pelos próximos 25 anos, com um consequente aumento (redução) da frequência de eventos La Niña (El Niño).

Portanto, se o sistema Terra-oceanos-atmosfera se comportar como na fase fria anterior da ODP (1947-76), a temperatura média global deverá diminuir, pelo menos, de cerca de $0,15^{\circ}\text{C}$, paulatinamente até 2025. Foi dito “pelo menos” porque existe um agravante, quando se compara à fase fria anterior. Desta vez, os próximos dois máximos de manchas solares, previstos para 2011 e 2022, poderão apresentar número máximo de manchas inferior aos anteriores (mínimo do Ciclo de Gleissberg) se o Sol mantiver o mesmo comportamento dos últimos 300 anos. Ou seja, nos próximos 25 anos, a produção de energia solar poderá ser reduzida. Mesmo com emissões crescentes, a taxa anual de crescimento da concentração CO_2 na atmosfera poderá ser inferior às observadas anteriormente, uma vez que sua absorção, pelo Oceano Pacífico Tropical mais frio, poderá aumentar. (MOLION, 2005, p. 4).

⁵ Observem a tendência negativa da temperatura durante a fase fria da ODP (1947-76)

Molion esclarece que é fundamental levar em consideração os vários fatores que interferem no clima global, e que esse alarde sobre o aquecimento global não é a primeira vez que ocorre.

Sem exagero, eu digo que o clima da Terra é resultante de tudo o que ocorre no universo. Se a poeira de uma supernova que explodiu há 15 milhões de anos for densa e passar entre o Sol e a Terra, vai reduzir a entrada de radiação solar no sistema e mudar o clima. Esse ciclo de aquecimento muito provavelmente já terminou em 1998. Existem evidências, por medidas feitas via satélite e por cruzeiros de navio, de que o oceano Pacífico está se aquecendo fora dos trópicos - daí o derretimento das geleiras - e o Pacífico tropical está esfriando, o que significa que estamos entrando numa nova fase fria. Quando esfria é pior para nós. (ISTO É, 2007, p. 2)

3.4 A Polêmica do CO₂

Um fato inquestionável acerca do CO₂ é que o aumento nas concentrações desse gás passaram de cerca de 280 ppm, na metade do século passado, início da Era Industrial, para os 350⁶ PPM, ou seja, um aumento de 25% ao longo de 150 anos, para o qual as últimas quatro décadas contribuíram de modo decisivo, sendo responsáveis por 70% da variação (MOLION, 1995, p. 22).

No entanto, logo em seguida, Molion (1995) questionou que:

Daí a concluir que esse aumento de gás carbônico já provocou um acréscimo da temperatura global é um passo muito grande e de difícil comprovação, em virtude da grande variabilidade natural que o clima apresenta, causada por fatores internos e externos à atmosfera do planeta. (MOLION, 1995, p. 22).

O aumento de 25% na concentração de gás carbônico, nos últimos 150 anos, já deveria ter causado um incremento na temperatura média da Terra entre 0,5 e 2,0° C, segundo os

⁶ MOLION (1995) faz menção a 350 pmm, IPCC (2007) a 360 ppm, tal diferença pode estar no período de mensuração das concentrações de CO₂ quando os autores redigiram seus documentos.

modelos usados, e que a razão para um incremento inicial dessa magnitude, quando comparado ao que se espera diante da duplicação do CO_2 , é que o efeito do gás no aquecimento é logarítmico. Ou seja, à medida que a concentração de gás cresce, sua contribuição para o aquecimento diminui progressivamente. Portanto, sua maior contribuição ocorre quando começa a aumentar (MOLION, 2005).

Dos gases responsáveis pelo efeito estufa, nem todos possuem a mesma capacidade de absorção dos raios infravermelhos nem a mesma duração de vida na atmosfera.

Sua eficácia quanto ao processo de efeito estufa é variável. É o vapor d'água o maior responsável pelo efeito estufa, representando 3 a 4% dos gases atmosféricos. O teor desse vapor na atmosfera depende principalmente da eficácia do ciclo de água, ela própria comandada pela temperatura. Quando o planeta está quente, os oceanos são mais vastos e a evaporação aumenta, tendo em vista que o ar quente armazena mais vapor d'água. Na segunda posição dos gases de efeito estufa se encontra o CO_2 , representando apenas cerca de 0,03% dos gases atmosféricos, ou seja, 100 vezes menos que o primeiro. Contudo a modelização do clima futuro é efetuada com o CO_2 e não com o vapor d'água, muito mais complexo para ser computado. (TEBEAUD, 2007, p. 41).

Tebeaud (2007) questionou uma série de dados apresentados por diversos cientistas, como, por exemplo, a primeira medição de CO_2 no ar realizada no Havaí (1957-58), pois, sendo o Havaí uma região de intensa atividade vulcânica e o CO_2 um dos principais gases emitidos nas erupções vulcânicas, este fato torna suspeita a representatividade desse sítio.

O teor de CO_2 foi também mensurado com base na reconstituição em bolhas de ar, retidas nas amostras de gelo, para o período anterior a 1958. De acordo com essa curva, antes do século XIX, o CO_2 era estável em cerca de 280 ppmv. Em 1985, as concentrações eram de 315 ppmv e elevaram-se para 330 ppmv, em 1974, e 360 ppmv em 1995. Esta é a prova de que, localmente, o CO_2 aumenta. O questionamento levantado por Tebeaud (2007), com relação à utilização do CO_2 após a Revolução Industrial de 1850, dá-se por uma sucessão de fatores apresentados. O sincronismo entre as medições de temperatura, que começaram a ser

realizadas por volta de 1850, o fim da Pequena Era Glacial, o início da elevação térmica planetária, o aumento dos gases de efeito estufa e a revolução industrial na Europa tiveram grande influência na relação entre a liberação de gases de efeito estufa e a elevação da temperatura. O carvão foi o combustível mais utilizado para a indústria em meados do século XIX, que se concentrou unicamente na Europa e nos Estados Unidos. A produção era de 100 milhões de toneladas em 1865, crescendo até 1913, declinando em seguida. Uma tonelada de petróleo produzia 76% do CO₂ gerado por 1 tonelada de carvão. Diante dos dados apresentados e levando-se em conta que a difusão da poluição atinge poucas distâncias, fica difícil imaginar que, imediatamente após a Revolução Industrial, toda a troposfera tenha se modificado tão depressa.

Tebeaud (2007) informou que foi observada uma liberação de gás aprisionado em virtude do aquecimento pós-glaciário. Outro fator a ser considerado é que a temperatura controla a composição química da atmosfera.

Isso permite explicar porque os teores dos gases de efeito estufa eram 4 vezes mais elevados há 100 milhões de anos, porque eram constantes durante o *optimum* medieval ou a Pequena Era Glacial, e porque os períodos de recessão econômica do século XX não podiam ser lidos pela curva do CO₂. (TEBEAUD, 2007, p. 43).

Resende et al. (2001) fizeram um breve relato sobre as discussões acerca do efeito estufa. A Convenção–Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, que foi assinada pelo Brasil na RIO-92, tratou do problema do efeito estufa. Tal convenção estabeleceu que os países desenvolvidos deveriam tomar a liderança no combate ao aquecimento global e retornar suas emissões antrópicas de Gases de Efeito Estufa (GEE), por volta do ano 2000, aos níveis anteriores a 1990. A primeira conferência dos países que fizeram parte da Convenção–Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças no Clima (Berlim, 1995), após examinar os compromissos definidos para os países desenvolvidos, concluiu que eram inadequados. Foi elaborado, então, o Mandato de Berlim, que pôs em marcha um processo de dois anos para a

discussão de um protocolo que definisse novos compromissos legalmente vinculantes, no sentido de possibilitar ações apropriadas para a primeira década do século 21. O processo do Mandato de Berlim culminou com a Terceira Conferência das Partes, realizada em Kyoto (Japão), em 1997, com uma decisão por consenso em favor da adoção do Protocolo de Kyoto.

O Protocolo de Kyoto levou uma série de nações industrializadas (Anexo B do Protocolo) a se comprometer a reduzir suas emissões em 5,2% - em relação aos níveis de 1990 - para o período de 2008-2012. Também estabeleceu três mecanismos de flexibilidade que permitem que esses países cumpram com as exigências de redução de emissões fora de seus territórios. Dois desses mecanismos correspondem somente a países do Anexo B: a Implementação Conjunta (*Joint Implementation*) e o Comércio de Emissões (*Emission Trading*); o terceiro, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo-MDL (*Clean Development Mechanism*), autoriza atividades entre o Norte e o Sul, com o objetivo de apoiar o desenvolvimento sustentável (GREENPACE, 2000).

O MDL é economicamente interessante para empresas transnacionais e governos de países responsáveis por grandes emissões dos GEE (Gases do Efeito Estufa), que, financiando projetos de sequestro de carbono, obtêm créditos, visando compensar suas elevadas taxas de emissão. Para países em desenvolvimento, como o Brasil, ainda não incluídos no chamado Anexo I, os projetos de MDL apresentam-se como uma oportunidade ambiental e de negócios (SANQUETTA, 2007). O MDL é o único que inclui os países em desenvolvimento e consiste na certificação de projetos de redução de emissões e sequestro de carbono em países em desenvolvimento e a posterior venda desses certificados para serem utilizados pelos países desenvolvidos, como uma forma de atingir o cumprimento de suas metas (REZENDE et al. 2001).

O artigo 12 especifica que os países em desenvolvimento que implementarem projetos de MDL emitirão os CERs (Certificado de redução

de emissão) e os países industrializados poderão utilizar estas CERs para cumprirem suas metas de redução de emissões de GEE acordadas no Protocolo de Kyoto. (REZENDE et al. 2001, p. 15).

Rezende et al. (2001) apontaram que, apesar dos impecilhos, as expectativas são cada vez maiores para utilização dos CERs. Os autores citaram projetos científicos que estão sendo baseados com o emprego das verbas e financiamentos que os CER's trarão para os países em desenvolvimento, como, por exemplo, o Brasil, onde a mistura álcool-diesel, para ser usada nos ônibus de Campo Grande - MS, visa conseguir fundos com a redução das emissões de carbono, por meio do emprego do “combustível verde”, vendendo seus créditos de carbono.

Estudos mostram que países como a Noruega e a Holanda não conseguem reduzir suas emissões abaixo dos níveis atuais e começam a promover o plantio de florestas em países tropicais, para que elas absorvam parte do carbono emitido por eles. Assim, o Brasil também pode se beneficiar desses programas, que já chegaram aos países do Sudeste da Ásia, América Central e Caribe (REZENDE et al. 2001).

Independente da resposta sobre o que se pode chamar de “culpa” das propaladas mudanças climáticas globais e se todas as suas consequências são ou não decorrentes da atividade antrópica, ou associadas a causas naturais, tanto a comunidade científica, quanto os cidadãos devem munir-se de esforços para a convivência em uma sociedade com menos problemas ambientais. Sendo assim, não é necessário que seja reconhecido ou não um problema de magnitude mundial, como o aquecimento global, para que possamos tomar medidas que possibilitem melhor qualidade de vida na Terra. Para finalizar, chamamos atenção aos dizeres de Rezende et al. (2001):

Na verdade pouco se sabe e muito especula-se em relação ao real impacto dos gases de efeito estufa na chamada mudança climática global. No entanto, enquanto a ciência busca a real importância deste fato, deve-se pensar em reduzir a emissão de GEE via combustão de combustíveis fósseis. (REZENDE et al. 2001, p. 17).

4 RESERVATÓRIOS DE CARBONO E CARBONO ORGÂNICO DO SOLO

4 RESERVATÓRIOS DE CARBONO E CARBONO ORGÂNICO DO SOLO

De acordo com IPCC (2007), o sequestro de carbono pelos solos é o mecanismo responsável pelo maior potencial de mitigação de gases de efeito estufa (GEE), com uma estimativa de contribuição de 89%.

Singh e Lal (2005) salientaram que “*There are two principal options of reducing the rate of enrichment of the tropospheric concentration of greenhouse gases: (i) reducing emissions and (ii) sequestering carbon (C)*”. Esta citação demonstra a importância que os solos assumem na conjuntura atual (2010), uma fase em que a preocupação com o futuro da humanidade atinge as mais diversas esferas (econômicas, sociais, ambientais, políticas, etc.), para as quais a mitigação das possíveis mudanças climáticas globais deixou de ser tarefa apenas dos países desenvolvidos.

Nesse sentido, é consenso que existem cinco grandes reservatórios de carbono (IPCC, 2007; LAL 2006; MACHADO, 2005):

- Oceanos, estimados em 38.000 Pg⁷;
- Reserva geológica, estimada em cerca de 5.000 Pg, sendo composta de 4.000 Pg de carvão e 500 Pg para óleo e gás;
- Reserva pedológica ou de C do solo, composta por 1.550 Pg de carbono orgânico no solo (SOC)⁸ e 950 Pg de carbono inorgânico no solo (SIC)⁹;
- Atmosfera, estimada em 750 Pg com aumento anual em torno de 3,3 Pg por ano;

⁷ 1Pg = petagrama = 10¹⁵ g = 1 bilhão de toneladas (Mg);

⁸ SOC sigla de Soil Organic Carbon, ou COS de Carbono Orgânico do Solo;

⁹ SIC sigla de Soil Inorganic Carbon, ou CIS de Carbono Inorgânico do Solo;

- Reserva biótica, com 620 Pg incluindo 60 Pg por detritos materiais.

Os valores representativos das reservas de C (Figura 12) podem variar de acordo com diferentes autores, no entanto, é importante destacar que, juntas, as reservas de C terrestres são responsáveis por 3.120 Pg (LAL, 2006) ou 3.060 Pg (DIECKOW et al. 2004).



Figura 12: Estoques globais de carbono nos ecossistemas terrestres.

Fonte: Cerri e Cerri (2007, p. 7)

A Figura 12 evidencia que, globalmente, há de duas a três vezes mais carbono nos solos, em relação ao estocado na vegetação, e cerca do dobro em comparação com a atmosfera. Portanto, manejos inadequados podem mineralizar a matéria orgânica e transferir grandes quantidades de gases do efeito estufa para a atmosfera (CERRI; CERRI, 2007).

O estoque de C no solo, na camada até 30 cm, é de cerca de 800 Pg C, ou seja, quase a mesma quantidade armazenada na atmosfera (CERRI et al. 2006a). Entretanto, é pertinente salientar que os solos são ecossistemas frágeis. O uso impróprio da terra pode aumentar a taxa de mineralização do carbono orgânico do solo e transferi-lo para atmosfera como CO₂.

As fontes potenciais de emissão de carbono, de acordo com IPCC (1997) apud Cerri et al. (2006), são três: mudanças líquidas no estoque de carbono orgânico de solos minerais, associadas às mudanças no uso da terra e manejo; emissões por calagem de solos agrícolas; e emissões provenientes de solos orgânicos cultivados.

Em geral, a conversão de ecossistemas naturais em ecossistemas agrícolas leva à diminuição do estoque de C. Esta diminuição é causada pelo uso inadequado de práticas de manejo agrícolas, como aração, retorno do resíduo mínimo e aceleração da erosão (CERRI et al. 2006a). Os solos orgânicos, quando convertidos para agricultura, são normalmente acompanhados por “drenagem artificial, cultivo e calagem, resultando em rápida oxidação de matéria orgânica e estabilização do solo e consequente emissão de CO_2 ” (MCT, sd, p.84). Quando a vegetação natural é convertida para áreas de culturas, ocorre um rápido declínio da matéria orgânica do solo (POST; KWON, 2000).

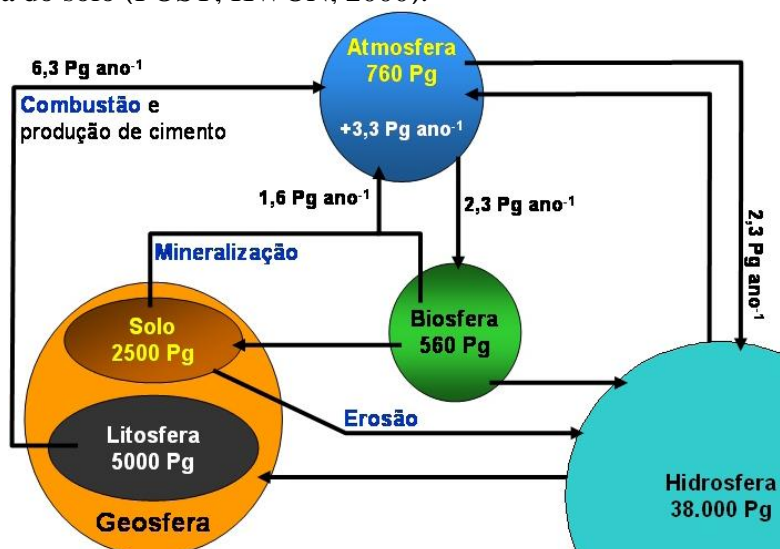


Figura 13: Representação simplificada do ciclo do C e seus principais reservatórios e fluxos.

Fonte: Dieckow et al. (2004, p. 8)

Ao comparar as informações dos países desenvolvidos com o Brasil, percebe-se um cenário completamente diferente, em que a maior parcela das emissões líquidas estimadas de CO_2 é proveniente da mudança no uso da terra, em particular, da conversão de florestas para uso agropecuário (MCT, SD).

Em virtude da elevada participação de energia renovável na matriz energética brasileira, pela geração de eletricidade a partir de hidrelétricas, pelo uso do álcool no transporte e a utilização do bagaço da cana-de-açúcar e carvão vegetal na indústria, a parcela de emissões de CO₂ mediante a utilização de combustíveis fósseis no Brasil é relativamente pequena. Além disso, deve-se observar que o consumo energético brasileiro é ainda modesto, quando comparado aos países industrializados. (MCT, SD, p. 85).

Ainda com relação ao cenário de emissões de GEE no Brasil, Cerri e Cerri (2007) apontaram que, aproximadamente, 75% do CO₂ que o Brasil emite para a atmosfera são derivados de práticas agrícolas e do desmatamento, ao passo que apenas 25% são derivados da queima de combustíveis fósseis (Figura 14). Ao considerar apenas a emissão de gases provenientes pela queima de combustíveis fósseis, o Brasil ocupa a décima sétima posição na classificação mundial dos países emissores de GEE. Quando se leva em consideração o desmatamento e a queima de combustíveis fósseis, o Brasil passa a ocupar a quinta posição.

Fossil fuel Burning	Land use change & agriculture % of total emission			Fossil fuel Burning
78	GHG			25
	Global		Brazil	
	22	CO ₂	75	
	55	CH ₄	91	
	80	N ₂ O	94	
Global ranking				
GHG in Brazil	Only fossil fuel combustion:			17 ^o
	Fossil fuel combustion + Agriculture and land use change			5 ^o

Figura 14: Padrões de emissão de gases do efeito estufa global e do Brasil.

Fonte: Cerri e Cerri (2007, p. 3)

Cerri et al. (2006a) salientaram que, com manejo adequado, o C pode ser sequestrado da atmosfera para o solo, pela decomposição e humificação. O processo de sequestro de C pelo solo depende do uso da terra adequado e das práticas de manejo recomendadas, tornando-se

uma importante estratégia regional e global para controlar as emissões de combustíveis fósseis e mitigar as mudanças climáticas.

De acordo com Lal (2006), o sequestro de carbono pelos solos pode ser avaliado como:

The process of transferring atmospheric CO₂ into a pedologic/soil C pool is called soil C sequestration. Soil C sequestration is a natural process and involves transfer of atmospheric CO₂ into biomass C via photosynthesis. Transfer of biomass C into SOC occurs through humification of the biomass returned to the soil. (LAL, 2006, p. 50).

Para Follett (2001), o que é considerado como adição de carbono vai ao encontro do conceito de sequestro de carbono descrito por Lal (2006),

Carbon is added to the soil by green plants that have capture CO₂ from the atmosphere by photosynthesis to form C-compounds, such as cellulose and lignin. The plant C enters the SOC pool as plant “litter”, root material, and root exudates or, if consumed for animals, as excreta (FOLLETT, 2001, p. 80).

No dizer de Machado (2005), “sequestro de carbono no solo significa transformar o carbono presente na atmosfera (na forma de CO₂) em carbono estocado no solo, compondo a matéria orgânica do solo”.

Resende et al. (2001) ponderaram que o sequestro de carbono em ecossistemas terrestres engloba tanto a captura de carbono da atmosfera quanto a prevenção de emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas. Os autores afirmaram que existem duas maneiras básicas de abordar a fixação de carbono em ecossistemas terrestres (RESENDE et al., 2001, p. 9):

- proteção dos ecossistemas que estocam carbono, para que esse processo seja mantido ou até mesmo incrementado (Amazônia, por exemplo);

- manipulação dos ecossistemas para aumentar a fixação de carbono (plantio direto e/ou reflorestamento de áreas degradadas ou tradicionalmente expostas). A fixação do carbono pode se dar tanto na planta como no solo. O total de carbono armazenado em um sistema reflete o balanço, ao longo prazo, entre a absorção da planta, a fixação de carbono no solo e as perdas por respiração e decomposição.

A capacidade de absorver C pelos solos depende de uma série de fatores (Figura 15), como, por exemplo:

(...) the difference between the present SOC pool under agricultural land use compared to the SOC pool under an undisturbed or a natural ecosystem. Most soils lose the SOC pool upon conversion from natural to managed ecosystems. The magnitude of the loss may be 25 to 75% depending on the antecedent pool, land use, management, and climate. (LAL, 2006, p. 54).

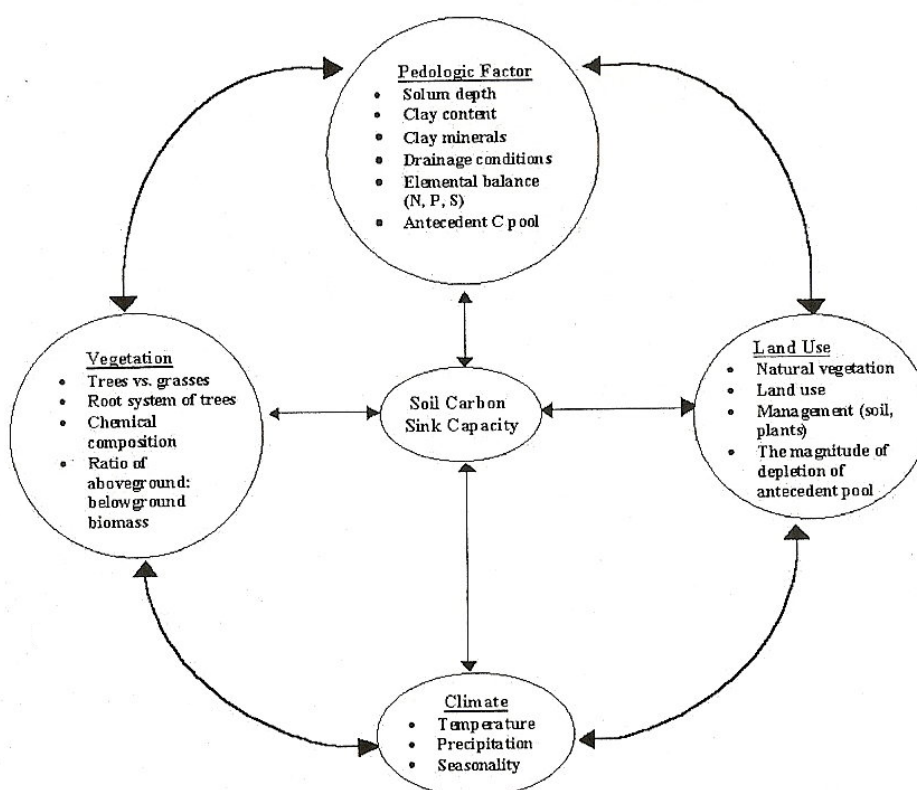


Figura 15: Fatores que afetam a capacidade de absorção de C pelo solo

Fonte: Lal (2006, p. 55)

As plantas fixam carbono por meio da fotossíntese, em que é retirado o gás carbônico da atmosfera e água do solo, ocorrendo a emissão de oxigênio e a captura de carbono na

biomassa por meio do crescimento apical e radial (SANQUETTA, 2007). Esse processo se dá na presença de luz e sob a ação da clorofila das plantas.



The loss of the SOC pool occurs due to a decrease in the amount of biomass returned to the soil, an increase in the rate of mineralization because of change in soil moisture and temperatures regimes, and a decrease in the amount of root or belowground biomass returned to the soil. (LAL, 2006, p. 54).

A capacidade do solo em absorver C depende da diferença entre as reservas de carbono orgânico do solo presentes sobre uso agrícola, comparadas com o SOC, em ecossistemas naturais não perturbados. A maioria das perdas de SOC é decorrência da conversão de ecossistemas naturais em ecossistemas de manejo. A magnitude das perdas pode ser de 25 a 75%, dependendo do antecedente da reserva de uso da terra, manejo e clima (LAL, 2006).

O solo, além de absorver, pode também perder carbono orgânico do solo, e estas perdas ocorrem em razão do decréscimo na quantidade de biomassa que retorna para o solo, do aumento na taxa de mineralização devido à mudança na umidade e temperatura do solo, e da diminuição na quantidade de raízes ou biomassa subterrânea que retorna ao solo; além da perda no SOC como consequência da erosão e da lixiviação em áreas agrícolas comparadas a ecossistemas naturais (LAL, 2006; FOLLETT, 2001; dentre outros)

Consequently, most agricultural soils lose 30 a 40 Mg C ha⁻¹ by the time the SOC pool has reached the new equilibrium level. It is this loss or deficit in the SOC pool that creates the SOC sink capacity. Conversion to a restorative land use and adoption of RMPs can resequester 60 to 70% of the historic C lost. (LAL, 2006, p. 54).

Embora a capacidade de resequstrar carbono possa ser recuperada, Lal (2006), Follett (2001) e Dieckow et al. (2004) afirmaram que são fatores essenciais: a profundidade do solo; o conteúdo de argila e mineralogia; os atributos estruturais e a habilidade para formar agregados; a retenção de umidade no solo; e a mudança da densidade e superfície da área e reserva antecedente. Lal (2006) ainda concluiu que o *deficit* ou perda nas reservas de SOC é maior em solos com textura grossa do que em solos com textura fina, maior em excessivamente drenados do que em solos mal drenados, e maior em solos com alto, em vez de baixos níveis antecedentes de SOC.

Uso da terra e vegetação são também importantes fatores ao se tratar da perda de SOC. A magnitude da perda de SOC é alta em alguns usos da terra e em sistemas de manejo que envolvem frequentes e intensos distúrbios no solo, como por exemplo, cultivos sazonais com aração da terra (ou plantio convencional). Lal (2006) salientou que a capacidade de absorver C é grande em culturas como pastagens ou terras florestadas e que solos que manifestam algum processo de degradação (erosão, por exemplo) possuem capacidade elevada de armazenar C, quando comparados com solos que não apresentam distúrbios, pois a capacidade de armazenar C é maior que em solos que poderiam estar próximos a um equilíbrio.

Os níveis de carbono refletem um balanço de longo prazo entre adições e perdas de carbono orgânico (Figura 16). Todavia, a maioria do C sequestrado devido a mudanças no sistema de preparo alcançam um novo equilíbrio em cerca de 25-50 anos (FOLLETT, 2001).

Cerri et al. (2006a) enfatizaram o fato de o potencial de sequestro de C ser finito, ou seja, uma vez que o estoque/reserva de C alcance um limite, os ganhos e as perdas de C no solo chegam a um estado constante, não ocorrendo mais uma adição ao potencial de sequestro de C.

Todavia, o tempo para alcançar esse novo equilíbrio depende do solo, do clima, uso da terra e práticas de manejo.

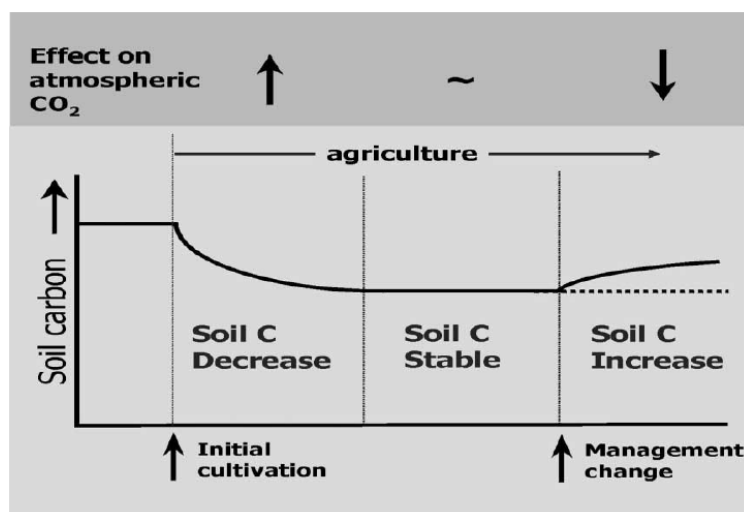


Figura 16: Mudanças do estoque de carbono ao longo do tempo e liberação do carbono como função das práticas agrícolas

Fonte: Follett (2001, p. 79).

Cerri e Cerri (2007) revelaram que a agricultura responde por 22% do efeito estufa do planeta. Porcentagem próxima foi citada por EMBRAPA (2004): 20%. Esses dados são preocupantes. A quantidade de carbono orgânico no solo é o resultado do balanço entre dois processos: deposição de resíduos (serrapilheira e raízes) de plantas que, originalmente, obtiveram seu carbono do CO_2 atmosférico por meio da fotossíntese; e decomposição dos resíduos depositados que resulte na evolução de CO_2 . O primeiro processo é favorecido por altas taxas de produção primária, favorecida pela abundância de água, calor e nutrientes. A decomposição também é favorecida pela abundância de água e calor, mas é ainda mais estimulada pela movimentação do solo, conforme praticado na agricultura convencional, com arados e outros implementos semelhantes, que destroem os agregados do solo que protegem a matéria orgânica da ação microbiana.

Pela adoção de práticas de manejo recomendadas, a agricultura contribui não somente para a conservação e qualidade da água, mas também para potencializar o carbono orgânico do solo, e a mitigação das emissões de dióxido de carbono e consequentes efeitos nas mudanças climáticas (FOLLETT, 2001).

A taxa de sequestro de SOC, mediante a conversão para uso restaurativo e adoção de práticas de uso recomendadas, é geralmente menor que a taxa de diminuição na reserva de SOC pela conversão da vegetação natural em ecossistemas agrícolas. A perda da reserva de SOC é rápida e drástica, ao passo que o ganho na reserva de SOC é lento e variável, atingindo um máximo entre 10 a 30 anos depois da adoção das práticas de manejo recomendadas (LAL, 2006).

Práticas que resultam na perda de carbono do solo são o desmatamento e a queima de vegetação nativa, que reduzem drasticamente a deposição de resíduos sem uma alteração proporcional na decomposição da MOS (EMBRAPA, 2004a). A taxa de sequestro de SOC depende de uma ampla escala de fatores (Figura 17), no entanto, os mais relevantes são o tipo de solo e o clima.

De acordo com Lal (2006), a taxa de sequestro de carbono pelos solos exibe algumas características peculiares:

- A perda na reserva de SOC é mais elevada e mais rápida em climas tropicais que em climas temperados;
- Taxas de sequestro de C são, geralmente, altas em ambientes úmidos e frios em comparação com climas áridos e quentes;

- Os solos agrícolas com textura argilosa em climas temperados contêm, provavelmente, maior taxa de sequestro de SOC que solos com textura grossa nos trópicos e subtropicais;
- A taxa de sequestro de SOC pode ser alta em solos irrigados, especialmente se a eficiência da água utilizada é alta e a irrigação aumenta a produtividade primária líquida com o elevado aumento da biomassa que retorna para o solo.

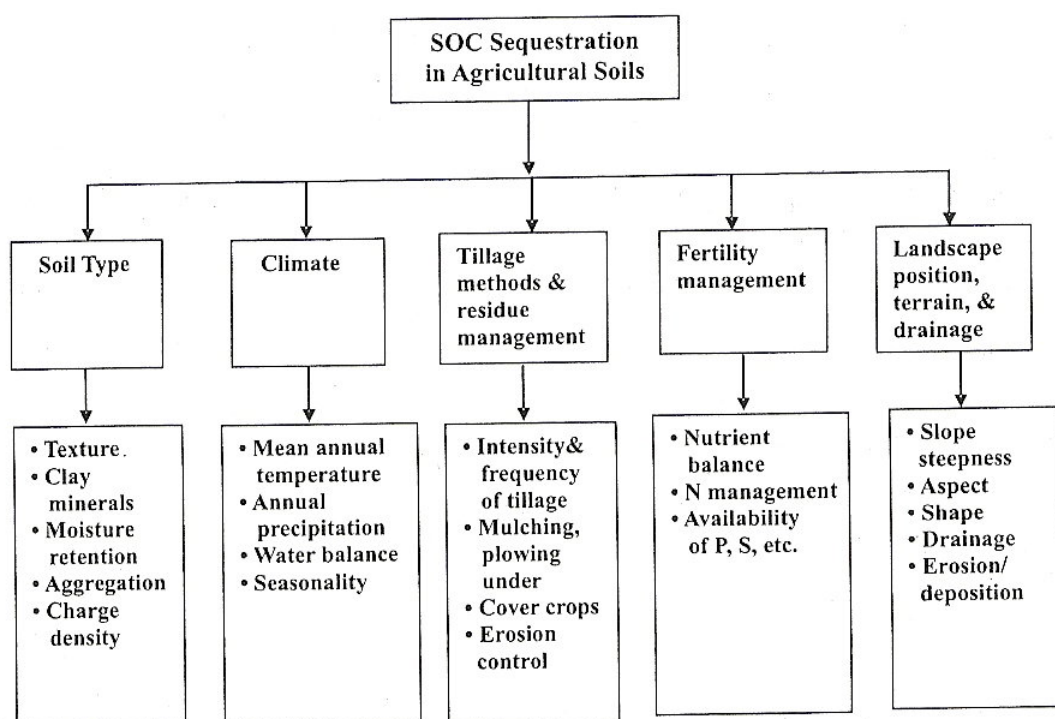


Figura 17: Fatores que afetam as taxas de sequestro de carbono orgânico do solo em solos agrícolas

Fonte: Lal (2006, p. 58)

Follett (2001) avaliou que o carbono orgânico presente no solo resulta da taxa de decomposição do carbono orgânico do solo, bem como a quantidade e composição de resíduos de culturas, raízes das plantas, e outras matérias orgânicas que retornam ao solo. Resíduos das culturas e outros materiais orgânicos constituem o maior recurso para superfície

de manejo do solo, produção de energia e outros usos. Dessa forma, práticas com aumento de resíduos e/ou crescimento das plantas resultam em potencializar o sequestro de carbono. Ao contrário, práticas como aração ou gradagem da terra e práticas de pastejo abusivo (que causam a remoção excessiva dos resíduos ou vegetação pela pecuária) vão resultar em perdas no SOC, que podem se dar pela erosão do solo ou pela oxidação do SOC.

Leite; Mendonça e Machado (2004) ressaltaram que, nos os últimos anos, o C orgânico do solo vem sendo sistematicamente quantificado tanto na forma de teores totais quanto em diferentes compartimentos no solo. Isto se dá pela alta capacidade que o solo tem, por meio do seu manejo, de evitar que o C seja transferido para a atmosfera ou que permaneça retido no material do solo.

Machado (2005) informou que diferentes componentes das plantas se decompõem a diferentes taxas.

Por exemplo, açúcares simples e proteínas são decompostos rapidamente em questão de horas ou alguns dias. Por outro lado, ligninas e suberinas demandam muito mais tempo para serem decompostas (SWIFT, 2001). A taxa de mineralização da matéria orgânica em regiões temperadas (ex. Europa Central) é de aproximadamente 2% e nos trópicos úmidos (ex. Amazônia) é de 4 a 5%. Por outro lado, a produção de biomassa, ou seja, de vegetação, é maior nos trópicos úmidos. (MACHADO, 2005, p. 332).

O autor ressaltou que os três principais processos responsáveis pelo sequestro de carbono nos solos são a humificação, agregação e sedimentação. Ao mesmo tempo, os processos responsáveis pelas perdas de carbono no solo são a erosão, a decomposição, a volatilização e a lixiviação (Figura 18), sendo a agregação do solo (que é união de partículas de areia, silte, argila e matéria orgânica para formar pequenos torrões estáveis ao impacto da gota de chuva) um dos fatores mais importantes para o sequestro de carbono no solo (LAL; KIMBLE; FOLLET apud MACHADO, 2005). A agregação é realizada pela ação de hifas de fungos e

substâncias orgânicas provenientes das raízes das plantas ou dos produtos da decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos.

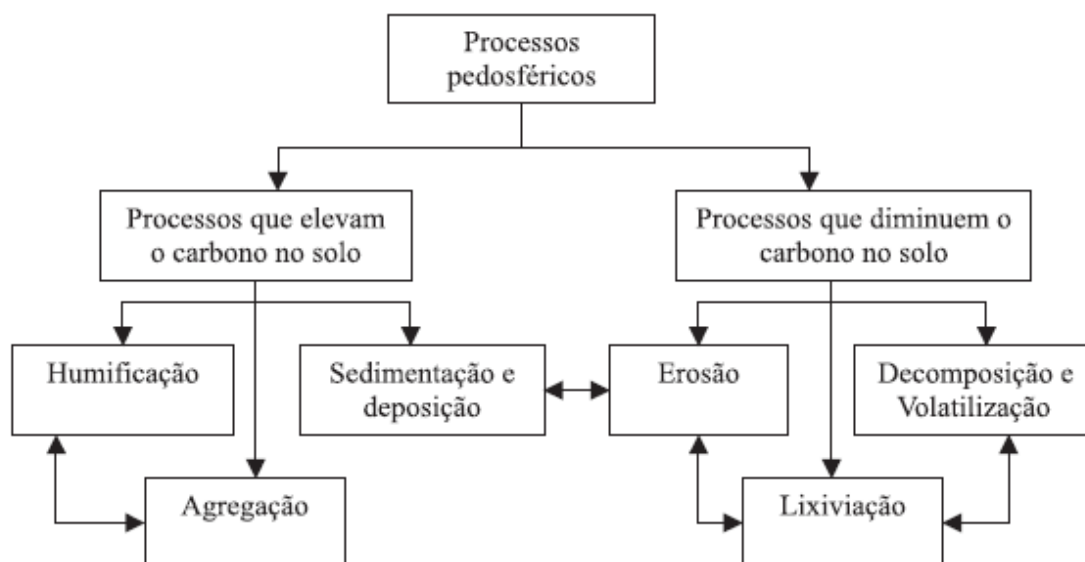


Figura 18: Principais processos no solo que influenciam o conteúdo de carbono no solo

Fonte: Machado (2005, p. 332), adaptado de Lal, Kimble e Follet (1997)

O carbono orgânico do solo está presente na matéria orgânica viva, que corresponde a menos de 4% do carbono orgânico total do solo, e na matéria orgânica morta, que corresponde à maior parte do carbono orgânico total do solo (cerca de 98%) (THENG, 1987 apud MACHADO, 2005).

Machado (2005) relatou que o carbono da matéria orgânica viva (CMOV) subdivide-se em carbono presente nos microrganismos (60-80% do CMOV), consistido, principalmente, de fungos e bactérias; carbono presente nos macroorganismos (15-30% do CMOV) constituído, por exemplo, por minhocas, ácaros e térmitas terrestres.

Já o carbono da matéria orgânica morta (CMOM) subdivide-se na matéria macroorgânica, ou seja, resíduos vegetais recém-adicionados ao solo e no húmus (80-90% do CMOM), que se

compõem de substâncias não húmicas (30% do carbono do húmus), representadas pelos ácidos orgânicos de baixo peso molecular e substâncias húmicas (70% do carbono do húmus), representadas pelos ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas (MACHADO, 2005).

Ainda com relação à taxa de sequestro de C nos solos, Lal (2006) discorreu que,

(...) the rate of SOC sequestration in humid temperature soils is 300 to 1000 kg C.ha⁻¹ per year. In comparison, the rate of SOC sequestration in arid/semiarid tropical climates may be 0 to 250 kg C.ha⁻¹ per year. In some exceptional cases, a high rate of >1.0 Mg C.ha⁻¹ per year has been reported. Such high rates are often associated with adoption of RMPs which produce a large quantity of biomass, especially the biomass associated with deep root systems (Fisher et al. 1994) and with supplemental irrigation. (LAL, 2006, p. 56).

A taxa de sequestro de carbono inorgânico do solo é, geralmente, baixa e varia de 5 a 15 Kg C ha⁻¹ por ano. Em contraste, a lixiviação de bicarbonatos pode se dar em uma escala que varia de 0,25 a 1,0 Mg C ha⁻¹ por ano. A taxa de formação de carbonatos secundários é baixa, pois carbonatos são mais estáveis e permanecem por períodos no solo mais longos que o SOC (LAL, 2006).

Desde o início da agricultura, as perdas de matéria orgânica do solo são responsáveis pela emissão de 78 Pg de C para atmosfera (LAL, 2004 apud DIECKOW et al. 2004). Dessa forma, os sistemas convencionais de preparo do solo causam acentuadas perdas de C por mineralização. Entretanto, Dieckow et al. (2004) garantiram que os solos agrícolas podem assumir um outro papel no ciclo do C, se práticas adequadas de manejo forem adotadas, como a redução do preparo do solo, a adoção de sistemas de culturas com elevado aporte de resíduos, a correção de acidez e adubação, etc.

Dieckow et al. (2004) trouxeram informações relevantes sobre o sistema de preparo do solo que interfere, principalmente, em três processos, afetando vários fluxos do ciclo de carbono. O primeiro destes processos é a mineralização da MOS, um dos mais importantes, pois

interfere no fluxo de emissão de C do solo para a atmosfera. O segundo processo é a queima de combustíveis fósseis durante as operações de preparo, que intervém no fluxo de emissão de C da litosfera (petróleo) para a atmosfera. O terceiro processo é a erosão, que atua no fluxo de C do solo para a hidrosfera e, de forma indireta, sobre o fluxo de C da hidrosfera para a atmosfera, caso a matéria orgânica dos sedimentos for mineralizada.

A perda de carbono por erosão diminui consideravelmente a qualidade do solo, onde o C é perdido, e dos reservatórios hídricos para onde as enxurradas escoam. Em termos de sequestro de C, ainda não está esclarecido se as erosões contribuem como fonte ou dreno de C (DIECKOW et al. 2004).

Além disso, Silva, Rangel e Guilherme (2006) acentuaram que, em um levantamento realizado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, foram estimadas perdas anuais, em nível mundial, de 25 bilhões de toneladas de solo por erosão. Sendo assim, ao considerar um solo com 2% de C orgânico, essas perdas equivalem a uma emissão de 500 milhões de toneladas de C por ano para a atmosfera.

Chaves e Farias (2008) esclareceram que o estoque de carbono,

(...) calculado a partir dos dados de carbono orgânico como outros atributos do solo, que determinam o impacto da agricultura ao meio ambiente, além de variar no tempo, varia também no espaço, razão por que o conhecimento da sua variabilidade espacial é importante, sobretudo, para o refinamento das práticas de manejo e avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental (Cambardella et al., 1994). (CHAVES; FARIAS, 2008, p. 21).

Quanto ao balanço de carbono nos solos, foram estudados diversos sistemas de manejo no Cerrado, concluindo que “o plantio direto, a pastagem cultivada não degradada e áreas reflorestadas com *Pinus* e *Eucaliptus* são sistemas conservadores de carbono no solo, se

forem respeitadas algumas condições de implantação desses agroecossistemas” (EMBRAPA, 2005).

Singh e Lal (2005) relataram que o solo pode se transformar em fonte ou dreno de C atmosférico, a partir de

Practices that lead to transfer of C from soil to the atmosphere include deforestation, burning, plowing, and continuous cropping. In contrast, practices that make agricultural soil a sink are conservation tillage, judicious use of fertilizers, crop rotations, cover crops, and fallowing; improved pasture and growing deep rooted crops (Lal and Kimble, 1997). (SINGH; LAL, 2005, p. 162)

De acordo com IPCC (2007), a área absoluta mundial de terras cultiváveis aumentou em aproximadamente 1,4 milhões de hectares, um aumento total de cerca de 8% desde 1960 (quando houve uma diminuição de 5% nos países desenvolvidos e um aumento de 22% nos países em desenvolvimento). A previsão é que esta tendência continue no futuro, com a conversão prevista de 500 mil hectares adicionais para a atividade agrícola no período de 1997-2020, especialmente na América Latina e África Subsaariana.

Sobre a mitigação de gases de efeito estufa, IPCC (2007, p. 67) revelou que “aproximadamente el 90% de la mitigación total se deriva de la intensificación de los sumideros (secuestro de C del suelo) y aproximadamente el 10% de la reducción de emisiones”. Todavia, IPCC (2007) ponderou que, a médio prazo, a maioria do potencial de mitigação é obtido pela eliminação de CO₂ da atmosfera e sua conversão em carbono do solo. Entretanto, a magnitude deste processo diminui, à medida que o carbono do solo alcança os níveis máximos. Sendo assim, a mitigação a longo prazo dependerá cada vez mais da redução das emissões de N₂O, CH₄ e CO₂.

Algunas prácticas agrícolas sólo tienen resultados favorables, pero la mayoría implican compensaciones recíprocas. Los ecosistemas agrícolas son

complejos. Los beneficios conjuntos y compensaciones recíprocas de cualquier práctica agrícola pueden variar de un lugar a otro debido a las diferencias en El clima, suelo o la forma en que se adopta la práctica. (IPCC, 2007, p. 67).

O IPCC (2007) sugeriu ainda algumas opções de mitigação proeminentes na agricultura, com potenciais mostrados em Mt CO₂-eq/ano, com preços até U\$\$ 100,00 t/CO₂-eq (Figura 19) para o ano 2030.

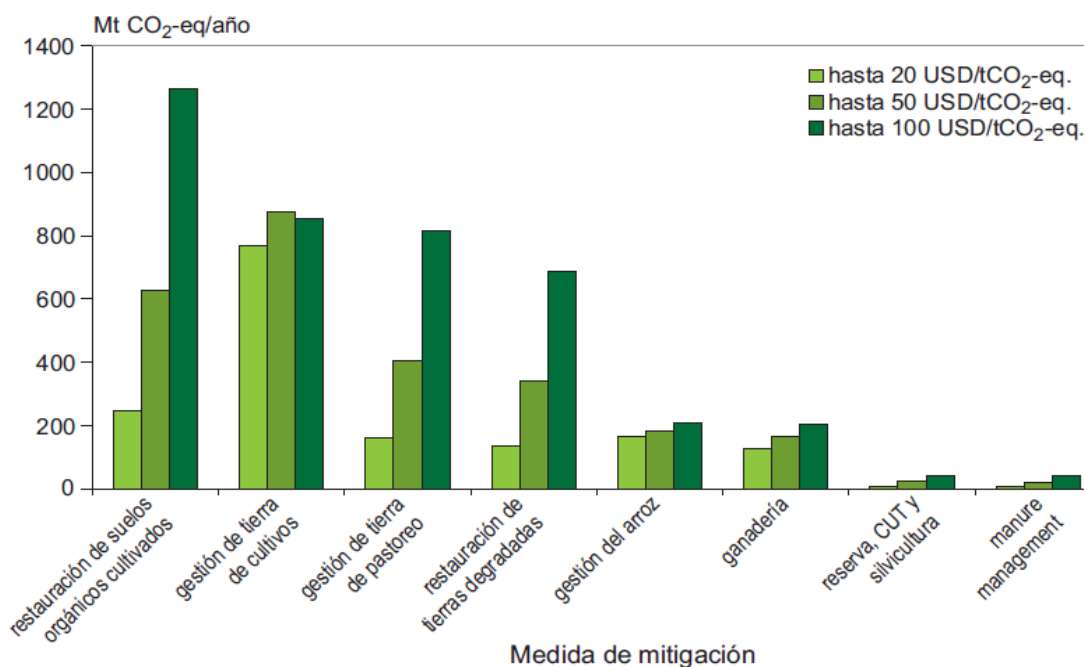


Figura 19: Figura: Opções de mitigação

Fonte: IPCC (2007, p. 67)

A diferença nos estoques de C entre solos sob mesma vegetação nativa é influenciada fortemente pela sua textura. A MOS é retida no solo em função da superfície específica das partículas do solo. Portanto, os estoques de C, nos solos de textura fina (argilosos) são bem maiores daqueles em solos de textura grossa (arenosos). Recentemente, a equipe de Embrapa Agrobiologia registrou um estoque de C até uma profundidade de 1 m, de 57 Mg C ha⁻¹ sob vegetação de Cerrado (Chapadão do Sul, MS), num solo arenoso (18 % argila). Mas, num

outro sítio com uma vegetação nativa semelhante (Luz, MG), cujo solo tinha 80 % de argila, o estoque de C foi de 117 Mg C ha⁻¹, para 1 m de profundidade (EMBRAPA, 2004a).

A fonte inicial de matéria orgânica no solo é a fixação do CO₂ atmosférico pela fotossíntese das plantas. Quando a planta senesce ou morre, seu material orgânico é adicionado ao solo. A atividade da fauna do solo (especialmente, comunidade de fungos e microorganismos) metaboliza alguns desses substratos e transforma os outros em compostos orgânicos mais resistentes (coletivamente referidos como húmus) (TRUMBORE; TORN, 2003).

A matéria orgânica do solo (MOS) é importante na disponibilização de nutrientes, agregação do solo e no fluxo de gases de efeito estufa entre a superfície terrestre e a atmosfera (LEITE; MENDONÇA, 2003).

Craswell e Lefroy (2001) consideraram que, além de ser um reservatório essencial de carbono, nutrientes e energia para o ciclo da vida, sem a MOS, a superfície da Terra seria uma mistura estéril dos minerais.

Trumbore e Torn (2003) definiram matéria orgânica do solo como:

As we define it here, the term “soil organic matter” (or “SOM”) includes all the dead organic compounds in soil, in all states of decay, ranging from fresh dead plant litter, to microbial cell walls, to humic materials stabilized on mineral surfaces. (TRUMBORE; TORN, 2003, p. 2).

Leite e Mendonça (2003) explicaram que a MOS é dividida em três compartimentos:

- Ativo: constituído pela biomassa microbiana do solo e seus produtos, é de fácil decomposição e envolve um curto tempo de reciclagem (1 a 5 anos), dependendo do ambiente e conteúdo de areia;
- Lento: derivado de material vegetal resistente (lignina) e da matéria orgânica química e fisicamente protegida, apresenta tempo de reciclagem intermediário (20 a 40 anos);

- Passivo: material muito resistente à decomposição, sendo quimicamente recalcitrante e protegido fisicamente, com longo tempo de reciclagem (200 a 500 anos).

A principal perda de carbono orgânico do solo é a decomposição em CO₂ decorrente da lixiviação ou erosão, em que as taxas de decomposição, ou o inverso, de *turnover time* da MOS variam muito. *Turnover times* da MOS varia de horas para açúcares exsudado pelas raízes a > 100.000 anos (Figura 20), quando o C é associado com minerais não-cristalinos (TRUMBORE; TORN, 2003). Machado (2005, p. 332) informou que *turnover time* ou *turnover rate* refere-se à “quantidade de carbono em determinado compartimento do solo dividido pela taxa de adição anual de carbono para este compartimento”.

O clima exerce controle dominante sobre as taxas de decomposição e retorno da matéria orgânica do solo. Em geral, a quantidade de CO₂ produzida por grama de C orgânico do solo aumenta com a elevação da temperatura (TRUMBORE; TORN, 2003; MACHADO, 2005

Trumbore e Torn (2003) mostraram que o mais importante mecanismo de perda do C adicionado ao solo se dá mediante a decomposição (Figura 20). Os resíduos da matéria orgânica são afetados pelo clima, pela qualidade do substrato original da planta, e pelo ambiente físico do solo (por meio de fatores como a temperatura, a mistura e a disponibilidade de O₂, a estrutura e a mineralogia do solo).

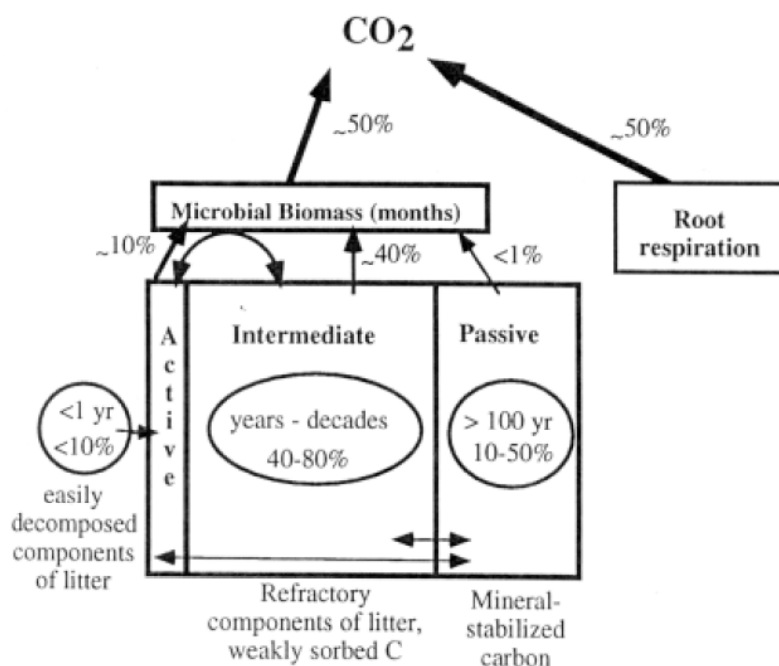


Figura 20: Resumo esquemático do ciclo de C nos solos

Fonte: Trumbore e Torn (2003, p. 3)

MOS é uma mistura heterogênea de elementos que se decompõe em diferentes escalas de tempo, algumas de horas a anos e outras a milênios (TRUMBORE; TORN, 2003). A quantidade e dinâmica do C do solo diferem com o tipo de solo, particularmente mineralogia, clima e manejo (CRASWELL; LEFROY, 2001).

Neves et al. (2001) apontaram que a importância da MOS no ciclo global é fundamental, pois

(...) ela se constitui no maior reservatório de C terrestre, compreendendo cerca de duas vezes a quantidade de C na atmosfera e na biomassa vegetal (Bruce et al., 1999; Swift, 2001), e, portanto, constituindo-se num compartimento que desempenha papel crucial no sequestro do C (Stevenson, 1994). (NEVES et al. 2004, p. 1038).

Com relação ao plantio convencional, Craswell e Lefroy (2001) relataram que a incorporação de resíduos com as operações deste tipo de manejo reduz o tamanho das partículas de resíduos

e aumenta o contato com as partículas de solo e biota, favorecendo a quebra do C recentemente adicionado.

Além da MOS ser um importante reservatório de carbono, possui uma rápida troca com o CO₂ atmosférico. Isso a torna importante fonte potencial e/ou absorvedor de gases de efeito estufa ao longo da escala de tempo de interesse humano (SCHIMEL, 1995 apud TRUMBORE; TORN, 2003).

Trumbore e Torn (2003) apresentaram uma série de fatores que influenciam a quantidade de C estocado. Com relação ao clima, os estoques de C são maiores em locais de clima frio e úmido, bem como em altas latitudes, e menores em locais de clima quente e seco.

A vegetação controla o armazenamento de C de duas maneiras (TRUMBORE; TORN, 2003, p. 7):

- A produtividade primária líquida da vegetação determina a taxa de entrada de C para a MOS. Assim, para solos onde as taxas de decomposição da matéria são similares, os solos com mais produtividade de vegetação possuem inventário de C orgânico alto;
- Vegetação também controla a estrutura e a decomposabilidade da matéria orgânica adicionada aos solos. Por exemplo, taxas de decomposição possuem ligação com a quantidade de lignina e nitrogênio nos detritos das plantas. Quideau et al. (1998) apud Trumbore; Torn (2003) mostraram que, para um local em que o material de origem, tempo de desenvolvimento do solo, e clima são os mesmos, a quantidade de C armazenado varia muito, dependendo do tipo da vegetação.

A respeito das diferenças no armazenamento de C em solos de zonas temperadas e tropicais, Craswell e Lefroy (2001) explicaram que tal afirmação era um mito, pois a taxa de desagregação da matéria orgânica pode ser significativamente rápida nos trópicos, enquanto

que as entradas de C para sistemas tropicais podem ser muito maiores. Esses fatores explicariam a falta de uma diferença geral no C orgânico total entre as regiões temperadas e tropicais.

Fatores como a topografia do local e a drenagem do solo são importantes na determinação do armazenamento do C no solo. Os inventários de C são mais elevados no lado inferior das encostas, em parte, porque a erosão transporta minerais e matéria orgânica associada e também porque as condições mais úmidas no fundo das encostas promove a produtividade das plantas e/ou inibe as taxas de decomposição. Assim, avaliar a topografia do local torna-se imprescindível no momento em que se consideram tais valores como representatividade regional.

O carbono orgânico total (COT) ou a matéria orgânica do solo (MOS) encontram-se entre um conjunto de variáveis químicas, físicas e biológicas, que, acompanhadas ao longo do tempo, são capazes de detectar as alterações da qualidade do solo em função do manejo (MIELNICZUCK, 2008).

Nos dizeres de Mielniczuck (2008), há um consenso em relação à MOS ser indicador de qualidade do solo em função de dois fatores principais. O primeiro diz respeito ao teor de matéria orgânica no solo, que é muito sensível às práticas de manejo, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais, onde, nos primeiros anos de cultivo, mais de 50% da matéria orgânica previamente acumulada é perdida por diversos processos (decomposição microbiana e erosão (SANCHES, 1976; DALAL; MAYER, 1986; GREENLAND et al., 1992 apud MIELNICZUCK, 2008, p. 1). O segundo, a maioria dos atributos do solo (estabilidade dos agregados e da estrutura, infiltração e retenção de água, resistência à erosão, atividade biológica, capacidade de troca catiônica, disponibilidade de nutrientes para as plantas, lixiviação de nutrientes, liberação de CO₂ e outros gases para a atmosfera) e do ambiente

relacionados às funções básicas do solo, tem estreita relação com a matéria orgânica (DORAN, 1997 apud MIELNICZUCK, 2008).

FAO (2009) apresentou a importância do carbono do solo decorrente da matéria orgânica,

(...) and, as Lal (2004) has noted, irrespective of its climate change mitigation potential, soil C sequestration has merits for its impacts on increasing productivity, improving water quality and restoring degraded soils and ecosystems. Organic matter has various interrelated effects on soil fertility. These can be distinguished as physical (e.g. improved structural stability, erosion resistance, waterholding capacity and aeration), chemical (e.g. enhanced availability of micronutrients) and biological (e.g. enhanced faunal activity) effects (FAO, 1995). High SOC stocks are needed to maintain consistent yields through improvements in water- and nutrient-holding capacity, soil structure and biotic activity (Lal, 2004). (FAO, 2009, p. 17).

O período de tempo para altas taxas de acúmulo da MOS pode ser relativamente curto, anos ou décadas. Estas taxas de acúmulo são significantes para a corrente sustentabilidade do solo e o manejo e emissão do carbono (POST; KWON, 2000).

Sobre a adição e perda de matéria orgânica, Mielniczuck (2008) apontou que,

(...) a adição de matéria orgânica ocorre via adição de carbono pela síntese de compostos orgânicos no processo de fotossíntese. A quantidade adicionada de carbono em determinadas condições edafoclimáticas depende das espécies e dos sistemas de cultura utilizados. Já as perdas de carbono ocorrem pela liberação de CO₂ na respiração, pela decomposição microbiana dos resíduos e da matéria orgânica do solo e pelas perdas de compostos orgânicos por lixiviação e erosão. A magnitude desses processos, em dadas condições edafoclimáticas, dependem direta ou indiretamente do manejo do solo. (MIELNICZUCK, 2008, p. 2).

Distúrbios que afetam o ciclo do C incluem incêndios e inundações, desmatamentos, agricultura e drenagem nos campos, florestas, terras úmidas, etc. Estes distúrbios afetam a entrada e a perda de C no solo pela mudança da vegetação, estrutura do solo, temperatura, balanço de água e disponibilidade de nutrientes (TRUMBORE; TORN, 2003).

Rápidas taxas de acúmulo ou perda de C podem ocorrer em curto espaço de tempo em resposta a distúrbios, como em casos de mudança na vegetação, por exemplo. Solos podem perder uma significativa porção de seu carbono, quando os ecossistemas nativos são substituídos por cultivos menos produtivos. Estas mudanças representam uma perda no ciclo rápido do C ao invés do compartimento passivo (TRUMBORE; TORN, 2003)

A MOS é uma importante fonte ou dreno do CO₂ atmosférico em várias escalas de tempo. Suficiente C é estocado em formas orgânicas que trocam rapidamente com o CO₂ atmosférico. Para os solos, é importante componente do ciclo do C global durante o presente século (TRUMBORE; TORN, 2003).

Dieckow et al. (2004) explicaram três mecanismos de proteção da MOS¹⁰. Estes processos diminuem a taxa de mineralização do solo promovida por microrganismos e são descritos a seguir:

❖ Proteção Física

A proteção física é exercida pelos agregados do solo. A matéria orgânica particulada (MOP), que são fragmentos orgânicos com diâmetros superiores a 0,45µm e que ainda possuem vestígios de estruturas celulares, como por exemplo, fragmentos de raízes, insetos, etc., são resguardados pela proteção física que se dá através:

- da redução da taxa de difusão de O₂ no interior dos agregados, diminuindo a intensidade dos processos oxidativos sobre a MOS;
- pela ação dos agregados em servir como barreiras físicas que dificultam o acesso dos microrganismos ou a suas enzimas, ao substrato orgânico. Com a destruição dos agregados do solo, causada pelo preparo, a MOS fica mais

¹⁰ Todas as informações sobre os três mecanismos de proteção da MOS foram extraídas de Dieckow et al. (2004)

exposta aos microrganismos e suas enzimas, que se tornam intensificadas em função das condições mais oxidadas do ambiente.

Como resultado das condições expostas acima, tem-se uma diminuição nos estoques de C em solos sob preparo convencional, em relação à condição original, e o consequente aumento da emissão de CO₂ para a atmosfera. Situação contrária é encontrada em solos manejados sob plantio direto. O mínimo revolvimento permite a manutenção da estrutura do solo e, por conseguinte, de seus agregados por um período maior de tempo. Isso aumenta, consideravelmente, a eficiência do mecanismo de proteção física da matéria orgânica e, portanto, os estoques de C e o potencial de sequestro de C – CO₂ atmosférico em solos manejados sob plantio direto.

As camadas mais profundas do solo, em função da baixa difusão de O₂ e pelo fato de não serem revolvidas, também exercem proteção física sobre a MOS.

❖ **Interação organomineral**

O segundo mecanismo de proteção da MOS depende, basicamente, da textura e da mineralogia do solo. Quanto maior a área superficial específica (ASE) das partículas minerais do solo e quanto maior a densidade de grupos funcionais (-O⁻, -OH, -OH⁺) nessas superfícies minerais, maior é a interação organomineral. Solos argilosos tendem a possuir maior ASE que solos arenosos. Solos com elevada concentração de minerais do tipo 2:1 expansivos (como nos Vertissolos), ou de óxidos de ferro e alumínio (como nos Latossolos), tendem a possuir maior densidade de grupos funcionais de superfície.

Além disto, a textura do solo também interfere na proteção física por agregação, pois determina maior ou menor estabilidade dos agregados. O resultado dessa interferência da textura sobre a interação organomineral e agregação torna a matéria orgânica dos solos

argilosos menos vulnerável à mineralização do que a de solos mais arenosos. Solos arenosos possuem menor “resistência” em termos de variação dos estoques de C, sendo o efeito das práticas convencionais de preparo mais prejudicial nesses solos do que em solos argilosos.

❖ **Recalcitrância molecular**

Dieckow et al. (2004) ressaltaram que a recalcitrância molecular aumenta a estabilidade química das moléculas (ou supramoléculas) do solo. Grupos aromáticos presentes na lignina são mais resistentes à ação mineralizadora de microrganismos e suas enzimas e, por isso, mais recalcitrantes do que grupos alifáticos, como, por exemplo, carboidratos (celulose, hemicelulose, etc.).

Seria correto pensar que o grau de proteção da MOS fosse maior, caso o sistema de preparo do solo favorecesse o acúmulo de matéria orgânica mais aromática ou com maior concentração de estruturas alquílicas.

Existem algumas regras de manejo que, uma vez seguidas, podem favorecer a manutenção ou uma gradual acumulação do C no solo (EMBRAPA, 2004a):

- O solo nunca deve ser revolvido. Uma aração ou passagem de discos pode provocar a perda de C do solo acumulado em vários anos sob plantio direto;
- Sistemas de produção com altas produtividades devem depositar mais resíduos, inclusive, raízes, o que favorece o acúmulo do C no solo;
- O uso de culturas como milho, milheto ou aveia, com abundantes e profundos sistemas radiculares, proporcionam um maior acúmulo de C no solo, em profundidade, do que culturas com sistemas radiculares mais superficiais, como soja e trigo;

- O balanço de nutrientes (especialmente nitrogênio - N) também é um fator determinante. Se mais N é exportado do sistema agrícola (perdas e produtos agrícolas) do que o fornecido, por meio de fertilizantes e FBN, não haverá acumulação de C no solo.

EMBRAPA (2004a) discorreu sobre o balanço de N, em que a afirmação anterior é simples de ser explicada pela observação de que a relação C:N da matéria orgânica do solo se encontra na faixa de 10:1 a 13:1, ou seja, para acumular entre 10 a 13 unidades de C no solo, é necessário uma unidade de N. Da mesma forma, a perda de uma unidade de N do solo acarretará na perda de 10 a 13 unidades de C¹¹.

4.1 Sequestro de carbono e o uso da terra

O solo é um reservatório de C, e o sistema de manejo, um fator que influencia vários processos determinantes dos fluxos de entrada e saída de C do solo (DIECKOW et al. 2004). Para os autores, a importância de compreender a relação entre o sistema de manejo do solo e o ciclo de C está relacionada, em primeiro lugar, ao fato de que o C é o elemento presente em maior concentração na matéria orgânica do solo (MOS), geralmente, 58%. Por isso, tem um papel fundamental na influência que a MOS exerce sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, bem como a qualidade do solo. A segunda razão, baseada nas discussões sobre os processos de mudanças climáticas globais, diz respeito ao fato de o C ser constituinte

¹¹ Para saber mais sobre a importância do N, consultar EMBRAPA (2004a). Estudos realizados pela equipe da Embrapa Agrobiologia, em cooperação com a Embrapa Trigo (Passo Fundo, RS) e Embrapa Soja (Londrina, PR), mostraram a importância da introdução de leguminosas para adubação verde como estratégia de aumentar a entrada de N no sistema e proporcionar maior sequestro de C no solo. No caso das pastagens, a introdução de uma leguminosa forrageira como *Desmodium ovalifolium*, na região da Mata Atlântica, ou de *Stylosanthes guianensis*, na região do Cerrado, provocou acúmulos de C mais elevados no solo, mostrando, mais uma vez, o papel chave do ingresso de N no sistema para apoiar a formação de MOS.

de importantes gases causadores do efeito estufa, como CO₂ e CH₄ (DIECKOW et al. 2004).

Os autores consideraram que,

Conhecendo melhor a relação entre o manejo do solo e o ciclo do C, é possível estabelecer sistemas de manejo que maximizem os fluxos de entrada e minimizem os fluxos de saída de C do solo. Isso é uma forma racional e eficiente de garantir tanto a produção de alimentos, através da melhoria da qualidade do solo, como a mitigação do efeito estufa, através do sequestro de C atmosférico. (DIECKOW et al. 2004, p. 7).

Estima-se que, com um manejo adequado do solo, os solos agrícolas podem seqüestrar entre 0,4 e 0,9 Mg de C ha⁻¹ ano⁻¹ num período de 20 – 50 anos, e, com isso, recuperar entre 50% e 66% da perda histórica de 78 Pg de C (LAL, 2004b apud DIECKOW et al. 2004). Cerri et al, (2000) apud Segnini (2000) salientaram que “através das atividades agrícolas e da mudança do uso do solo, seria possível retirar de 400 a 800 milhões de toneladas de C da atmosfera por ano”.

O sistema de plantio direto tem merecido relevante destaque entre os sistemas de manejo de solo, já que este não é revolvido, evitando a perda da MOS. Procura-se sempre manter o solo coberto por resíduos vegetais, com a finalidade de protegê-lo do impacto de gotas de chuva, do escoamento superficial e das erosões.

Segnini et al. (2004) observaram que maior porcentagem de C foi encontrada em sistemas sob plantio direto, comparados com sistema sob cultivo mínimo e plantio convencional. Os autores notaram que o C diminui à medida que a profundidade aumenta em todas as amostras. O plantio direto tem mostrado aumento da MOS, provavelmente, devido à maior quantidade de resíduos de plantas, contribuindo também para o aumento da capacidade deste em reter C por mais tempo (SEGNINI et al., 2004, p. 2).

O sequestro de carbono estimado para plantio direto nas regiões subtropicais ($0,48 \text{ Mg C ha}^{-1}$) e nas regiões tropicais ($0,35 \text{ Mg C ha}^{-1}$) do Brasil (BAYER, 2004 apud DIECKOW, 2004, p. 14).

Com relação às áreas manejadas sobre plantio convencional, Dieckow et al. (2004) apontaram que

As perdas do solo e, conseqüentemente de C, são maiores em áreas manejadas sob preparo convencional comparadas às de áreas sob preparo conduzido ou plantio direto. As operações de aração e gradagem eliminam quase que totalmente a cobertura do solo além de destruir uma significativa proporção de macroagregados estáveis e com isso aumentar a erodibilidade do solo. (DIECKOW et al. 2004, p. 14).

O plantio convencional promove o revolvimento do solo, quebrando os agregados e expondo as superfícies organominerais, de outra maneira, inacessível aos decompositores. Perdas de até 50% na superfície do solo (20 cm) têm sido observadas depois de 30 – 50 anos, e reduções aproximadas de 30% da quantidade original até 100 cm (POST; KWON, 2000).

EMBRAPA (2005) demonstrou que, ao tomar como exemplo a cultura da soja no Cerrado, considerando-se que, no ano agrícola 2004/2005, a área cultivada com soja foi de 10,08 milhões de hectares (dados de 2005 da CONAB) e que, segundo a FEBRAPDP, cerca de 5,55 milhões de hectares estavam sob plantio direto, a quantidade de carbono do solo que deixaria de ser emitido como CO_2 para a atmosfera seria de 7,93 milhões de toneladas.

Em função das menores taxas de mineralização da matéria orgânica no plantio direto, esse sistema também favorece o acúmulo de C no solo, contribuindo tanto para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, como para o sequestro de C atmosférico. Isto denota que o plantio direto é uma forma sustentável de se praticar a agricultura no intuito de promover tanto a qualidade do solo como a qualidade ambiental (DIECKOW et al. 2004).

Ladislau Martin Neto (pesquisador da EMBRAPA), em entrevista concedida a Ciência Web¹², relata que análises indicaram que o plantio direto permitiu a retirada de 40 toneladas de gás carbônico por hectare da atmosfera. Isso resultou no acúmulo de 11 toneladas a mais de material orgânico por hectare de solo em relação ao manejo tradicional, em que a concentração de carbono no solo, sob plantio direto, teve um aumento significativo após cinco anos de manejo, e concluiu que “tão importante quanto resgatar o CO₂ da atmosfera é mantê-lo no solo”.

Inicialmente desenvolvido no sul do Brasil, o plantio direto avançou sobre a região do Cerrado na década de 1980, quando se popularizou rapidamente (METAY et al. 2007). O sistema de plantio direto surgiu como alternativa à degradação séria do solo (erosão e compactação, perda de matéria orgânica), resultante do manejo inadequado do solo associado às práticas agrícolas convencionais no Cerrado.

O desenvolvimento do sistema de plantio direto só foi possível graças a um esforço conjunto de agricultores, técnicos, pesquisadores, indústrias, empresas de pesquisa e universidades brasileiras, no sentido de reverter o processo acelerado de degradação do solo e água verificado no país (SILVA; RANGEL; GUILHERME, 2006).

Em 1989, a área ocupada pelo plantio direto no Cerrado era insignificante, contudo um aumento exponencial ocorreu desde então, não apenas no Cerrado, mas como em toda América Latina (CERRI et al. 2006a). Já em 1999, existiam 3,3 milhões ha sobre plantio direto de acordo com a Federação Brasileira de Plantio Direto (FEBRAPDP). Pela visualização da Tabela 1, é possível perceber que, na safra 2004/2005, o Brasil ocupava a segunda posição (23,6 milhões ha) no *ranking* mundial dos países que possuem áreas sob

¹² Disponível no site:

http://143.107.180.237/iea/index.php/news_site/textos/reportagens/plantio_direto_ajuda_a_reduzir_efeito_estufa

plantio direto, perdendo apenas para os Estados Unidos, com cerca de 25,3 milhões ha. Nas safras 2005/2006, o Brasil já registrava 25,5 milhões ha cultivados sob plantio direto (FEBRAPDP, 2010).

Tabela 1: Área sob plantio direto no mundo

País	Área sob Plantio Direto (ha) 2004/2005
Estados Unidos	25.304.000
Brasil	23.600.000
Argentina	18.269.000
Canadá	12.522.000
Austrália	9.000.000
Indo Gangetic-Plains	1.900.000
Paraguai	1.700.000
Bolívia	550.000
África do Sul	377.000
Espanha	300.000
Venezuela	300.000
Uruguai	263.000
Nova Zelândia	200.000
França	150.000
Chile	120.000
Colômbia	102.000
China	100.000
Outros (Estimado)	1.000.000
Total	95.757.000

Fonte: FEBRAPDP (2010)

Tabela 2: Evolução da Área de Plantio Direto no Brasil

Safra	Hectares
72/73	180
73/74	4.090
74/75	8.000
75/76	32.500
76/77	57.000
77/78	55.500
78/79	54.000
79/80	129.500
80/81	205.000
81/82	232.500

82/83	260.000
83/84	380.000
84/85	500.000
85/86	575.000
86/87	650.000
87/88	725.000
88/89	800.000
89/90	900.000
90/91	1.000.000
91/92	1.350.000
92/93	2.025.000
93/94	3.000.000
94/95	3.800.000
95/96	5.500.000
96/97	8.847.000
97/98	11.325.000
98/99	13.373.000
99/00	14.334.000
00/01	17.356.000
01/02	18.744.480
02/03	20.244.038
03/04	21.863.561
04/05	23.612.645
05/06	25.501.656

Fonte: FEBRAPDP (2010)

Silva, Rangel e Guilherme (2006) informaram que a explicação para a enorme área total ocupada pelo plantio direto no Brasil, é o fato de que tal prática reduz em 75% as perdas de solo por erosão e em 20% as de água, em relação às lavouras onde o solo é revolvido, além da produção de alimentos com as mesmas quantidades de corretivos e fertilizantes utilizados em lavouras convencionais. Além disso, todos esses efeitos benéficos estão associados ao aumento do teor de MO nas camadas superficiais dos solos sob plantio direto.

Cerri et al. (2006a) justificaram que as razões para o aumento exponencial na área com melhorias nas práticas de manejo, na América Latina, está no fato de que o plantio direto ou a mínima revolução do solo, além de manter, pode até mesmo aumentar a produtividade

agronômica, sendo economicamente e ambientalmente compatíveis, devido ao seu potencial em sequestrar C da atmosfera para o solo. Isto é também amplamente reportado no bom manejo das pastagem com número menor de animais no pasto, o que possibilita regeneração e aumento no estoque de C no solo.

O conceito de plantio direto ou semeadura direta pode ser estabelecido como:

Na época da semeadura, no solo não arado, aplica-se um herbicida de contato, após alguns dias, utiliza-se um equipamento que abre o sulco de 15cm de largura, onde é depositada a semente e o fertilizante. Nestas condições, o solo é movimentado o mínimo possível (Price, 1972 apud MILORI, 1999, p. 1).

Para Dieckow et al. (2004), *“Plantio direto é uma forma sustentável de se praticar a agricultura no intuito de promover tanto a qualidade do solo como a qualidade ambiental”*.

Entre as vantagens do plantio direto em comparação ao sistema tradicional de plantio da terra, estão o controle da erosão, a retenção da umidade do solo promovendo a melhor emergência e desenvolvimento inicial das plantas, além da economia de combustível ao utilizar menor número de máquinas e utilizar menos mão de obra (DIECKOW et al. 2004; METAY et al. 2007; MILORI, 1999)

Metay et al. (2007) consideraram que as principais razões para o desenvolvimento do sistema de plantio direto foram:

(...) (i) protect the soil surface from sealing and crusting by rainfall, (ii) achieve and maintain an open internal soil structure and (iii) develop the means for safe disposal of any surface runoff that would nevertheless still occur. Consequently, the NT technical strategy was based on two essential farm practices: (i) not tilling the soil; (ii) simultaneously maintaining soil cover. (METAY et al. 2007, p. 123)

Segnini et al. (2004) explicaram, claramente, a relação existente entre as taxas de adição e perda de MOS. Sendo assim,

Quando o balanço entre a taxa de adição de resíduos vegetais ao solo (determinada pelo sistema de cultura) e a taxa de perda da MOS for positivo, ocorrerá aumento da MOS. Neste caso, o solo pode atuar como um “dreno” de CO₂ atmosférico. Se o balanço for negativo, ocorrerá redução da MOS, e o solo contribuirá para o aumento do efeito estufa. (SEGNINI et al. 2004, p. 2).

Visando maximizar o sequestro de C pelo solo, algumas estratégias poderiam ser utilizadas: aumento da área cultivada sob plantio direto, permanência de restos culturais nas áreas de plantio, controle da erosão, aumento dos índices de produtividade (relativo à restrição de criação de novas fronteiras agrícolas), melhoria da fertilidade do solo (essencial ao aumento da produção de restos culturais), diminuição do desmatamento, revegetação de solos degradados e, por fim, preservação de solos orgânicos em ambientes de várzea (LAL, 2003).

Silva, Rangel e Guilherme (2006) chamaram atenção para o fato de que o acréscimo nos estoques de MOS não se dá nos primeiros anos de adoção do sistema plantio direto, mas, sim, após seis ou sete anos de implantação, e que os maiores incrementos nos estoques de MOS ocorrem nos primeiros 10 cm do solo.

O sistema de plantio direto acumula no solo cerca de 1,43 tonelada por hectare ao ano de carbono, podendo ser uma opção para minimizar o efeito estufa deste gás e abrir boas perspectivas para a venda de *commodities* (EMBRAPA, 2005).

A possibilidade de se recorrer às práticas agrícolas conservacionistas, como o sistema plantio direto, para mitigar o aumento de CO₂ na atmosfera, pelo sequestro de carbono pelo solo, obteve consenso internacional, durante reuniões do IPCC. A idéia contida no consenso foi que, promovendo a adoção de práticas agrícolas com conservação do solo, seria possível não apenas aumentar a produtividade agrícola, como também transformar os solos agrícolas em drenos ou sumidouros de CO₂ atmosférico (MACHADO, 2005).

Silva, Rangel e Guilherme (2006) salientaram que, mesmo com a possibilidade de retirada de grandes quantidades de carbono da atmosfera, o plantio direto ainda não é considerado um dos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo previstos no Protocolo de Kyoto e, portanto, não é passível de recebimento de investimentos por parte dos países com metas de redução de emissão de gases de efeito estufa.

Na região do Cerrado, o uso do sistema de plantio direto somente para a produção de grãos e de carne e de grãos, em sistemas de integração lavoura – pecuária, poderá aumentar consideravelmente a capacidade dos solos sequestrarem o carbono, aumentando a produtividade agrícola e preservando nossos mananciais hídricos (EMBRAPA, 2005).

A queima de biomassa na agricultura produz óxido nitroso (N_2O) e óxidos de nitrogênio (NO_x), durante a fase de combustão com chama, o monóxido de carbono (CO) e o metano (CH_4), quando há predomínio de fumaça. As taxas de emissão desses gases dependem do tipo de biomassa e da eficiência da queima (LIMA, et al., 2001).

Lima et al. (2001) salientaram que os resíduos da cana-de-açúcar representam 11% da produção mundial de resíduos agrícolas, cuja queima produz substancial liberação de CO_2 , e que a queima da cana-de-açúcar não é julgada uma emissão líquida, pois, pela fotossíntese, a biomassa queimada é repostada no ciclo seguinte (LIMA et al. 2001; MACEDO, 2001).

Normalmente a colheita de cana-de-açúcar é feita após a queima dos resíduos (folhas secas, folhas verdes e pontas). A eliminação das folhas aumenta o rendimento do corte manual dos colmos, elimina animais peçonhentos e facilita o preparo do solo para novo plantio. (LIMA et al. 2001, p. 174).

Cerri e Cerri (2007) declararam que a adoção de práticas de manejo menos agressivas, tal como o sistema plantio direto, substituindo o sistema convencional (Figura 21), e a colheita de cana-de-açúcar mecanizada em lugar da colheita com queima da palha, contribuem, juntos

para a mitigação total de $10,55 \text{ Mt C ano}^{-1}$ (9 Mt C ano^{-1} relativos à adoção do sistema plantio direto e $1,55 \text{ Mt C ano}^{-1}$ devido à colheita mecanizada da cana-de-açúcar). Verifica-se, portanto, que a mitigação derivada da implantação de tais práticas é quase suficiente para compensar a emissão líquida de $12,65 \text{ Mt C ano}^{-1}$ por todo o território brasileiro.

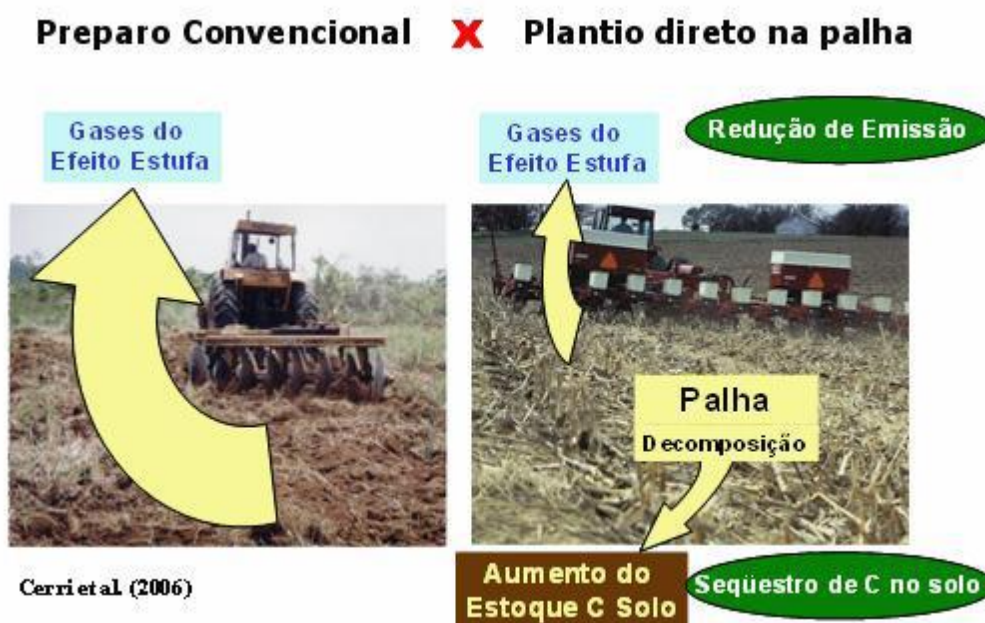


Figura 21: Adoção do plantio direto na palha em detrimento ao sistema de preparo convencional do solo como prática atenuadora do aquecimento global.

Fonte: Cerri e Cerri (2007, p. 3)

A colheita mecanizada (Figura 22), que dispensa a queima, é uma prática de adoção recente, utilizada em 5% das áreas produtoras do país. Suas vantagens estão na diminuição das emissões de gases e no favorecimento de uma maior cobertura do solo e na melhor qualidade tecnológica da cana crua (LIMA et al. 2001, p. 174).

Macedo (2001) esclareceu que, no caso do estado de São Paulo, a principal ação na mitigação já foi tomada com a legislação específica, visando reduzir gradativamente a queima de cana, e que a legislação (Decreto Estadual nº 42055, de 06/08/1997) previa a eliminação da queima em 8 anos, a partir de 1998, para as áreas passíveis de ser colhidas mecanicamente, e em 15 anos para as áreas mecanizáveis. O autor ainda demonstrou que a Legislação Federal (Decreto

Federal nº 2661, de 08/07/98) também previa uma redução da queima da cana, neste caso, estabelecendo um cronograma de redução apenas para as áreas mecanizáveis, a uma taxa de 25% a cada 5 anos.

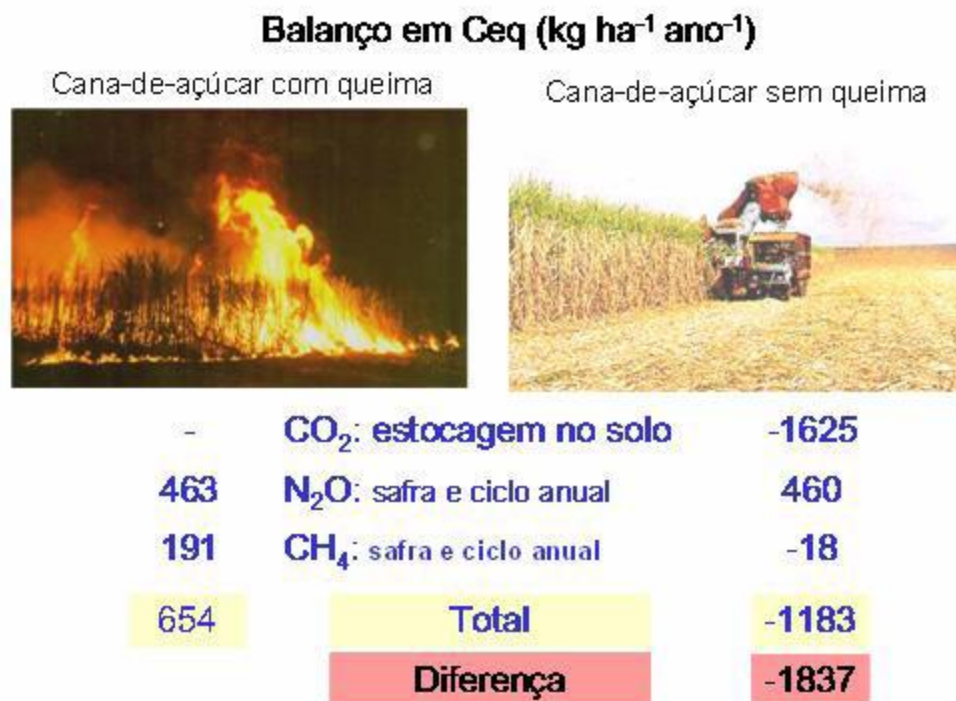


Figura 22: Emissão de gases do efeito estufa e sequestro de carbono pelo solo devido na colheita da cana-de-açúcar com e sem queima

Fonte: Cerri e Cerri (2007, p. 4)

Ainda com relação à colheita sem queima realizada por máquinas, Segnini et al. (2004) demonstraram que essa prática possibilita a deposição da palhada sobre o solo, sendo uma alternativa para a redução das emissões de gases, uma vez que o carbono que seria emitido durante a queimada, poderia ficar retido no sistema.

Cerri et al. (2006) relataram que, em estudo realizado na região de Ribeirão Preto-SP, onde a colheita mecanizada de cana crua está presente em mais de 80% das áreas, concluiu-se que

este sistema, aliado ao aproveitamento do bagaço, confere um sequestro de 19,55 Mt de C ano⁻¹.

Na pesquisa realizada por Segnini et al. (2004), foi avaliado o sequestro de carbono em áreas de rotação de culturas de cana-de-açúcar/amendoim. Os resultados obtidos mostraram que houve um aumento no conteúdo de carbono no solo na área sob plantio direto, comparado com áreas sob manejo convencional e cultivo mínimo, em um sistema sob rotação cana-de-açúcar/amendoim. O dado ganha importância, pois, nas áreas sob manejo convencional e cultivo mínimo, também não ocorreu a queima da palhada e, portanto, mostra que o principal efeito para diferenciar o conteúdo de carbono no solo foi o manejo e não a ausência de queima da palhada. Os autores concluíram, que, nas condições analisadas, o manejo conservacionista, como o plantio direto, teve um efeito relevante para o acúmulo de carbono no solo, configurando uma situação de sequestro de carbono no solo.

Levando-se em conta que o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar no mundo, responsável por, aproximadamente, 36,67% da produção total de cana-de-açúcar (FAO, 2010), é de extrema importância a adoção de novas tecnologias, como a colheita mecanizada da cana-de-açúcar, que é uma valiosa estratégia de mitigação do efeito das mudanças climáticas globais (CERRI; CERRI, 2007).

Tabela 3: Produção mundial de cana-de-açúcar

Países	Produção (MT*)	%
Brasil	549.707.328	36,67
India	355.519.700	23,72
China	11.3731.917	7,59
Outros 17 países	47.9921.189	32,02
Total	1.498.880.134	100

*MT: Mega Tonelada

Fonte: FAO (2010)

O manejo de pastagens tem sido citado como a segunda mais importante tecnologia agrícola disponível para a mitigação das mudanças climáticas globais (FAO, 2009). De acordo com FAO (2009), as pastagens cobrem, aproximadamente 30% , da superfície da Terra, e ocupam cerca de 3,4 bilhões de hectares, dos quais, 73% são afetados pela degradação dos solos, além do fato de que cerca de 1 bilhão de pessoas dependem dessas áreas para subsistência.

Grasslands cover approximately 30 percent of the earth's ice-free land surface and 70 percent its agricultural lands (FAO, 2005a; WRI, 2000; White et al. 2000). Drylands occupy 41 percent of the its land area and are home to more than 2 billion people (UNEP, 2006). Of the 3.4 billion ha of rangelands worldwide, an estimated 73 percent are affected by soil degradation (WOCAT, 2009). (FAO, 2009). Estima-se que as pastagens armazenam até 30% do carbono do solo no mundo. O potencial para sequestrar carbono através da melhoria no manejo destas pastagens é significativo em virtude da grande extensão de pastagens(FAO, 2009).

A quantidade de carbono estocado nas pastagens é de, pelo menos, 10% do carbono global (ESWARAN et al. 1993 apud SCURLOCK; HALL, 1998), embora algumas fontes estimassem cerca de 30% (ANDERSON, 1991 apud SCURLOCK; HALL, 1998; FAO, 2009).

FAO (2009) apontou que algumas melhorias no manejo das pastagens incluem restauração da matéria orgânica dos solos, redução da erosão e decréscimo nas perdas resultantes pelas queimadas e sobrepastejo, dentre outros fatores, que incluem

The capacity to sequester carbon depends on the climatic zone, the past history and status of the land resources such as soil and vegetation, and the opportunities available to change management practices (management techniques, competition with other land uses, economic tradeoffs, land tenure, social organization, incentives and political will). FAO (2009, p. 3)

EMBRAPA (2004) acentuou que, no Cerrado, a introdução de pastagens de *Brachiaria* spp. foi uma prática comum em áreas anteriormente ocupadas pela vegetação, e, atualmente,

cobrem uma vasta área do Brasil tropical, estimada em mais de 80 milhões de ha. Estudos feitos na Amazônia revelaram que se estas pastagens forem bem manejadas, podem se manter produtivas por vários anos, e os estoques de C no solo podem exceder aqueles sob a mata nativa. Obviamente, como a vegetação (floresta) da região contém entre 100 e 200 t C ha⁻¹, nunca será possível acumular mais C num sistema solo/planta de pastagens do que numa floresta original.

Pesquisas realizadas pela EMBRAPA Agrobiologia, em regiões da Mata Atlântica e Cerrados, mostraram que, em ambas regiões, se as pastagens forem mantidas produtivas, o solo sob pastagens pode acumular mais C do que está presente no solo sob a mata nativa (EMBRAPA, 2004). Esse dado revela a importância dos solos sob pastagens.

Com relação às emissões provenientes das áreas agrícolas, a agricultura é responsável por cerca de 14% das emissões de CO₂, enquanto que a mudança no uso da terra, que inclui a degradação da terra e o desmatamento (ligadas à agricultura), é responsável por 18%. A conversão de pastos em culturas é a maior causa das emissões. Nesse sentido, a FAO (2009) demonstrou que,

(...) Conversion of rangelands to cropland is a major cause of emissions, resulting in 95 percent loss of above-ground carbon and up to 60 percent loss of below-ground carbon (Reid et al. 2004; Guo and Gifford, 2000). Degradation of above-ground vegetation can cause an estimated loss of 6 tonnes of carbon per ha and soil degradation processes lead to a loss of 13 tonnes of carbon per ha (Woomer et al. 2004). (FAO, 2009, p. 6)

As práticas de manejo do solo podem causar diferenças nas taxas de mineralização da matéria orgânica. Mudanças no C do solo das pastagens podem ocorrer em função do manejo, além de fatores ambientais, como, por exemplo, pastejo, fogo, fertilização, além da conversão das pastagens em cultura. Processos erosivos podem ocasionar perda de C no solo das pastagens

pela redução da produtividade do solo erodido, aumentando-o, nas áreas deposicionais, ocorrendo uma redistribuição do C do solo como resultado da erosão (FAO, 2009).

De acordo com FAO (2009), de maneira geral, as culturas armazenam menos C que as áreas de pastagens:

Cropping systems in general have lower carbon retention in rangeland areas. Chan and Bowman (1995) noted that cropping soils over a 50-year period in semi-arid New South Wales, Australia, resulted in an average percentage reduction in soil carbon of 32 percent as compared to pasture systems. Rates of reduction were directly related to the number of years of cropping (FAO, 2004). A meta-analysis of 80 reports on conversion of grassland to cropland (Guo and Gifford, 2002) found that this conversion always led to a loss of soil carbon. The average loss was 59 percent, with the highest loss (some 78 percent) in areas with low annual rainfall of 400–500 mm. This relationship will become more important if land used for biofuels continues to compete with more permanent forms of land use and soil cover. (FAO, 2009, p. 8).

Potencialmente, o C perdido pode ser re-sequestrado por meio da restauração da vegetação e do solo. A degradação de solos áridos significa que eles estão longe de estarem saturados (em termos de C), possuindo uma significativa capacidade de estocar mais carbono. O potencial das técnicas em sequestro de carbono, mediante o controle da desertificação e restauração, tem sido estimado em 12 – 18 bilhões de toneladas de carbono para um período de cerca de 50 anos (FAO, 2009, p. 9).

Muito se discute sobre os efeitos negativos da pecuária com relação à emissão de gases de efeito estufa. Dentre os gases responsáveis pelo aquecimento global, pode-se destacar o metano (CH₄), que, de acordo com FAO (2009), representa cerca de 37% das emissões globais antropogênicas, enquanto o óxido nitroso (N₂O) representa 65% das emissões antropogênicas globais.

Methane from enteric fermentation globally is reported to be 85.63 million tonnes while manure contributes 18 million tonnes of CH₄ per year (FAO/LEAD, 2006). Of the total methane emissions from enteric

fermentation, grazing systems contribute some 35 percent compared to 64 percent for mixed farming systems (FAO/LEAD, 2006; FAO, 2009, p. 11).

Sobre o metano, Lima et al. (2001) asseveraram que a pecuária, especialmente a ruminante, constitui uma importante fonte de emissão de metano em escala global, e que, além de originar-se nos processos digestivos, que ocorrem no estômago (rúmen) do animal, o metano é emitido também a partir de dejetos animais, manipulados, principalmente, na forma líquida (a presente pesquisa não pretende discutir a emissão de metano pela pecuária, tais informações são apenas a título de curiosidade).

As queimadas são práticas frequentes para a limpeza das áreas ocupadas por pastagens. Extensas áreas são queimadas todo ano em diversas partes do globo. Estima-se que 700 milhões de hectares sejam queimados globalmente, ocorrendo uma perda de cerca de 1,6 Gt C por ano (FAO, 2009).

O fluxo de C proveniente das queimadas em pastagens tropicais atinge uma taxa que varia de 2,4 – 4,2 Gt C por ano (UNEP, 2006 *apud* FAO, 2009). Esses valores tornam-se ainda mais impressionantes quando comparados com os fluxos líquidos de C provenientes do desmatamento (1.8 Gt C por ano) e da queima de combustíveis fósseis (5,5 Gt C por ano) (Savory; Peck, 2007; Hall; Scurlock, 1991 *apud* FAO, 2009). Diante destes números, percebe-se que ainda é dada pouca atenção à relevância das pastagens, tanto como sumidouros de C quanto emissores. É imprescindível que medidas sejam tomadas, a fim de favorecer, econômica e ambientalmente, o suporte para que as áreas ocupadas pelas pastagens sejam monitoradas, garantindo, assim, a produção de alimentos em conformidade com as questões ambientais (FAO, 2009).

A biomassa queimada das áreas de Savana contribui com 42 % (Levine et al. 1999; Andreae, 1991 *apud* FAO, 2009) das emissões de dióxido de carbono global (três vezes mais que o C

liberado pela queima de florestas). Apesar da elevada contribuição nas emissões, a queima da savana não é considerada resultado das emissões líquidas de CO₂, pois,

burning can be recaptured through photosynthesis and vegetation re-growth. In savannah systems that contain woody species, it has been shown that the carbon lost by fire can be replaced during the following season (Ansley et al. 2002). However, in practice, grasslands that are burned too often may not recuperate (DeGroot, 1990), resulting in permanent loss of protective vegetation cover and productivity. (FAO, 2009, p. 12).

Nesse sentido, medidas de controle de queimadas devem ser adotadas, no intuito de reduzir/limitar a sua intensidade e frequência, objetivando minimizar as consequências das emissões de carbono e outras emissões de gases, além de reduzir a degradação do solo e da vegetação.

O sequestro de C pelos solos é o mecanismo que detém o maior potencial de mitigação no setor agrícola (IPCC, 2007). Globalmente, os pastos estocam 8% do C do mundo (IPCC, 2001 apud FAO, 2009).

Tabela 4: Estoques de C na vegetação e 1 metro de profundidade do solo

Bioma	Área (km²)	GT C (Vegetação)	GT C (Solos)	Total GT C
Tropical Savanna	22,5	66	264	330
Temperate Grasslands	12,5	9	295	304
Desert-semi-desert	45,5	8	191	199

Fonte: Watson et al. (2000) apud FAO (2009, p. 13)

FAO (2009) apontou que melhorias no manejo das pastagens incluem:

fertilization to increase forage production, improved grazing management, conversion from cultivation and native vegetation, and a few studies of sowing of legumes and grasses, earthworm introduction and irrigation. Analysis showed that climatic variables, native vegetation, depth, time and original soil C all affect rates of soil C change but, on average, management improvements and conversion into pasture lead to increased soil C content and to net soil C storage. (FAO, 2009, p. 15).

Ênfase deve ser dada à média geral da capacidade de sequestrar carbono pela pastagem, cerca de 45,7 Tg C por ano (Conant e Paustian, 2002 apud FAO, 2009).

Medidas para sequestrar C incluem:

IPCC (2007) reported several measures for improve grasslands in light of mitigation and carbon sequestration including: managing grazing intensity and timing, increasing productivity, management of nutrients, fire management and species introduction. In addition to these common livestock management practices, Tennigkeit and Wilkes (2008) identified the adoption of alternative energy technologies that replace use of shrubs and dung as fuel as a management practice highly relevant to dryland ecosystems. (FAO, 2009, p. 16)

A pastagem de *Brachiaria* acumula 0,92 tonelada por ha/ano de carbono. O estabelecimento de pastagens cultivadas, a adoção de sistemas de integração lavoura – pecuária e de áreas reflorestadas podem também resultar no aumento da taxa de sequestro de carbono pelo solo. Entretanto a correção parcial ou não-correção da fertilidade do solo, a falta de adubação de manutenção e o excesso de lotação com sistemas inadequados de pastejo têm sido um procedimento padrão no Cerrado, levando a um estágio de degradação das pastagens cultivadas, o que pode comprometer a capacidade das pastagens de sequestrar carbono (EMBRAPA, 2005).

Recentes levantamentos indicaram que pastagens de gramíneas de origem africana, principalmente do gênero *Brachiaria*, ocupam hoje mais de 80 milhões de hectares no Brasil (EMBRAPA, 2005 citou 60 M ha), dos quais, aproximadamente, 40 M ha no cerrado, 20 M ha na Amazônia e pelo menos 20 M ha na região da Mata Atlântica, que vai de São Paulo até Maranhão (BODDEY et al. 2001 apud MACEDO, 1995; ZIMMER; EUCLIDES, 1997).

Essa área corresponde a quase 10% do território nacional, sendo 50% maior do que a área dedicada à agricultura. É evidente que qualquer mudança no estoque do carbono provocada

por introdução dessas espécies de gramíneas já tenha proporcionado um enorme impacto no balanço de gases de efeito estufa (BODDEY et al. 2001).

Foi demonstrado, nesse item, que o solo sob pastagens acumula, em alguns casos, mais C do que o existente sobre áreas de vegetação nativa. Para que tal fato seja possível, Boddey et al (2001) disseram ser imprescindível que:

- a taxa de deposição da matéria orgânica nestes solos seja maior do que na vegetação nativa; e/ou
- a taxa de decomposição da matéria orgânica das pastagens seja menor.

Boddey et al. (2001) explicaram que:

O carbono depositado no solo, sob qualquer tipo de vegetação, origina-se de duas fontes:

- Serrapilheira, ou liteira, originada dos tecidos senescentes da vegetação, entre os quais se incluem folhas e galhos senescentes, ou da morte de toda a planta, inclusive árvores. Este material, em grande parte, decompõe-se na superfície do solo, e, uma parte se integra a ele, sobretudo nas camadas mais superficiais, mediante a ação da macro e mesofauna;
- Raízes senescentes.

Entende-se por manejo do solo como todas as operações efetuadas em uma área, como sua abertura, a correção da acidez superficial e da alta saturação de alumínio subsuperficial, a adubação corretiva e de manutenção, os sistemas de preparo do solo e a rotação de culturas, incluindo-se as práticas culturais, a pastagem e a floresta (RESCK, 1996 apud BODDEY, 2001). Além das descritas anteriormente, Dias Filho (2004) ainda inseriu como práticas de manejo, o sistema de pastejo e o controle de plantas invasoras. O referido autor orientou,

também, que o objetivo principal das práticas de manejo, desde o seu estabelecimento, é otimizar a produção de forma sustentável.

Uma pastagem poderia ser considerada degradada ou em degradação dentro de dois extremos de composição botânica (Figura 23) (DIAS FILHO, 2004, p. 251):

- Em um extremo, a degradação pode ser, inicialmente, caracterizada apenas pela mudança na composição botânica da pastagem, em decorrência do aumento na proporção de plantas daninhas (invasoras) e da diminuição da proporção do capim. Nessa situação, a degradação da pastagem poderia ser denominada “degradação agrícola”, isto é, a capacidade da pastagem para produzir economicamente (do ponto de vista agropecuário) estaria temporariamente diminuída ou inviabilizada, devido à pressão competitiva exercida pelas plantas daninhas sobre o capim, causando, portanto, queda acentuada na capacidade de suporte da pastagem;
- Em outro extremo, a degradação da pastagem pode ser caracterizada pela drástica diminuição da biomassa vegetal da área, provocada pela degradação do solo, que, por diversas razões de natureza química (mineração dos nutrientes e acidificação), física (erosão e compactação) ou biológica (perda de matéria orgânica), estaria perdendo a capacidade de sustentar produção vegetal significativa. Nessa condição mais drástica de degradação, a gramínea forrageira seria gradualmente substituída por espécies pouco exigentes em fertilidade do solo e de menor valor nutritivo e capacidade de produção de biomassa vegetal adaptadas a essas condições, ou simplesmente, seria substituída por áreas de solo descoberto, altamente vulneráveis a erosão. Nesse outro extremo, a degradação poderia ser denominada “degradação biológica”, pois a capacidade de área em sustentar a produção vegetal estaria comprometida. Nessa situação extrema de produtividade da pastagem, houve

“reversão” no processo de sucessão vegetal para o estágio de solo exposto, via de regra causada por práticas inadequadas de manejo, como altas pressões de pastejo, uso excessivo de fogo, etc., as quais provocam danos severos à parte aérea e subterrânea da vegetação, erosão do solo e queda acentuada da fertilidade e da matéria orgânica.

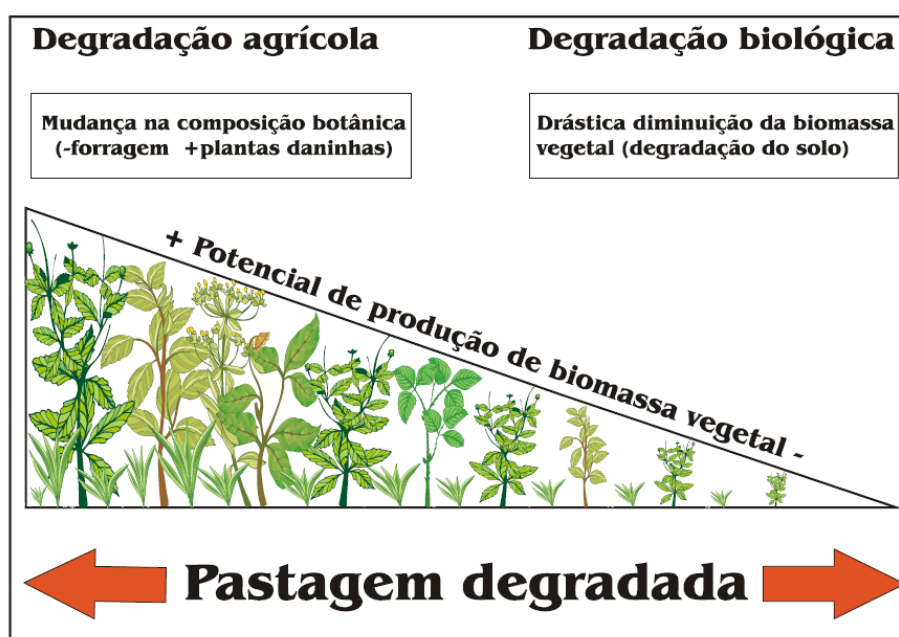


Figura 23: Representação simplificada do conceito de pastagem degradada

Fonte: Dias Filho (2004, p. 252)

Boddey et al. (2001) fizeram referência ao estudo realizado por Rezende et al. (1999) pelo qual os estoques de carbono no solo sob pastagens *Brachiaria humidicola* em Itabela, região sul da Bahia, foram avaliados em comparação ao observado sob uma floresta secundária, até uma profundidade de 30cm, ao qual os dados obtidos apontaram um estoque de carbono no solo sob as pastagens ligeiramente maior do que na floresta adjacente (6% a 10%), além de indicarem aumento da concentração de carbono ao longo dos anos. Em contrapartida, nas áreas de pastagem degradada, houve uma redução no estoque de carbono em comparação à floresta.

Já no caso de pastagens degradadas, ocorre o contrário, ou seja, os estoques de C no solo tendem a diminuir. Este fato foi comprovado por Trumbore et al. (1995) apud Boddey et al. (2001), que também encontraram que estoques de carbono em solos sob uma pastagem degradada de *Brachiaria humidicola*, no Pará, foram menores do que os observados na floresta original. No mesmo estudo, uma pastagem recuperada, fertilizada com fosfato e plantada com *Brachiaria brizantha*, apresentou um estoque de carbono no solo maior do que na floresta original.

Boddey et al. (2001) concluíram, ainda, que áreas de pastagens de *Brachiaria sp.*, bem manejadas, podem ser importantes sítios de acúmulo de C no solo. Ao mesmo tempo, essas pastagens podem suportar taxas de lotação de bovinos de 1 a 3 unidade animal (UA) ha⁻¹, com uma produtividade entre 300 e 1000 kg de ganho de peso ha⁻¹ ano⁻¹, de forma sustentável.

Os referidos autores consideraram que a recuperação de pastagens degradadas nas regiões da floresta Amazônica ou da Mata Atlântica é uma opção que não somente permitiria a retomada da produção eficiente de bovinos de corte, mas manteria a integridade física e química do solo, com simultâneo aumento dos estoques de C no solo.

Com relação ao estoque de C em áreas de Cerrado (exceto o Cerradão), onde se encontram as maiores áreas de pastagens de *Brachiaria* do país, Boddey et al. (2001) explicaram que,

Como o estoque de C na parte aérea da vegetação dos campos sujos e campos limpos dos cerrados é muito menor do que nas florestas, ou seja, geralmente não ultrapassam 15 t C ha⁻¹, as pastagens produtivas podem aumentar os estoques do carbono no sistema solo/planta além dos níveis da vegetação nativa. (BODDEY et al. 2001, p. 225).

Levando-se em consideração o fato de que as pastagens produtivas podem aumentar os estoques de carbono no sistema além dos níveis da vegetação nativa, e sabendo-se que existem mais de 40 M ha de pastagens na região do Cerrado, das quais 50% podem ser

consideradas degradadas, há que se levar em conta que a recuperação destas terá um grande impacto do ponto de vista da produção animal. Concomitantemente, o aumento das áreas de pastagens produtivas poderá contribuir, significativamente, para a melhoria dos parâmetros hídricos e para a redução da erosão nestas regiões, além da diminuição do efeito estufa pelo sequestro de C (BODDEY et al. 2001).

A constatação de que a compactação do solo sob pastagens frequentemente conduz a conclusões de que o estoque de carbono do solo esteja aumentando, foi relatada por Fearnside (2009). O autor expôs que, quando expostos ao Sol e ao pisoteio do gado, os macroporos no solo diminuem, o que aumenta sua densidade. Por conseguinte, o estoque de carbono, em uma determinada faixa de profundidade, aumentará, então, até mesmo se a concentração de carbono permanecer constante.

As pastagens cultivadas também têm sido responsáveis pela ampla expansão agrícola, principalmente com a introdução de pastagens africanas do gênero *Brachiaria* (SILVA et al. (2004). Chapuis et al. (2002) apud Macedo (1995) relataram que a *Brachiaria*, provavelmente, ocupa cerca de 85% da área total plantada na região do Cerrado.

Exotic grass species pastures began to be planted around 25 years ago and *Brachiaria* spp. probably currently account for 85% of the total planted area in the Cerrado region (Macedo, 1995). The actual area of cultivated pastures was estimated at 49.5 million hectares, 23.8% of the region (Sano et al., 1999). (CHAPUIS, 2002, p. 148).

Sobre as pastagens cultivadas, Silva et al. (2004) avaliaram que

Most of the cultivated pastures were experiencing some degree of degradation, which means that they had lost, to some extent, their capacity to produce biomass due to the deterioration of soil chemical conditions (increasing acidity, low fertility and low nitrogen inputs), as well as soil physical and biological conditions. (SILVA et al. 2004, p. 357).

Sobre esse aspecto, Silva et al. (2004) analisaram os seguintes tipos de pastagens (Tabela 5): Pastagem Nativa (1), *Panicum maximum* (2), *Brachiaria decumbens* (3), *B. decumbens* + *Stylosanthes guianensis* (4), *Andropogon gayanus* + *Neonotoniawightii* + *Centrosema brasilianum* (5), dois campos de produção de sementes, *B. brizantha* (6) e *Paspalum atratum* (7).

Tabela 5: Acúmulo de C (Mg ha⁻¹) em solos sobre diferentes pastagens

Profundidade (cm)	Nativa (1)	<i>P. maximum</i> (2)	<i>B. decumbens</i> (3)	<i>B. brizantha</i> + legumes (4)	<i>A. gayanus</i> + legumes (5)	<i>B. brizantha</i> (6)	<i>P. atratum</i> (7)
0-20	31,1(31)a	37,2 (33)	30,8 (32)	32,4 (30)	36,1 (34)	37,3 (33)	39,9 (35)
20-40	23,6 (23)	28,2 (25)	23,1 (24)	25,6 (23)	23,8 (22)	27,9 (25)	28,0 (25)
40-100	45,0 (46)	47,6 (42)	43,2 (44)	52,3 (47)	45,6 (44)	47,8 (42)	45,1 (40)
Totalb	99,7 b	113,0 a	97,1 b	110,3 a	105,5 ab	113,0 a	113,0 a

a Valores entre parêntesis indicam proporção de C total acumulado em cada perfil de solo.

b Médias com a mesma letra não são significantes pela diferença do teste Turkey ($P < 0.05$), LSD = 10.34 t ha⁻¹.

Fonte: Silva et al. (2004, p. 359)

4.2 Vegetação Nativa – Cerrado

O Cerrado ocupa uma área de 205,9 milhões de hectares na porção central do Brasil (Figura 24), embora também se estenda até o litoral nordeste do estado do Piauí e norte do estado do Paraná. Caracteriza-se como uma formação do tipo savana tropical, com destacada sazonalidade (PROBIO, 2007). O Cerrado é um bioma importante, não apenas pela área que ocupa, mas também pela riqueza da sua biodiversidade (KRUG et al., 2006).

O bioma Cerrado é um complexo vegetacional, composto por três formações: florestais, com formação de dossel contínuo ou descontínuo e predomínio de espécies arbóreas; savânicas, com presença de áreas com árvores e arbustos espalhados sobre um estrato graminoso, sem a formação de dossel contínuo; e campestre, que engloba áreas com predomínio de espécies herbáceas e algumas arbustivas, mas sem a presença de árvores na paisagem. (PROBIO, 2007, p. 18).

Bustamante et al. (2006) mencionaram que as Savanas Tropicais abrangem cerca de 15% da área total terrestre, armazenando cerca de 15% do total de C (vegetação e profundidade de 1 m de solo), sendo que o Cerrado (a principal região de Savana ao sul do Equador) representa cerca de 9% da área total das savanas tropicais do mundo.

Definida como Savanna Sazonal Seca, o Cerrado consiste em um gradiente de fisionomias, que variam de pastos (localmente chamados de campo limpo) a formações florestais (cerradão). Entre estes, existem fisionomias intermediárias com aumento da densidade de espécies arbóreas (campo sujo, campo cerrado, e cerrado *strictu sensu*). O tipo de fisionomia é usualmente dependente das condições climáticas locais (chuva), propriedades físicas e químicas do solo, e intervenções humanas (remoção de árvores, fogo, pastagem). A região é considerada uma das 25 regiões de maior biodiversidade do mundo, áreas com alta biodiversidade, mas acelerada perda de *hábitats*, principalmente devido a expansão das atividades agrícolas. (BUSTAMANTE, 2006, p. 286).

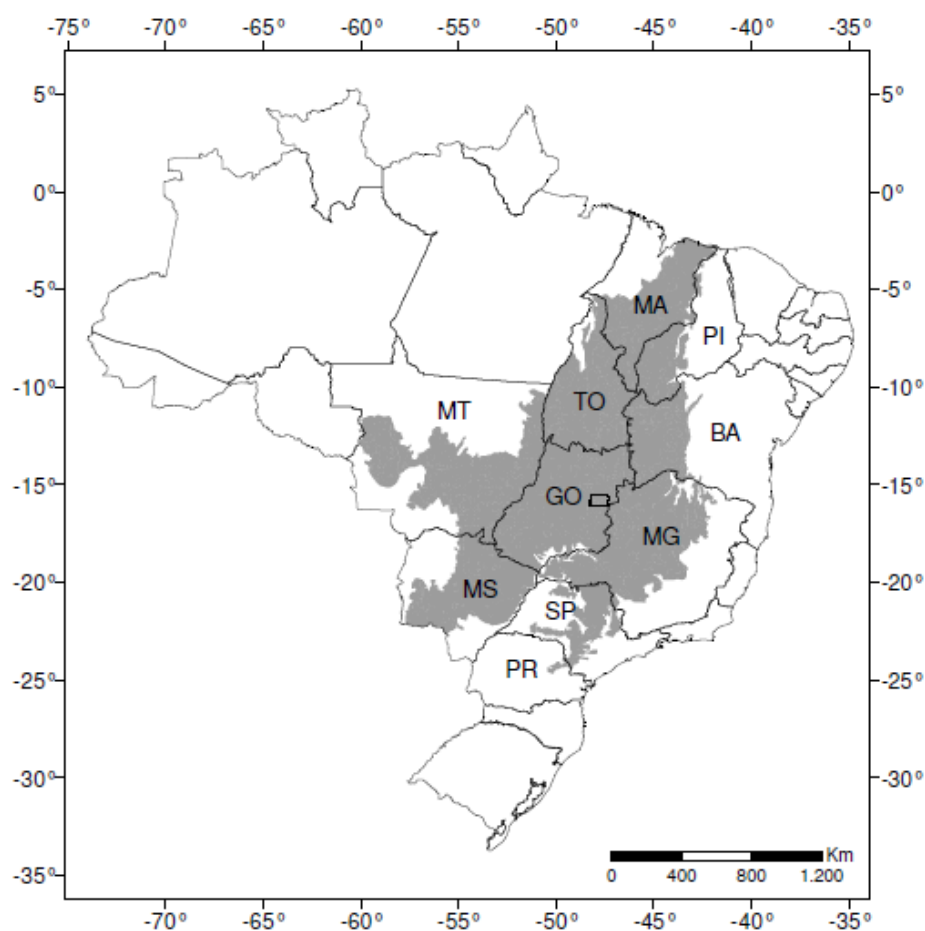


Figura 24: Localização do Cerrado no Brasil

Fonte: SANO et al. (2009)

O Cerrado ocupa a região do Planalto Central Brasileiro, possui clima tipicamente tropical seco e úmido, onde o período seco ocorre de maio a setembro ou outubro e coincide com os meses mais frios do ano. Há divergências sobre a precipitação média anual. Alguns autores consideram que a precipitação anual varia entre 1.250 e 2.000 mm (VOLKOFF; BERNOUX, 2006), enquanto outros autores (BUSTAMANTE et al. 2006) avaliaram que a precipitação anual varia de 600 a 2.200 mm, em que mais de 65 % da área recebe entre 1.200 e 1.600 mm anualmente. A distribuição de chuvas é, marcadamente, sazonal com uma estação seca e uma chuvosa. A média anual de temperatura varia entre 20 e 26°C. Durante a estação das chuvas, há uma grande produção de biomassa, especialmente gramínea. Na estação seca, a maior parte da vegetação gramínea está inativa e a maior parte da sua biomassa aérea morre e seca (KLINK e SOLBRIG, 1996 apud KRUG, 2006), favorecendo a ocorrência de incêndios. As queimadas naturais ou induzidas pelo homem têm sido comuns no Cerrado há milhões de anos.

Os solos da região são essencialmente solos ferralíticos. O principal tipo de solo é o Ferralsolo (Latosolo), muito similar ao Ferralsolo da região Amazônica. Eles são fortemente lixiviados, e a estrutura microagregada, firme/estável. Muitos solos possuem altos teores de óxido de ferro e apresentam baixa capacidade de troca catiônica. Os Ferralsolos são associados com Acrisolos (Podzólico Vermelho Amarelo), e aqueles da região Central Brasileira possuem desenvolvimento antigo, provavelmente iniciados no começo da Era Cenozóica (VOLKOFF; BERNOUX, 2006).

Cerri et al. (2006) referiram-se a categoria dos Latossolos no Brasil, que ocupam cerca de 38,8% dos solos brasileiros, correspondem aos Oxissolos bem drenados da Taxionomia de Solos dos Estados Unidos e aos Ferrassolos da classificação de solos da FAO-UNESCO.

Bustamante et al. (2006) informaram que os solos do Cerrado são dominados por baixa quantidade de argila. Oxisolos e Entisolos representam, aproximadamente, 46 e 15 % da área, respectivamente. Em geral, os solos são ácidos, com baixas concentrações de nutrientes e altos teores de alumínio. Sobre estas condições, a matéria orgânica do solo é particularmente importante para os processos físicos, químicos e biológicos que relatam o ciclo de nutrientes, a agregação do solo e a água disponível para plantas.

Ribeiro e Walter (1998) apud Krug et al. (2006), apresentam as definições dos diferentes tipos de vegetação encontrados no Cerrado (Figura 25):

- **Cerradão** – é uma formação florestal com aspectos xeromórficos. Caracteriza-se pela presença de espécies que ocorrem no cerrado *sensu stricto* e também nas florestas tropicais. A copa das árvores é predominantemente contínua, e a cobertura arbórea varia de 50 a 90%. A altura média do estrato arbóreo varia de 8 a 15 metros, possibilitando condições de iluminação que promovem a formação de estratos arbóreo e herbáceo diferenciados.
- **Cerrado *sensu stricto***: caracteriza-se pela presença de árvores baixas, tortuosas e com ramificações irregulares e retorcidas. Os arbustos e subarbustos são esparsos. Apresenta um dossel descontínuo com uma vegetação predominantemente arbóreo-arbustiva, com uma cobertura arbórea de 20 a 50% e altura média de 3 a 6 metros.
- **Campo Cerrado**: é um subtipo de vegetação arbóreo-arbustiva, com cobertura arbórea na faixa de 5 a 20% e altura média de 2 a 3 metros.
- **Campo Sujo**: é uma estrutura fisionômica exclusivamente herbáceo-arbustiva, com arbustos esparsos e subarbustos, que são, às vezes, formados pelos tipos menos

desenvolvidos no Cerrado *sensu stricto*. A vegetação lenhosa apresenta altura média de 2 metros e cobre menos que 5%.

- **Campo Limpo:** predominantemente herbácea, com arbustos raros e ausência completa de árvores.

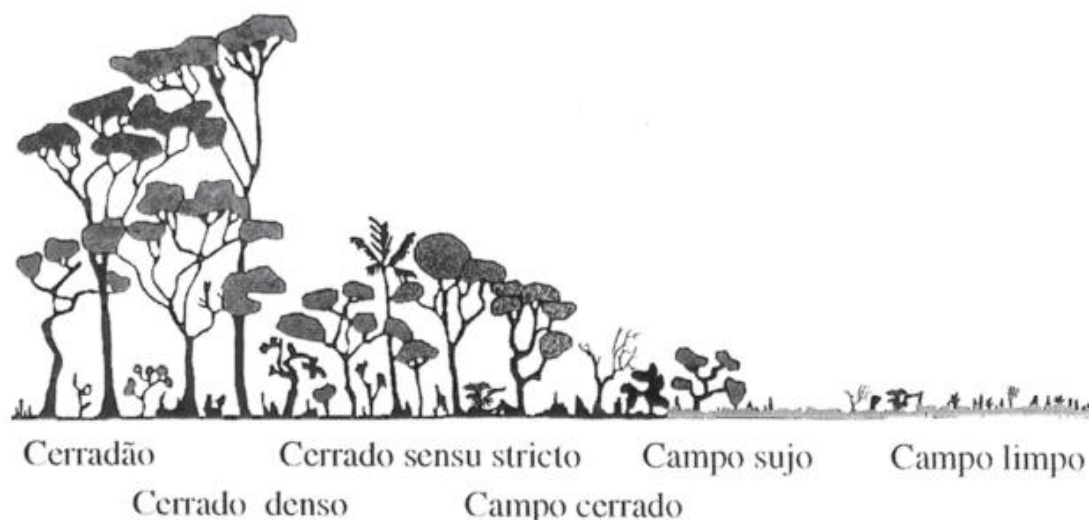


Figura 25: Representação pictórica das fisionomias de vegetação mais comuns no cerrado

Fonte: Ribeiro e Walter (1998) apud Krug et al. (2006)

Krug et al (2006) apud Dias (1992) ressaltaram que a distribuição percentual aproximada dessas fisionomias de vegetação do Cerrado é a seguinte: Campos (12%); Cerrado (53%); e Cerradão (8%), cuja área restante é coberta por formas fisionômicas menos representativas, tais como, Campo Úmido, Campo Rupestre, Veredas, Matas Ciliares e Mata de Galeria, entre outras.

Bustamante et al. (2006) registraram estimativas que indicam que a taxa média de conversão do Cerrado é, de aproximadamente, 1,1 % ao ano (2,2 milhões de hectares por ano). Dados de dois períodos mostraram que, de 1985 a 1993, a taxa de conversão foi de 1,5 % por ano (3 Mha) e, de 1993 a 2002, a taxa de conversão foi de 0,67 % ao ano (1,63 Mha), em ambos os

casos estimam a área total do Cerrado (2 milhões de km²). Sobre este assunto, os autores ainda consideram que,

Since the 1970s the region has been the focus of intense agricultural expansion. Between 1975 and 1996 the area cleared for farming almost doubled, from 34.7 to 64.5 Mha. The main element of these changes was the expansion of planted pastures (mainly *Brachiaria* species), which increased from 16.0 to 49.2 Mha between 1975 and 1996. Presently the cerrado region is one of the most important beef-producing regions in Brazil, with approximately 44 percent of the national herd. However, at least half of the pastures in the cerrado are in advanced stages of degradation due to poor management, specially overgrazing and lack of fertilization (Oliveira et al., 2004). (BUSTAMANTE et al. 2006, p. 287).

Sobre a agricultura, tem-se que predominam no Cerrado os extensos plantios de soja, milho, feijão, algodão, café e cana-de-açúcar. Regiões como Luís Eduardo Magalhães na Bahia, Jataí e Rio Verde em Goiás e Lucas do Rio Verde e Sinop em Mato Grosso, conhecidas pela sua elevada produtividade e intensa mecanização, estão todas situadas no bioma Cerrado (PROBIO, 2007).

Bayer et al. (2004) expuseram também que uma área superior a 12 milhões de hectares do Cerrado é cultivada com culturas anuais, sendo utilizados diversos sistemas de preparo do solo, com predomínio de uso de grade pesada e de arado de discos, além de arado de aivecas e escarificador.

A formação de pastagens plantadas e de lavoura comercial são as principais atividades econômicas na região, ocupando cerca de 25% da área do Cerrado (ADUAN; VILELA; KLINK, 2003). As maiores culturas são soja (exportação), milho, arroz, e feijão (para o mercado interno). As fazendas da região são caracterizadas por grandes unidades, monoculturas com entradas externas e mecanização pesada (CADAVID-GARCIA, 1995; KLINK et al., 1995 apud BUSTAMANTE et al., 2006).

Bustamante et al., (2006) puderam que, embora as culturas anuais não sejam o principal uso da terra no Cerrado, foram decisivas para a limpeza da área, especialmente na parte norte da região, para a produção de soja. A expansão da soja no Cerrado foi fortemente afetada pelo crescimento da demanda internacional desta cultura. Três fatores foram decisivos:

- Condições naturais favoráveis das savanas (áreas planas, boa estrutura física dos solos);
- Desenvolvimento tecnológico, que permitiu a viabilização das culturas; e
- Investimentos em transportes e infraestrutura.

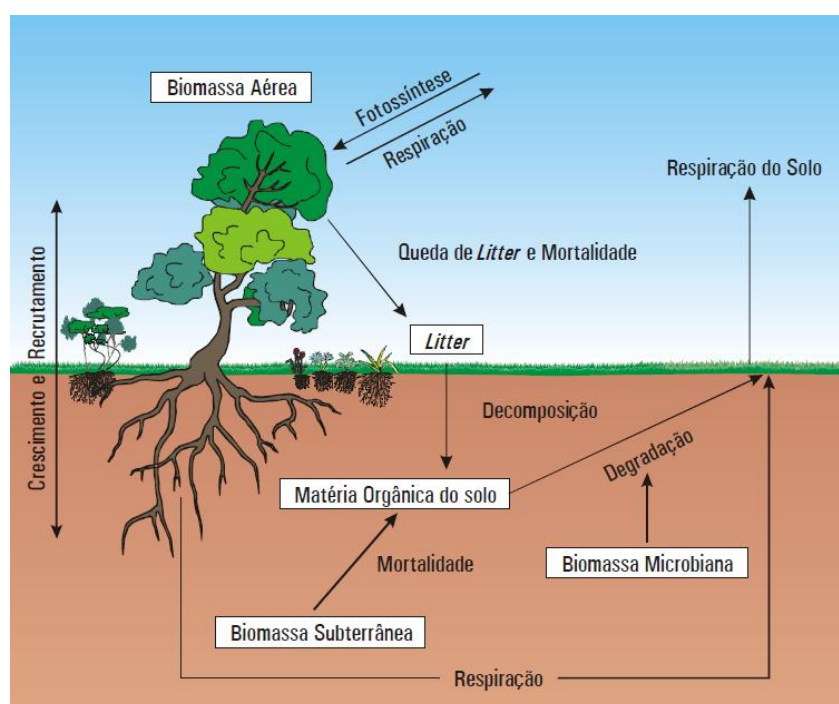


Figura 26: Representação dos principais estoques e fluxos do ciclo de carbono no Cerrado brasileiro

Fonte: Aduan; Vilela; Klink (2003, p. 11)

O Cerrado Brasileiro apresenta impactos antropogênicos relativamente recentes, quando comparados a outras ecorregiões. Vale lembrar que a primeira colonização ocorreu há cerca

de 500 anos, todavia, a intervenção humana mais intensiva para uso agrícola iniciou-se apenas no século XVIII (CERRI et al. 2006a).

Para Silva et al. (2004), a região tem sido foco de intensa expansão agrícola desde 1960, Chapuis et al. (2002) relataram que esta expansão ocorreu a partir de 1970. Embora divergentes no período, os autores concordam que, devido à ação antrópica, as extensas áreas de vegetação nativa vêm sendo substituídas por agricultura, pastagens cultivadas e reflorestamentos.

A serrapilheira (também conhecida como folheto, liteira e *litter*) é representada pela camada de material morto, proveniente da biomassa aérea da vegetação, que permanece no solo até ser fragmentado e decomposto pelos processos físico-químicos e bióticos que ocorrem nessa importante fração do ecossistema. A serrapilheira é um estoque importante de carbono, acumulando uma quantidade de duas a três vezes mais alta que a atmosfera (COÛTEUX; BERG, 1995 apud ADUAN; VILELA; KLINK, 2003, p. 16).

Tabela 6: Estoque de carbono da serrapilheira do Cerrado brasileiro em tC ha⁻¹, para as diferentes fitofisionomias, estimado por meio de amostragem por subparcelas.

	Anos sem fogo						
Campo Limpo	1	1	1	3	1	4	3
Total	0,1	0,04	0,09	0,31	0,46	0,17	0,2
Campo Sujo	1	2	2	1	3	2	20
Total	0,37	0,11	0,72	0,38	0,57	0,61	0,79
Cerrado <i>s. sensu</i>	1	2	20	2	>20		
Total	0,97	0,68	2,73	2,37	3,48		
Cerrado Denso	1	6	20	21			
Total	0,97	0,9	2,13	2,42			

Fonte: Ottmar et al. (2001) apud Aduan; Vilela; Klink, (2003, p. 16)

O carbono proveniente da vegetação entra no solo pela queda do folheto, do *turnover* das raízes e micorrizas e da exudação de carbono pelas raízes finas. Em condições de equilíbrio, o ganho de carbono é compensado pelas perdas sob a forma de respiração heterotrófica, dos decompositores do folheto e da matéria orgânica do solo (MOS) (ADUAN; VILELA; KLINK, 2003, p. 17).

A vegetação da região central Brasileira é caracterizada como vegetação de savana seca (Campo Cerrado). Áreas de Campo Limpo e floresta semidecídua também ocorrem no Cerrado (VOLKOFF; BERNOUX, 2006).

As árvores estão entre os seres vivos com a maior capacidade de armazenar carbono em sua biomassa em razão de seu porte avantajado, da sua longevidade e da possibilidade de crescerem em maciços. Por isso, as florestas são consideradas como sumidouros de carbono e o reflorestamento/aflorestamento aceito como meio efetivo de capturar o gás carbônico da atmosfera poluída (SANQUETTA, 2007).

A fixação de carbono em uma floresta se dá em todos os seus compartimentos: folhagem, galhos, fuste, raízes, serrapilheira ou material caído (incluindo folheto e madeira morta) e também na camada orgânica do solo. Todos esses compartimentos são passíveis de cômputo em quantificações para formulação de projetos florestais de MDL (SANQUETTA, 2007).

Bernoux e Volkoff (2006) calcularam valores médios de estoque de C para o Brasil, em diferentes profundidades de solo, sob condições, teoricamente, não perturbadas de vegetação nativa (Tabela 7). De acordo com a Figura 27, o carbono na área que compreende a Bacia do Rio Araguari corresponde a cerca de 4 a 4,5 KgC/m² (CERRI et al. 2006, p. 24).

Tabela 7: Estoques de C em diferentes profundidades no Brasil, para condições de vegetação não perturbadas (Brasil)

Profundidade (cm)	Estoque C (Tg)
0-30	39,033
0-50	51,705
0-100	71,531
0-200	105,086

Fonte: Bernoux; Volkoff (2006, p. 69)

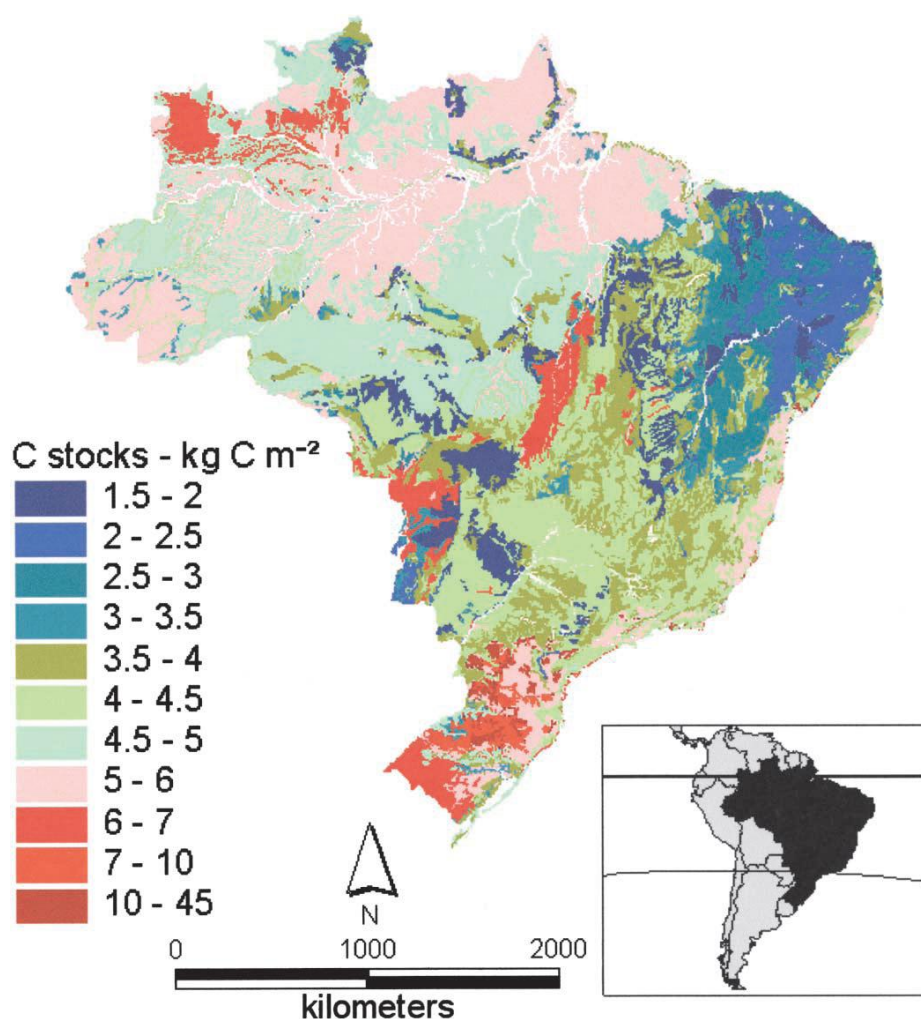


Figura 27: Mapa do estoque de carbono (0-30 cm) nos solos do Brasil sob vegetação nativa

Fonte: Bernoux et al. (2002, p. 894)

4.3 Modelo Century

O modelo Century¹³ foi desenvolvido originalmente para simular a dinâmica da MO do solo em pastagens naturais nas Planícies Norte Americanas, sendo, posteriormente, adaptado para solos de florestas e sob exploração agrícola, passando a incluir o efeito do preparo do solo sob algumas taxas de decomposição (LEITE; MENDONÇA, 2003).

¹³ Informações detalhadas são encontradas em Parton; Rasmussen (1994) e Metherell, et al. (1993).

O modelo pode ser aplicado em vários sistemas agrícolas que difiram em práticas agronômicas, tais como rotação de culturas, preparo do solo, fertilização e irrigação. O sucesso do modelo Century na simulação da dinâmica da MO, em solos de região temperada, tem estimulado muitos pesquisadores a aplicá-lo em ecossistemas tropicais. Por meio do modelo, pode-se relacionar MO aos níveis de fertilidade e tipos de solo e ao manejo atual e futuro, otimizar o entendimento das transformações dos nutrientes em solos tropicais e auxiliar no desenvolvimento de sistemas de manejo sustentáveis.

Nos Estados Unidos, o modelo Century integrado a uma base de dados meteorológicos e de solo fornecidos pelo SIG, foi utilizado para estimar potencial de sequestro de C para 44% da área terrestre do país e foi constatado que práticas de preparo conservacionistas e o uso de culturas de cobertura poderiam ser usados para aumentar o estoque de C do solo por cerca de 40 anos (DONIGAN et al., 1994; SHAFFER et al., 2001 apud LEITE; MENDONÇA, 2007, p. 4).

Leite e Mendonça (2007) apontaram que, para simulações específicas de um local, há a necessidade de realizar a calibração, ou seja, organizar uma base de dados referentes, principalmente, ao clima, ao solo, às culturas utilizadas e ao histórico da área, com o intuito de alimentar o modelo. Os autores relataram, ainda, que além das variáveis de entrada, quantificadas ou obtidas por meio da literatura, o usuário pode modificar os parâmetros das equações que controlam os fluxos de C, tornando-os mais adequados às condições sob estudo e realizar as simulações.

O modelo contém vários submodelos, tais como, o submodelo de água, o submodelo de produção vegetal e o submodelo de dinâmica da MOS. Leite e Mendonça (2007) explicaram que os submodelos de água e de produção vegetal calculam a maioria das variáveis ambientais diretas (temperatura e umidade do solo, absorção de nutrientes pelas plantas e quantidade e qualidade dos resíduos vegetais), que são requeridas para o submodelo de

dinâmica da MOS. O modelo funciona em escala de metro quadrado e simula a camada superficial 0- 20 cm, usando etapa de tempo mensal.

As principais variáveis de entrada do modelo são: temperatura do ar, precipitação mensal, conteúdos de lignina e de N, P e S do material vegetal, textura do solo, aporte de N do solo e da atmosfera e teor inicial de C, N, P e S, nos diferentes compartimentos do solo. Estas variáveis de entrada estão disponíveis para maioria dos agroecossistemas e podem ser estimadas por meio da literatura. A maioria dos parâmetros que controlam o fluxo de C estão no arquivo FIX.100, que é parte do sistema de arquivos. O usuário pode escolher rodar o modelo, considerando apenas a dinâmica de C e N (NELEM =1) ou C, N e P (NELEM=2) ou ainda, C, N, P e S (NELEM=3).

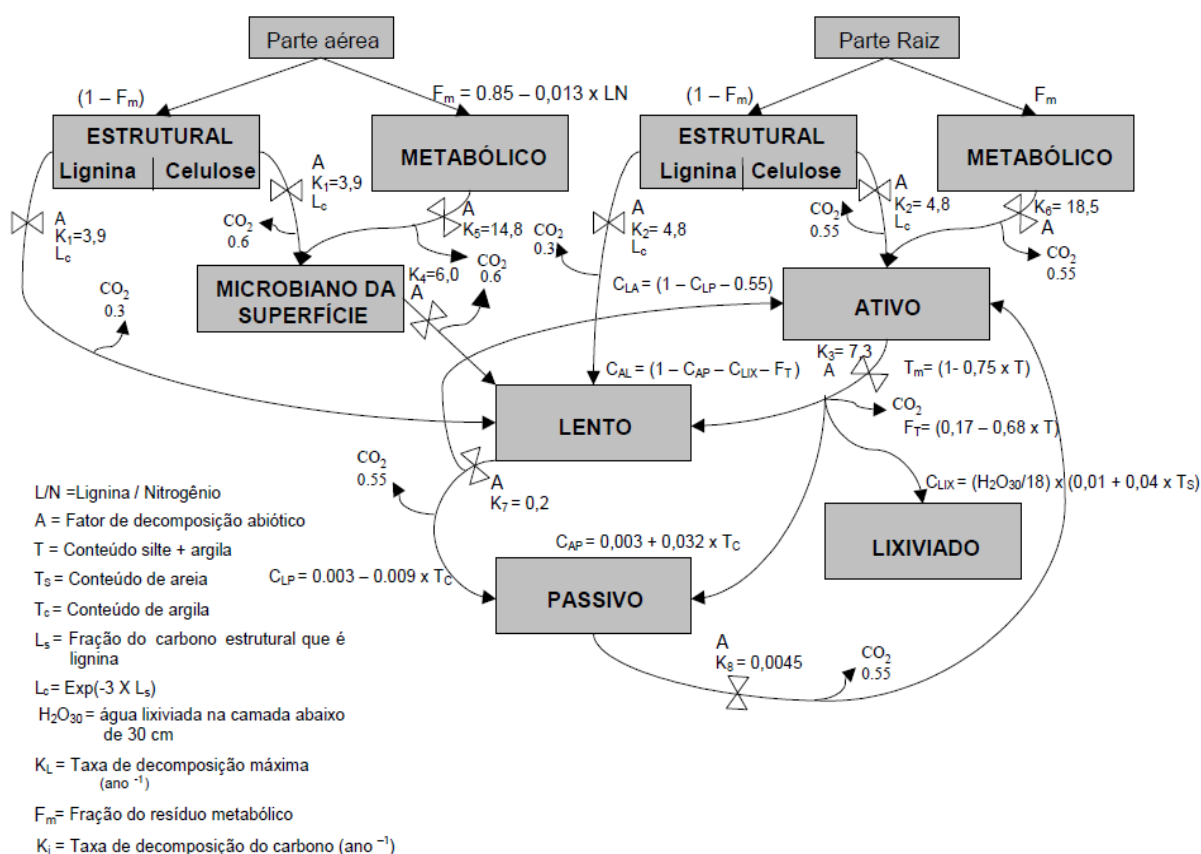


Figura 28: Compartimentos e fluxos de C no modelo de simulação CENTURY v.4.0.

Fonte: Leite e Mendonça (2007, p. 17)

O modelo Century inclui três compartimentos de MOS (ativo, lento e passivo), com diferentes taxas de decomposição, compartimentos de resíduos vegetais acima e abaixo do solo e um compartimento microbiano superficial (Figura 28).

Wendling (2007) fez uma observação importante sobre modelagem de nutrientes. O autor expôs que modelos podem oferecer importantes contribuições para o estudo da dinâmica da matéria orgânica do solo. Para tanto, devem ser testados e validados para as mais diferentes condições, para que possam ser utilizados com confiança. Depois de testados, e comprovada sua validade, os modelos podem ser empregados, também, para simular eventos futuros de uso e manejo do solo, fornecendo subsídios na escolha dos caminhos mais apropriados para a melhoria da qualidade dos solos nos mais diferentes agroecossistemas.

**5 ESTOQUES DE CARBONO NOS SOLOS DA BACIA DO RIO
ARAGUARI-MG**

5 ESTOQUES DE CARBONO NOS SOLOS DA BACIA DO RIO ARAGUARI-MG

O presente capítulo aborda a quantificação dos estoques de carbono nos solos da bacia do Rio Araguari-MG, no qual é apresentada a descrição detalhada da metodologia empregada para alcançar os objetivos propostos nesta etapa da pesquisa, e, por conseguinte, a discussão dos resultados alcançados.

O objetivo geral deste capítulo é avaliar o estoque de carbono do solo nos diferentes tipos de usos da terra e cobertura vegetal na Bacia do Rio Araguari-MG. Os objetivos específicos são listados a seguir:

- Avaliar o estoque de carbono para diferentes usos da terra e cobertura vegetal, presentes na bacia do Rio Araguari-MG, nas profundidades 0-20 cm e 20-40 cm, a partir da determinação do carbono orgânico do solo pelo método de Yeomans e Bremner (1988);
- Calcular o estoque de carbono para os usos de maior predominância na bacia do Rio Araguari-MG, dentre eles, o cerrado (CER), mais especificamente o Cerradão e uma amostra de Campo Cerrado, reflorestamento de *Pinus* e *Eucaliptus* (REF), culturas anuais irrigadas (CAI) como o feijão, o milho e a soja (culturas presentes na época da análise), plantio direto (PDI) em áreas cultivadas com soja e milho, café (CAF), cana-de-açúcar (CAN), pastagem melhorada (PME) e pastagem degradada (PDE);
- Correlacionar os dados referentes ao estoque de carbono com os atributos físicos e químicos do solo;
- Analisar a relação existente entre as mudanças no uso da terra e a cobertura vegetal natural e o estoque de carbono na bacia do Rio Araguari-MG;

- Avaliar a taxa de sequestro de carbono para os diferentes usos da terra avaliados a partir da determinação do Δ estoque de carbono (Δ EstC);

5.1 Material e Métodos

5.1.1 Materiais

- GPS;
- Planilha para localização e identificação das amostras (Anexo 1);
- Trado Holandês com caçamba de 20 cm de profundidade e diâmetro de 3" (três polegadas);
- Pá-de-corte;
- Anel volumétrico (volume 81,54 cm³);
- Latas para acomodar as amostras de densidade;
- Câmera fotográfica;
- Régua, faca, baldes, prancheta, caneta para retroprojektor, fita adesiva, sacos plásticos para acomodar e identificar as amostras após a coleta;
- Composição colorida (2B3G4R) do sensor/satélite TM/Landsat 5, adquirida em abril de 2009.

5.2 Métodos

5.2.1 Seleção e amostragem

A quantificação do estoque de carbono do solo consiste, essencialmente, em dois passos, o primeiro, a amostragem de solo no campo para análises químicas e físicas do solo, bem como da densidade; e o segundo, a determinação dos teores totais de carbono (COT) nos diferentes tipos de uso amostrados e a sua quantificação em Mg C ha^{-1} .

A seleção dos usos da terra, para o levantamento do estoque de carbono na área da pesquisa, foi a primeira etapa da metodologia. Em laboratório, foram identificados os usos mais representativos das atividades econômicas presentes na bacia do Rio Araguari-MG. Sendo assim, as amostras de solo foram coletadas em áreas de:

- Cerrado (Cerradão e Campo Cerrado);
- Plantio Direto (soja e milho);
- Cultura Anual Irrigada (feijão, milho e soja);
- Pastagem Melhorada;
- Pastagem Degradada;
- Cana-de-açúcar;
- Reflorestamento (*Pinus* e *Eucaliptus*);
- Café.

As áreas selecionadas para a coleta das amostras de solo seguiram alguns critérios imprescindíveis para garantir, ao máximo, a homogeneidade nas características das áreas de cada coleta. Sabendo-se que o teor de carbono no solo varia em função da declividade do

terreno e do tipo de solo, foi tomado o cuidado em realizar as coletas em áreas que apresentassem declividade e tipo de solo similares.

Todas as coletas foram efetuadas em solos do tipo Latossolo. Todavia, os teores de areia, argila e silte variaram significativamente de acordo com a localização de cada uso. Para a quantificação do estoque de carbono, há necessidade de se estabelecer a profundidade do solo a que se refere o estoque. Para a presente pesquisa, as amostras de solo foram obtidas nas camadas 0-20 e 20-40 cm de profundidade por três motivos: o primeiro deles é que grande quantidade de carbono é armazenado nessas camadas; o segundo está relacionado ao fato de que as atividades agrícolas têm forte influência nessas profundidades e, por último, a camada que vai de 0-20 cm permite modelagens pelo modelo CENTURY.

Depois de definidos os tipos de uso e as profundidades, foi realizado um trabalho de campo nas áreas previamente identificadas. Com auxílio da imagem de satélite TM/Landsat5, mapa de solos e receptor GPS, percorreram-se as áreas selecionadas para coleta das amostras de solo. O trabalho de campo foi efetivado durante os dias 17, 18, 19 e 21 de junho de 2009.

Para cada uso da terra definido, foram obtidas amostras de solo das camadas 0-20 e 20-40 cm de profundidade com trado tipo holandês (Quadro 4), em que foram coletadas cinco amostras simples de maneira aleatória em cada tipo de uso, por profundidade, as quais foram combinadas para formar uma amostra composta por camada de solo amostrada. Todo o solo coletado na amostra composta foi embalado e identificado para a determinação do Carbono Orgânico Total (COT), densidade aparente, pH e granulometria.

	<p>Limpeza da área para início da coleta com trado holandês.</p>
	<p>O trado é enterrado até a profundidade 20 cm, e retirado em seguida contendo o material o solo de cada profundidade.</p>
	<p>Cada uma das cinco amostras simples é adicionada em um recipiente específico para sua camada.</p>
	<p>Exemplo de solos colocados em recipientes específicos para cada camada. Balde laranja 0-20 cm, balde branco 20-40 cm.</p>
	<p>O último passo é a embalagem e a identificação do material coletado para ser levado ao laboratório onde serão realizadas as análises.</p>

Quadro 4: Passos para coleta das amostras de solo nas profundidades 0-20 e 20-40 cm

Dessa forma, ao longo da bacia do Rio Araguari, para cada tipo de uso, foram selecionadas cinco subamostras (compostas) de cada tipo de uso. Por exemplo, para representar o estoque de C do Cerrado, selecionaram-se cinco áreas diferentes com vegetação de Cerrado, cada uma denominada como CER1, CER2, CER3, CER4 e CER5 (representando o mesmo tipo de cobertura, ou seja, Cerrado, no entanto em áreas diferentes).

Como foram definidos oito tipos de usos diferentes (Cerrado = CER; plantio direto = PDI; cultura anual irrigada = CAI; pastagem melhorada = PME; pastagem degradada = PDE; cana-de-açúcar = CAN; reflorestamento = REF e café = CAF), e, cada um desses usos possuía 5 subamostras, ao final da amostragem, totalizaram-se 40 amostras para a camada 0-20 cm e 40 amostras para a camada 20-40 cm.

Aproximadamente 500 g de solo foram extraídos para cada uma das coletas em campo, desse total, foram extraídas as quantidades necessárias para determinação do COT, pH e textura. As tabelas e quadros a seguir exemplificam os tipos de usos e suas subamostras, bem como o código utilizado para denominar cada uma das áreas, o tipo de vegetação e/ou cultura, a localização e a data da coleta realizada em campo. As amostras solo foram secas ao ar, peneiradas (peneira de 2,0 mm), homogeneizadas e encaminhadas ao laboratório.

Tabela 8: Localização e caracterização do Cerrado (CER)

Uso/ subamostras	Tipo	Coordenadas		Data da coleta
		mE	mN	
CER1	Cerradão	184.759	7.916.054	17/6/2009
CER2	Campo Cerrado	782.391	7.896.138	18/6/2009
CER3	Cerrado	785.068	7.882.993	18/6/2009
CER4	Cerradão	808.179	7.893.739	19/6/2009
CER5	Cerrado	777.621	7.924.146	20/6/2009

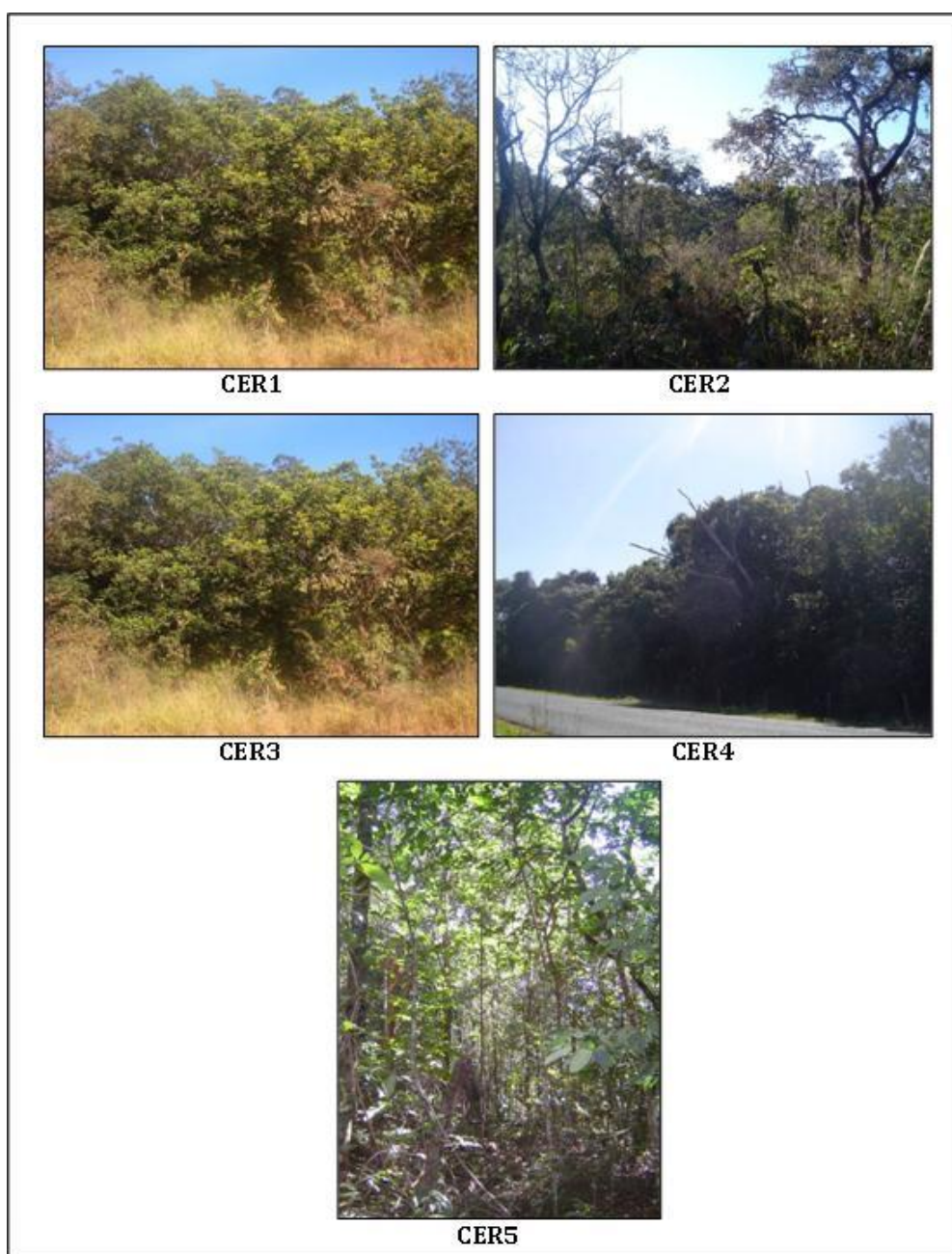
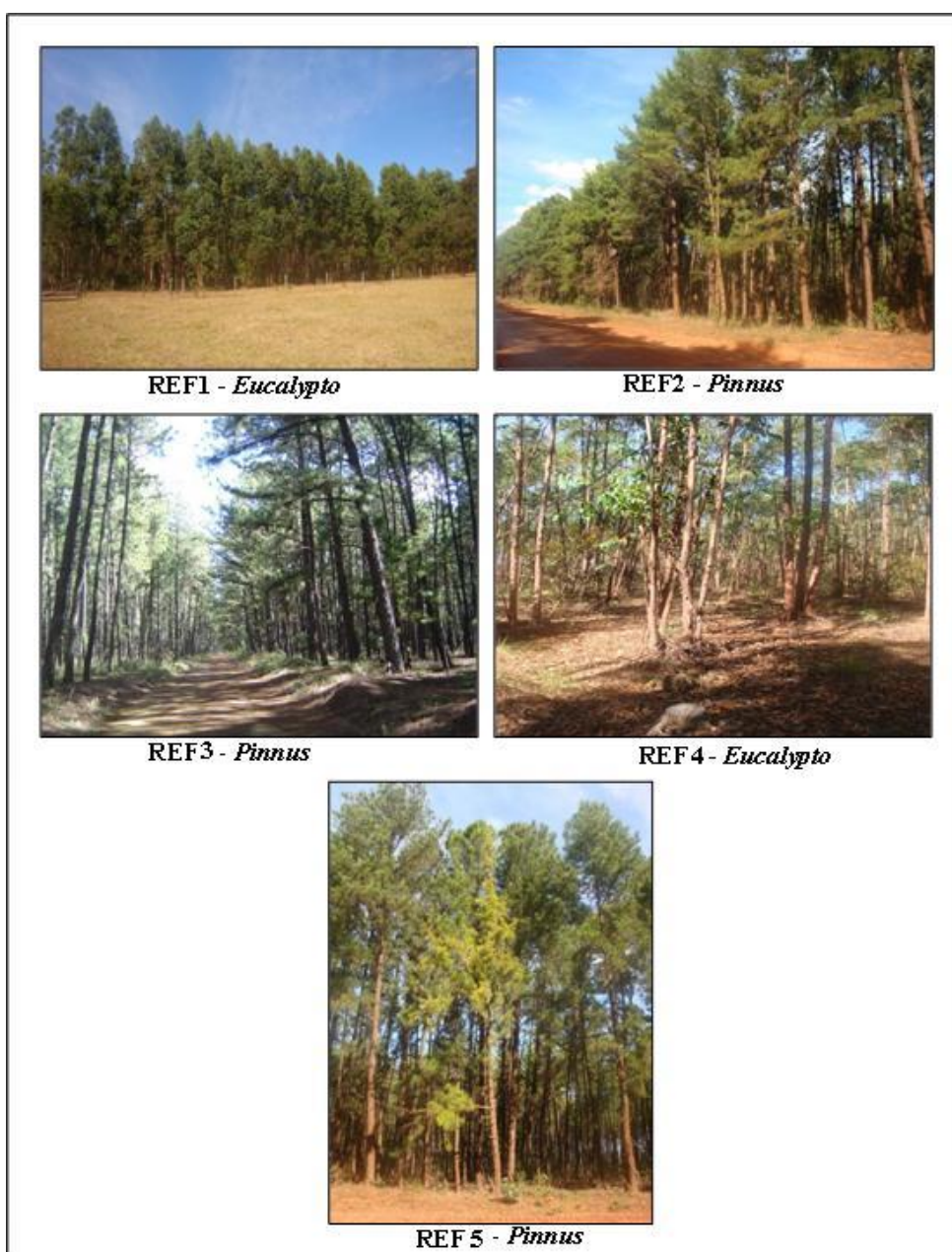
**Quadro 5: Fotos do cerrado**

Tabela 9: Localização e caracterização do reflorestamento (REF)

Uso/ subamostras	Tipo	Coordenadas		Data da coleta
		mE	mN	
REF1	<i>Eucaliptus</i>	794.853	7.868.099	18/6/2009
REF2	<i>Pinus</i>	801.692	7.889.568	18/6/2009
REF3	<i>Pinus</i>	215.177	7.864.417	19/6/2009
REF4	<i>Eucaliptus</i>	226.020	7.889.310	19/6/2009
REF5	<i>Pinus</i>	796.638	7.888.056	18/6/2009



Quadro 6: Fotos do reflorestamento

Tabela 10: Localização e caracterização da cultura anual irrigada (CAI)

Uso/ subamostras	Tipo	Coordenadas		Data da coleta
		mE	mN	
CAI1	Feijão sobre palhada de Milho	226.020	7.889.310	19/6/2009
CAI2	Feijão	227.060	7.894.540	19/6/2009
CAI3	Feijão sobre palhada de Milho	223.774	7.894.013	19/6/2009
CAI4	Trigo	222.532	7.893.632	19/6/2009
CAI5	Palhada de Milho	221.431	7.893.000	19/6/2009

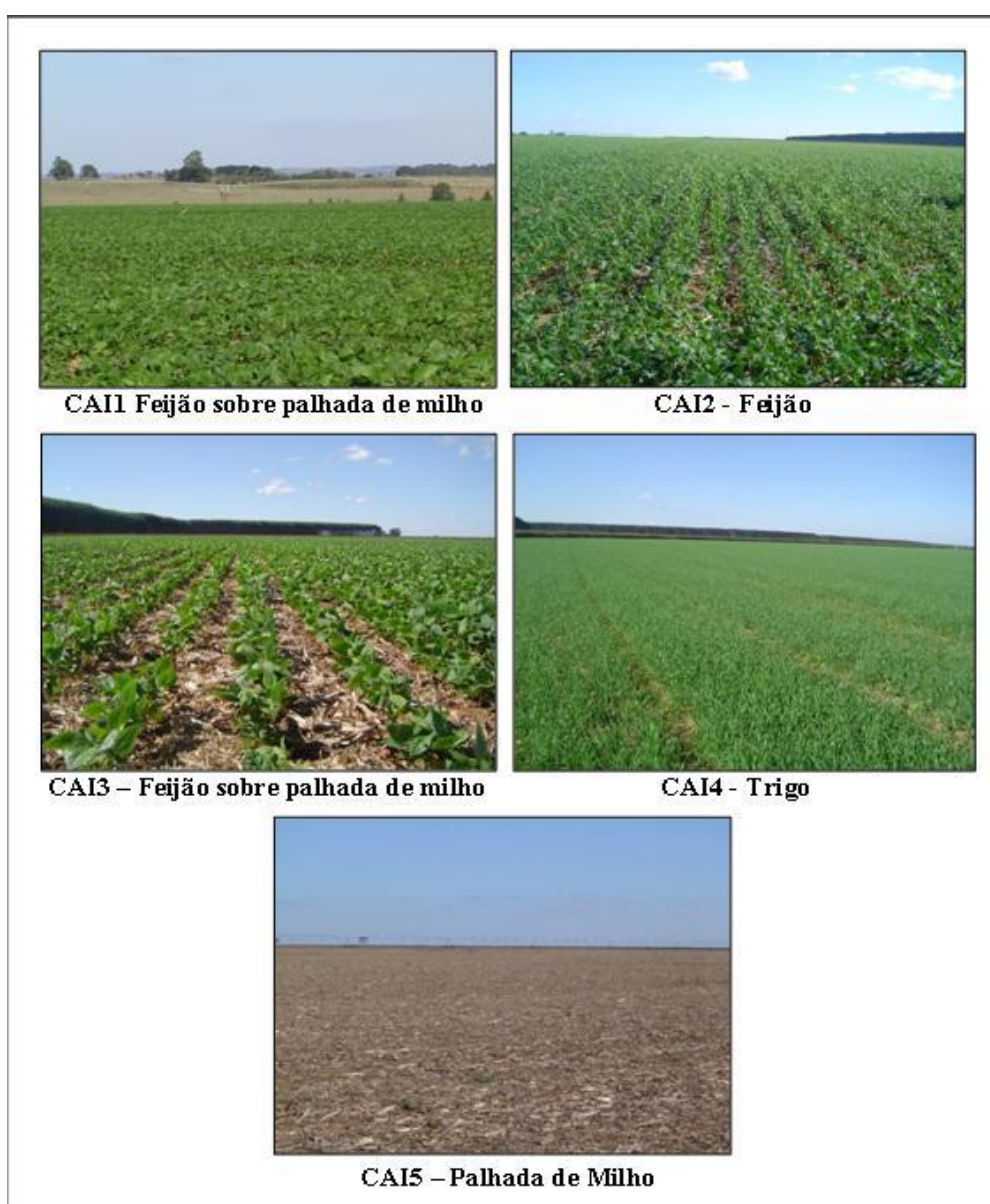
**Quadro 7: Fotos da cultura anual irrigada (CAI)**

Tabela 11: Localização e caracterização do plantio direto (PDI)

Uso/ subamostras	Tipo	Coordenadas		Data da coleta
		mE	mN	
PDI1	Soja*	184.951	7.916.501	17/6/2009
PDI2	Milho*	815.081	7.919.122	17/6/2009
PDI3	Soja*	806.005	7.926.345	17/6/2009
PDI4	Soja*	800.384	7.862.714	18/6/2009
PDI5	Soja*	803.332	7.891.243	18/6/2009

* Amostra de solo retirada de áreas sob palhada de soja e milho ou restos da cultura da soja e milho

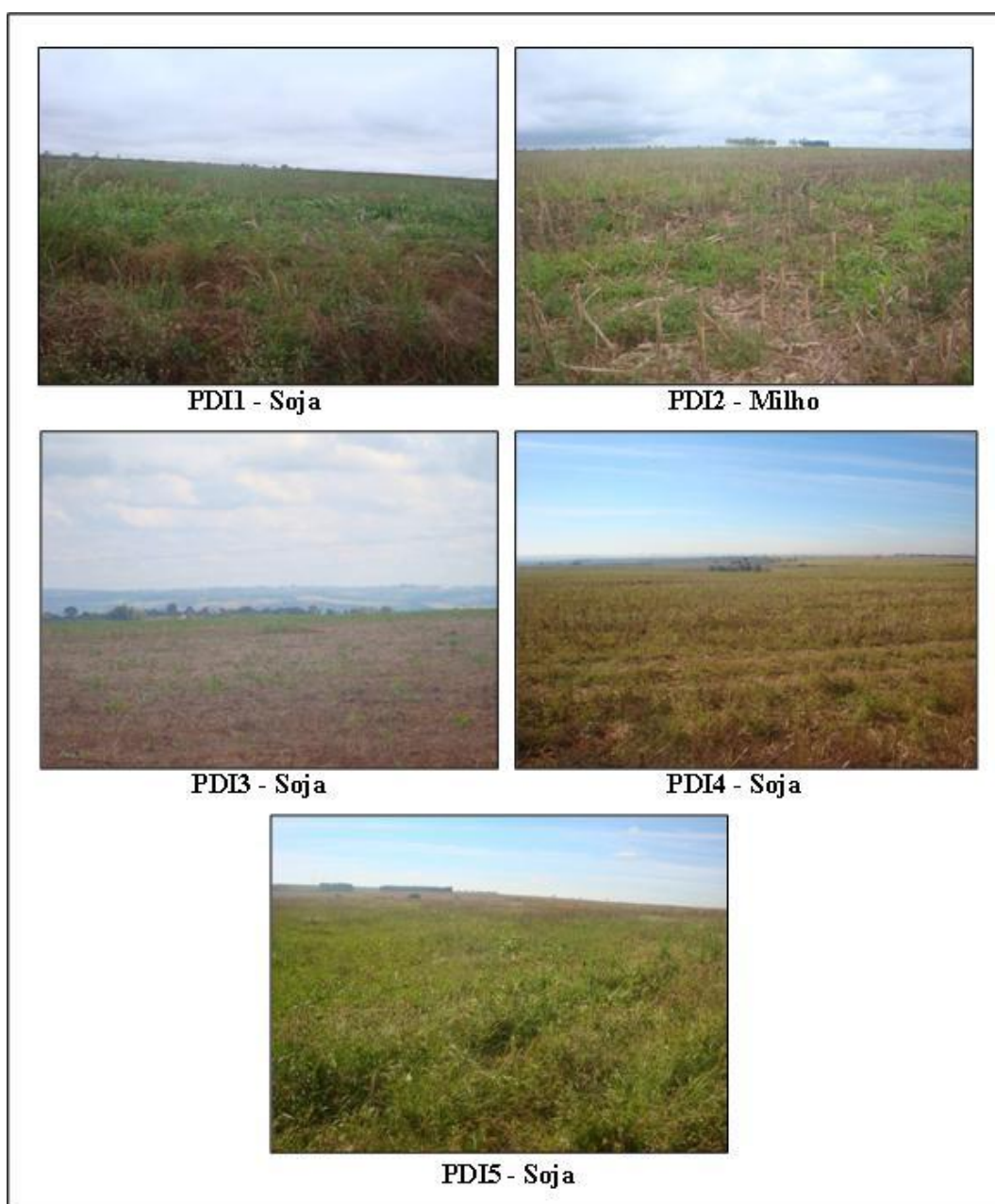
**Quadro 8: Fotos do plantio direto (PDI)**

Tabela 12: Localização e caracterização do café (CAF)

Uso/ subamostras	Tipo	Coordenadas		Data da coleta
		mE	mN	
CAF1	Café	185.970	7.916.179	17/6/2009
CAF2	Café	808.270	7.893.560	19/6/2009
CAF3	Café	204.093	7.893.260	19/6/2009
CAF4	Café	197.254	7.892.832	19/6/2009
CAF5	Café	194.257	7.894.040	19/6/2009

**Quadro 9: Fotos do café (CAF)**

Tabela 13: Localização e caracterização da cana-de-açúcar (CAN)

Uso/ subamostras	Tipo	Coordenadas		Data da coleta
		mE	mN	
CAN1	Cana-de-açúcar	815.191	7.919.039	17/6/2009
CAN2	Cana-de-açúcar	808.698	7.924.054	17/6/2009
CAN3	Cana-de-açúcar	802.582	7.861.339	18/6/2009
CAN4	Cana-de-açúcar	800.245	7.873.069	18/6/2009
CAN5	Cana-de-açúcar	199.285	7.874.211	19/6/2009

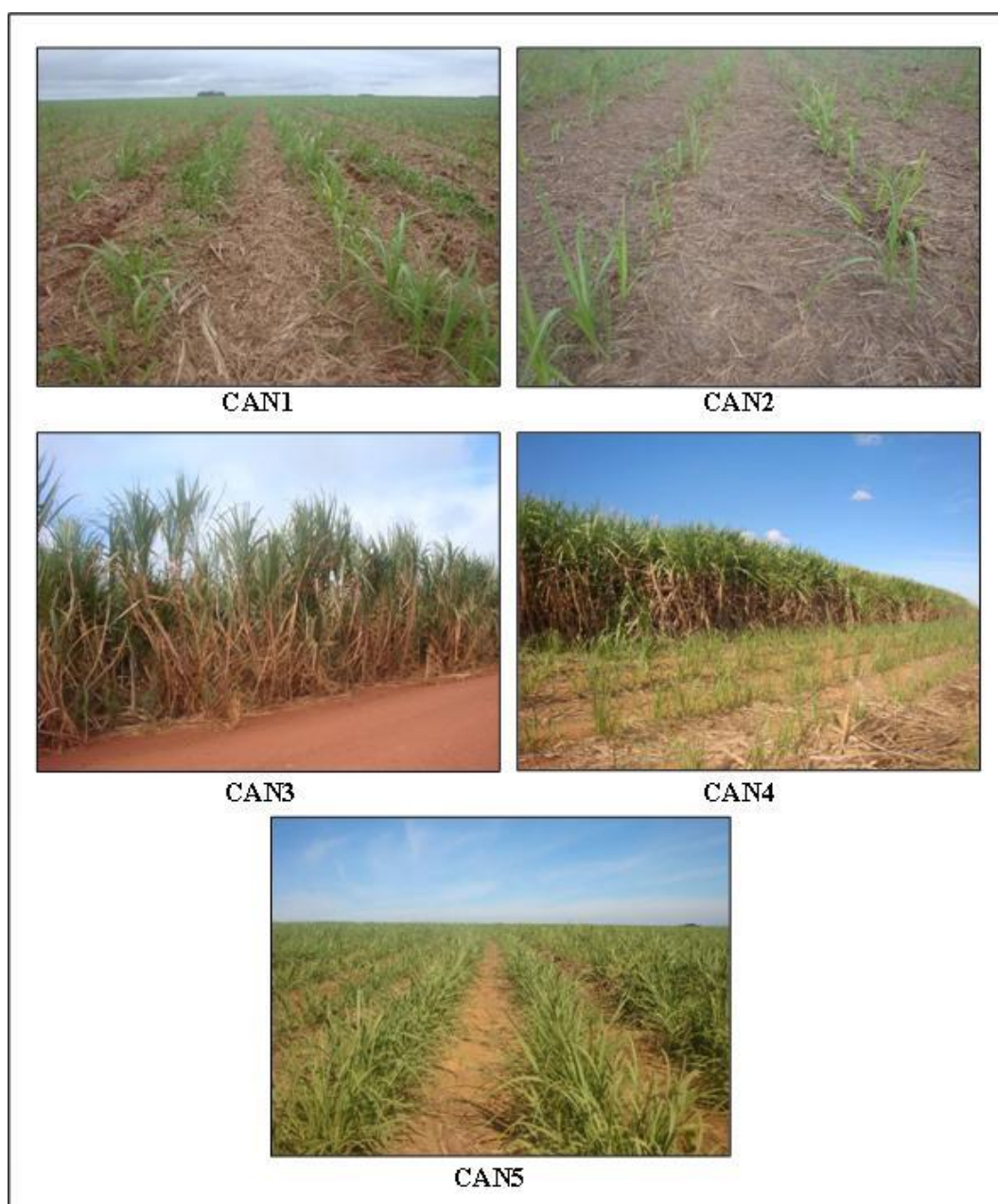
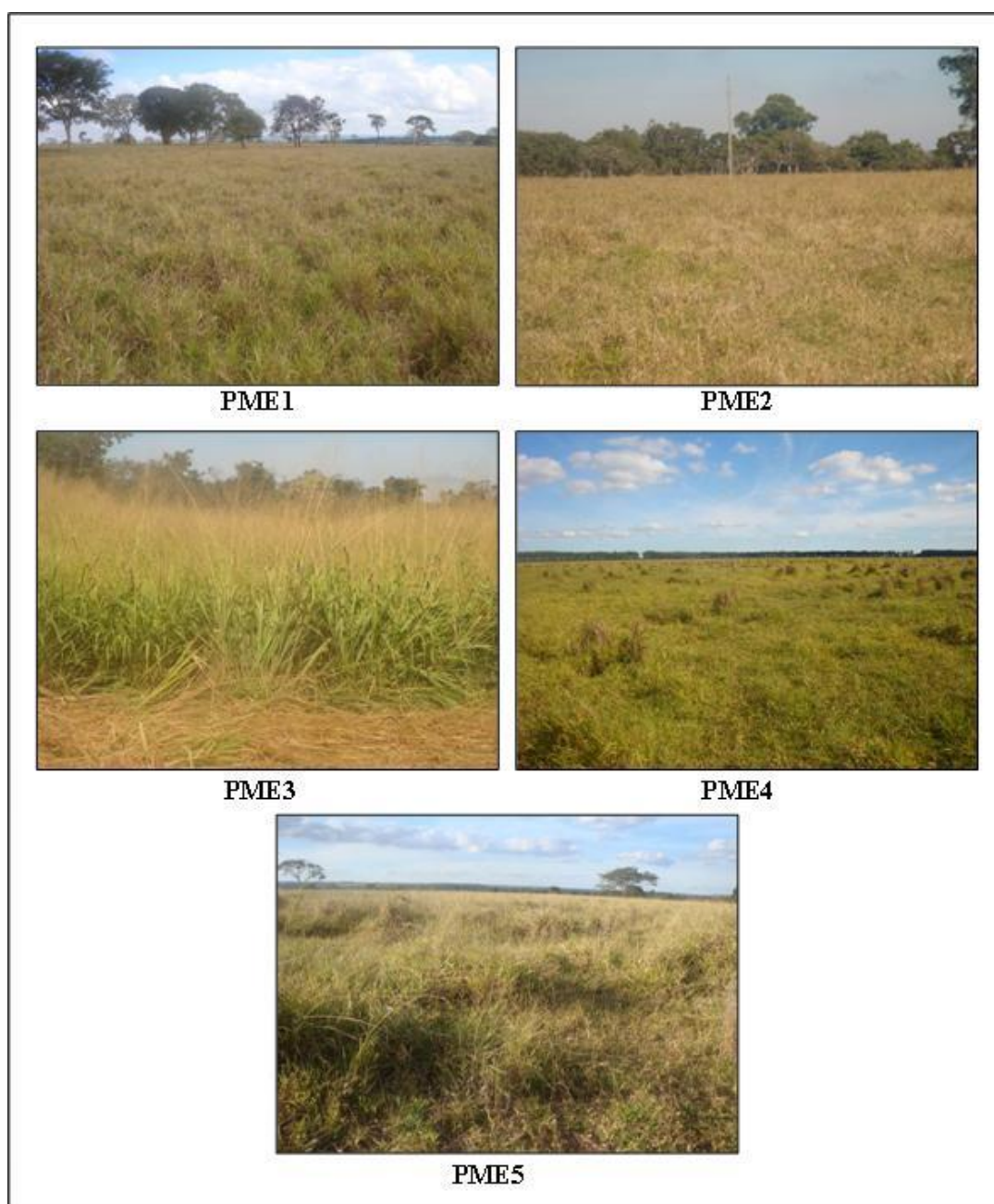
**Quadro 10: Fotos da cana-de-açúcar (CAN)**

Tabela 14: Localização e caracterização da pastagem melhorada (PME)

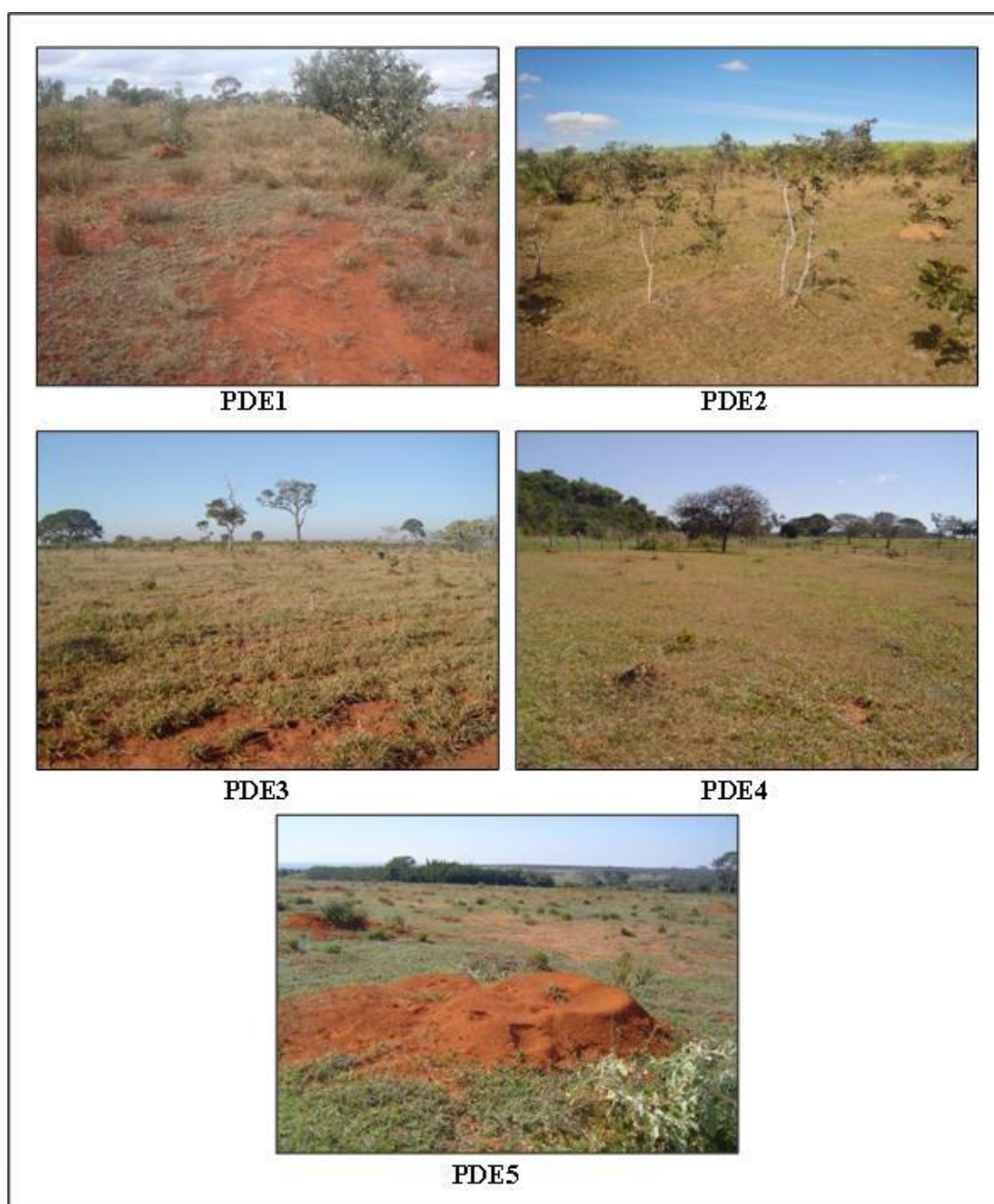
Uso/ subamostras	Tipo	Coordenadas		Data da coleta
		mE	mN	
PME1	<i>Brachiaria</i>	807.215	7.925.317	17/6/2009
PME2	<i>Brachiaria</i>	789.987	7.874.420	18/6/2009
PME3	<i>Brachiaria</i>	803.392	7.891.192	18/6/2009
PME4	<i>Brachiaria</i>	794.375	7.894.446	18/6/2009
PME5	<i>Brachiaria</i>	190.470	7.882.440	17/6/2009



Quadro 11: Fotos da pastagem melhorada (PME)

Tabela 15: Localização e caracterização da pastagem degradada (PDE)

Uso/ subamostras	Tipo	Coordenadas		Data da coleta
		mE	mN	
PDE1	<i>Brachiaria</i>	807.268	7.925.173	17/6/2009
PDE2	<i>Brachiaria</i>	800.254	7.873.174	18/6/2009
PDE3	<i>Brachiaria</i>	808.179	7.893.739	19/6/2009
PDE4	<i>Brachiaria</i>	783.450	7.915.688	20/6/2009
PDE5	<i>Brachiaria</i>	776.298	7.925.631	20/6/2009



Quadro 12: Fotos da pastagem degradada (PDE)

A densidade do solo, também denominada de densidade aparente ou global do solo, corresponde à massa de solo seco por unidade de volume, ou seja, o volume do solo ao natural, incluindo os espaços porosos. A coleta de amostras de solos no campo e a determinação da densidade do solo são essenciais para se calcular a massa ou o estoque de carbono total do solo, a partir da concentração de carbono total do solo.

A densidade do solo foi obtida por meio do peso seco (g) de amostras retiradas nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, com o auxílio de um anel volumétrico de metal de volume previamente conhecido ($81,54 \text{ cm}^3$). Esse procedimento de coleta das amostras de solo foi efetuado nas mesmas áreas de onde foram extraídas as amostras para análises de COT e textura também nas profundidades 0-20 e 20-40 cm, totalizando 80 amostras de densidade do solo.

Depois de limpada a área e aberta a trincheira, é utilizado um anel de bordos cortantes com a capacidade interna conhecida ($81,54 \text{ cm}^3$). Crava-se o anel no próprio solo, removendo-se, posteriormente o excesso de solo, com o auxílio de uma faca, até igualar as bordas do anel. O solo obtido é transferido para um recipiente (latas alumínio previamente identificadas e com peso conhecido). As latas são pesadas antes de serem levadas a uma estufa a 110° , e depois pesadas novamente. A partir desse processo, é possível determinar a umidade e a densidade aparente do solo. O Quadro 13 ilustra a coleta das amostras de solo para determinação da densidade do solo.



Para a coleta da densidade do solo, primeiramente realiza-se a limpeza da área;



Quadro 13: Passos para coleta das amostras de densidade do solo

O pH foi determinado em água (1:2,5) por potenciometria, sendo a acidez trocável (Al^{3+}) extraída com KCl 1 mol/L e quantificada por titulometria com hidróxido de sódio 0,025 mol/L, padronizado com biftalato de potássio (EMBRAPA, 1997).

O carbono orgânico total (COT) do solo foi determinado pela oxidação da matéria orgânica com $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido, e o excesso de dicromato foi titulado com $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ (YEOMANS & BREMMER, 1988). O Carbono Orgânico do solo foi calculado pelo método descrito em Yeomans & Bremner (1988), após digestão de 0,3 g de solo em 5 mL de $K_2Cr_2O_7$ $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ e 10 ml de H_2SO_4 p.a., por 30 min a 170°C , em bloco digestor. Após resfriamento em temperatura ambiente, os extratos foram transferidos quantitativamente para frascos erlenmeyers de 125 ml, utilizando-se água destilada suficiente para obter volume final de, aproximadamente, 75 ml. Em seguida, a cada erlenmeyer foram adicionados 5 ml de H_3PO_4 p.a., procedendo-se à titulação com solução de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ $0,4 \text{ mol l}^{-1}$ (sal de Mohr), sendo empregada como indicador a solução ácida de difenilamina 1 %.

O cálculo do estoque de carbono ($Mg \text{ C ha}^{-1}$), para uma determinada profundidade, dá-se da seguinte maneira:

$$EstC = \frac{CO_{total} * D * e}{10}$$

Onde:

EstC = estoque de carbono orgânico na camada estudada ($Mg \text{ ha}^{-1}$);

CO_{total} = carbono orgânico total ($g \text{ kg}^{-1}$);

D = densidade aparente do solo da camada estudada ($g \text{ cm}^{-3}$);

e = espessura da camada estudada (cm).

Para verificar tendências de acúmulo ou perda de C orgânico em comparação com o sistema de referência (vegetação natural), foi calculada a variação do estoque de C em relação à média dos teores de C da vegetação de cerrado (CER), ou seja, “delta” $\Delta EstC$. O $\Delta EstC$ é calculado

pela diferença entre os valores médios de estoque de C da vegetação nativa (CER) e os valores médios de estoque de C de cada um dos demais usos. Esta técnica foi considerada relevante no que tange à interpretação da dinâmica dos valores de estoque de C.

Sabendo-se que o estoque de C de um solo representa o balanço dinâmico entre a adição de material vegetal morto e a perda pela decomposição ou mineralização (SCHOLLES et al., 1997 apud CHAVES; FARIAS, 1998), a análise do ΔEstC permite avaliar o impacto da agricultura e da pecuária no estoque de C de determinado solo, quando tais teores são comparados aos teores da vegetação natural, denominada vegetação de referência ou sistema de referência. O conhecimento dos valores de ΔEstC nos solos a partir de um sistema de referência (vegetação natural) avalia o impacto da agricultura ao meio ambiente.

Os valores dos estoques de C, da densidade, pH e da análise textural de cada uso da terra analisado, bem como de suas subamostras são apresentados a seguir para posterior discussão dos resultados.

5.3 Resultados e Discussão

5.3.1 Estoque de carbono nos diferentes tipos de uso da terra e cobertura vegetal

O carbono do solo se encontra principalmente na forma orgânica como um dos constituintes da MOS. O C do solo pode estar em uma diversidade de compostos com diferentes graus de complexidade (SIQUEIRA NETO, 2006).

O estoque médio de C dos diferentes usos da terra presentes na bacia do Rio Araguari (Tabela 16) variou de 34,63 Mg C ha⁻¹ a 49,64 Mg C ha⁻¹ na profundidade 0-20 cm. Estes são valores relativos às médias da pastagem degradada (PDE) e da cultura anual irrigada (CAI), respectivamente.

Tabela 16: Estoque de C (baseado nas médias) do CER (cerrado), REF (reflorestamento), CAI (cultura anual irrigada), PDI (plantio direto), CAF (café), CAN (cana-de-açúcar), PME (pastagem melhorada) e PDE (pastagem degradada) para as profundidades 0-20 cm e 20-40 cm

Usos	Estoque C (Mg ha ⁻¹)	
	(0-20 cm)	(20-40 cm)
CER	38,05	26,80
REF	39,90	29,79
CAI	49,64	32,22
PDI	48,48	35,34
CAF	44,29	37,87
CAN	48,73	31,78
PME	43,92	33,15
PDE	34,63	27,51

Para a profundidade de 20-40 cm, a menor estimativa também foi encontrada na PDE, com aproximadamente 27,51 Mg C ha⁻¹, sendo o valor máximo estimado relativo à média dos estoques de C presentes nas áreas de café (CAF). As áreas de CER, que representam o sistema de referência dessa pesquisa (Tabela 17), apresentaram valores de 38,05 Mg C ha⁻¹ para a profundidade 0-20 cm, e 26,80 Mg C ha⁻¹, para 20-40 cm.

Trabalhos desenvolvidos na região do Cerrado revelaram resultados semelhantes aos deste estudo, com redução dos teores de C em profundidade (Freitas et al., 2000; Freixo et al., 2002). Os dados para a área de estudo em questão demonstraram que, em todos os usos da terra, as médias dos estoques de C, na profundidade de 0-20 cm, foram substancialmente mais elevadas que aquelas obtidas em 20-40 cm de profundidade (Gráfico 1).

É importante destacar que as análises realizadas neste capítulo referem-se, em grande parte, às análises dos teores médios de estoque de C, pois as análises individuais de cada tipo de uso mostram valores distintos entre si. A título de ilustração, cita-se o exemplo do CER1, que apresenta 722 gkg⁻¹ de argila, enquanto que CER2=243 gkg⁻¹, CER3=315 gkg⁻¹, CER4=523

gkg^{-1} e $\text{CER5}=343 \text{ gkg}^{-1}$. Não há uma solução aparente para este tipo de “problema”, a não ser trabalhar com os dados médios de cada uso. Em virtude dessa situação, destacamos que as Tabelas 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24 e 25 expõem os valores individuais da análise de cada uso e a média destas.

Tabela 17: Estoques de C, densidade, pH e granulometria das áreas de cerrado (CER) para as profundidades 0-20 e 20-40 cm.

Cerrado (0-20 cm)	Densidade (g cm^{-3})	Carbono (Mg C ha^{-1})	pH	Areia Grossa (g kg^{-1})	Areia fina (g kg^{-1})	Silte (g kg^{-1})	Argila (g kg^{-1})
CER1	1,01	44,82	4,94	90	151	37	722
CER2	1,27	31,45	4,48	501	230	26	243
CER3	1,30	34,17	4,55	323	332	30	315
CER4	1,24	42,38	4,58	205	179	93	523
CER5	1,11	37,41	4,61	283	346	28	343
Média	1,19	38,05	4,63	280	248	43	429
Des_Pad	0,11	4,97	0,18	152	88	28	193
Cerrado (20-40 cm)							
CER1	1,08	33,85	4,66	74	159	25	742
CER2	1,37	23,86	4,4	449	230	53	268
CER3	1,30	23,81	4,83	314	334	18	334
CER4	1,22	22,25	4,76	187	161	62	590
CER5	1,23	30,25	4,63	230	358	135	277
Média	1,24	26,80	4,66	251	248	59	442
Des_Pad	0,10	4,47	0,15	126	84	42	190

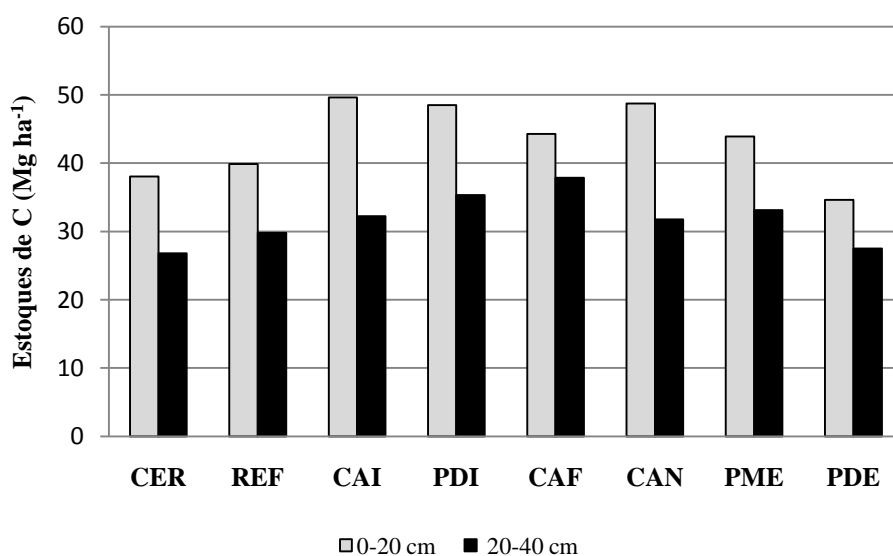


Gráfico 1: Médias dos estoques de C (Mg ha^{-1}) para o cerrado (CER), reflorestamento (REF), cultura anual irrigada (CAI), plantio direto (PDI), café (CAF), cana-de-açúcar (CAN), pastagem melhorada (PME) e pastagem degradada (PDE).

Pode-se inferir, pela análise do Gráfico 1, à profundidade 0-20 cm, que todos os usos da terra, exceto a PDE, registraram estoques de C mais elevados que o CER. Contudo, é importante ressaltar que os dados exibidos no referido gráfico tratam-se da média dos estoques de C dos diferentes usos. Ao analisar os resultados dos estoques de C separadamente para cada uma das subamostras, é possível perceber que os dados referentes à PDE (Tabela 18) apresentam um desvio padrão elevado de 5,96 para a camada 0-20 cm de profundidade como consequência da PDE5 ter apresentado estoque de C muito inferior às demais, 22,89 Mg C ha⁻¹, enquanto que as outras áreas compreendem os seguintes valores PDE1= 36,21 Mg C ha⁻¹, PDE2= 39,47 Mg C ha⁻¹, PDE3=37,26 Mg C ha⁻¹ e PDE4= 37,31 Mg C ha⁻¹.

Tabela 18: Estoques de C, densidade, pH e granulometria das áreas de pastagem degradada (PDE) para as profundidades 0-20 e 20-40 cm.

Pastagem Degradada (0-20 cm)	Densidade (g cm⁻³)	Carbono (Mg C ha⁻¹)	pH	Areia Grossa (g kg⁻¹)	Areia fina (g kg⁻¹)	Silte (g kg⁻¹)	Argila (g kg⁻¹)
PDE 1	1,13	36,21	4,37	64	178	110	648
PDE 2	1,28	39,47	4,93	287	246	88	379
PDE 3	1,30	37,26	5,03	215	136	38	611
PDE 4	1,18	37,31	4,64	275	255	16	454
PDE 5	1,46	22,89	6,65	428	249	38	285
Média	1,27	34,63	5,12	254	213	58	475
Des_Pad	0,11	5,96	0,80	118	48	35	137
Pastagem Degradada (20-40 cm)							
PDE 1	1,09	27,82	4,58	49	159	25	767
PDE 2	1,37	34,80	4,80	242	261	29	468
PDE 3	1,24	28,69	4,81	208	139	58	595
PDE 4	1,17	27,96	4,76	269	281	13	437
PDE 5	1,46	18,27	5,83	390	288	8	314
Média	1,27	27,51	4,96	232	226	27	516
Des_Pad	0,13	5,30	0,44	110	63	17	154

A explicação para os valores da PDE serem inferiores aos do CER, na profundidade 0-20 cm, é o elevado nível de degradação e a considerável área de solo exposto observada em todas as PDEs, inclusive, verificou-se selamento superficial causado por erosão laminar e as poucas

raízes. A degradação em pastagens está associada ao manejo inadequado, como a utilização de pastoreio sem pousio, a falta de controle da lotação do pasto (superpastejo) e a ocorrência de queimadas. Ficou evidente que, em nenhuma das áreas de PDE, se recorre a corretivos químicos.

A média dos estoques de C para todos os usos da terra (Tabela 16), com exceção da pastagem degradada, registraram valores superiores ao cerrado na profundidade 0-20 cm, enquanto que, na profundidade 20-40 cm, todos os usos apresentaram estoques de C superiores aos do cerrado. A sequência de dados para a profundidade 0-20 cm obedeceu a seguinte ordem decrescente: CAI ~ CAN ~ PDI > CAF ~ PME > REF ~ CER > PDE. Para a profundidade 20-40 cm ocorreram modificações na sequência visualizada na camada superficial (0-20 cm), onde: CAF ~ PDI ~ PME ~ CAI ~ CAN ~ REF > PDE ~ CER.

No tocante à profundidade de 20-40 cm, todos os usos da terra, inclusive as áreas de PDE, que, na profundidade 0-20, apresentaram valores inferiores ao CER, foram superiores à média do CER, com estimativas de 27,51 Mg C ha⁻¹ para a PDE e 26,80 Mg C ha⁻¹ para o CER. Os valores tão baixos da PDE, à profundidade 0-20 cm, podem estar associados ao aumento da erosão do solo, aos processos mais acelerados de mineralização da matéria orgânica e oxidação de C orgânico do solo, e, às menores quantidades de aportes orgânicos da PDE com relação aos outros usos (HOUGHTON et al. 1991 apud PORTUGAL, 2008).

A presente pesquisa alcançou bons resultados na determinação do estoque de carbono dos diferentes usos da terra. O Quadro 14 mostra que as estimativas obtidas aproximaram-se das realizadas por diversos autores em diversas pesquisas. Tais valores foram utilizados para fins de comparação.

Uso	cm	Estoque de C (Mg C ha ⁻¹)	Autores	Esta pesquisa 0-20	Esta pesquisa 20-40
Cerrado	0-20	39,77	Boddey et al. (2001) apud Corazza (1999)	38,05	26,80
	20-40	30,09	Boddey et al. (2001) apud Corazza (1999)		
	0-20	39,77	D'Andréia et al. (2004)		
	0-40	23,21	D'Andréia et al. (2004)		
	0-20	37,98	Corazza et al (1999) apud D'Andréia et al. (2004)		
	0-20	35,10	Neves et al. (2004)		
Reflorestamento <i>Eucaliptus</i> *	20-40	27,30	Neves et al. (2004)	39,90	29,79
	0-20	34,50	Neves et al. (2004)		
	20-40	25,50	Neves et al. (2004)		
	0-20	44,87	Boddey et al. (2001) apud Corazza (1999)		
	20-40	33,50	Boddey et al. (2001) apud Corazza (1999)		
Reflorestamento <i>Pinus</i> *	0-20	48,36	Wendling (2007)	-	-
Plantio Direto	0-20	47,35	Boddey et al. (2001) apud Corazza (1999)	48,48	35,34
	20-40	33,79	Boddey et al. (2001) apud Corazza (1999)		
	0-20	40,30	D'Andréia et al. (2004)		
	0-20	47,35	Corazza et al (1999) apud D'Andréia et al. (2004)		
	0-20	40,16	D'Andréia et al. (2004)		
	20-40	20,91	D'Andréia et al. (2004)		
	0-20	40,43	D'Andréia et al. (2004)		
	20-40	28,37	D'Andréia et al. (2004)		
Cana-de-açúcar	0-20	45,66	Wendling, (2007)	48,73	-
Pastagem**	0-20	30,00	Neves et al. (2004)	43,92	33,15
	20-40	22,20	Neves et al. (2004)		
	0-20	39,28	Boddey et al. (2001) apud Rezende et al. (1999)		
	20-40	21,34	Boddey et al. (2001) apud Rezende et al. (1999)		
	0-20	42,18	Boddey et al. (2001) apud Corazza (1999)		
	20-40	32,59	Boddey et al. (2001) apud Corazza (1999)		
	0-20	39,54	Boddey et al. (2001) apud Rezende et al. (1999)		
Pastagem Degradada	0-20	27,01	Boddey et al. (2001) apud Rezende et al. (1999)	34,63	27,51
	20-40	14,98	Boddey et al. (2001) apud Rezende et al. (1999)		

Quadro 14: Estoques de C observados em pesquisas realizadas por diferentes autores e a comparação com dados observados nesta pesquisa (Mg C ha⁻¹)

* Nesta pesquisa referimo-nos ao reflorestamento como a média dos dois tipos de plantio, *Eucaliptus* e *Pinus*;

** Os autores não fizeram referência se a pastagem é melhorada ou não, por isso, optou-se pela citação apenas de “pastagem” em vez de “pastagem melhorada” ou “pastagem degradada”.

Para as áreas de cerrado (CER), Resck et al. (2000) apud Boddey et al. (2001) encontraram $39,77 \text{ Mg ha}^{-1}$, Corazza et al. apud D' Andréia et al. (2004) $37,98 \text{ Mg ha}^{-1}$ e D' Andréia et al. (2004) $39,77 \text{ Mg ha}^{-1}$, enquanto este estudo alcançou médias de $38,05 \text{ Mg ha}^{-1}$ para profundidade 0-20 cm. Para a profundidade 20-40 cm, Resck et al. (2000) apud Boddey et al. (2001) encontraram $30,09 \text{ Mg ha}^{-1}$, D' Andréia et al. (2004) $23,21 \text{ Mg ha}^{-1}$ e esta pesquisa $26,80 \text{ Mg ha}^{-1}$.

As áreas ocupadas pela CAI (Tabela 19), PDI (Tabela 21), CAN (Tabela 22) e PME (Tabela 20) confirmaram o potencial em sequestrar C verificado por diversos autores (CORAZZA et al. 1999 apud D' ANDRÉIA et al. 2004), inclusive uma tendência elevada em acumular mais C que Cerrado nativo, sendo os valores mais expressivos apresentados, em ordem decrescente, pela CAI, CAN e PDI. D' Andréia et al. (2004) relataram que, no sistema de plantio direto, um manejo possivelmente mais eficiente dos resíduos incorporados à superfície do solo e o esquema de rotação de culturas mais diversificado podem contribuir para um maior desenvolvimento de raízes em profundidade, favorecendo o acúmulo de carbono orgânico na camada. A CAI foi o uso que apresentou maiores valores de estoque de C na camada 0-20 cm, $49,64 \text{ Mg C ha}^{-1}$, seguida do PDI com $48,48 \text{ Mg C ha}^{-1}$.

Tabela 19: Estoques de C, densidade, pH e granulometria das áreas de cultura anual irrigada (CAI) para as profundidades 0-20 e 20-40 cm.

Cult. Anual Irrigada (0-20 cm)	Densidade (g cm^{-3})	Carbono (Mg C ha^{-1})	pH	Areia Grossa (g kg^{-1})	Areia fina (g kg^{-1})	Silte (g kg^{-1})	Argila (g kg^{-1})
CAI1	1,10	47,01	5,25	39	55	17	889
CAI 2	1,11	56,87	4,94	27	30	205	739
CAI 3	1,16	52,40	5,38	26	21	251	702
CAI 4	1,07	45,46	5,78	32	30	149	788
CAI 5	1,07	46,48	5,46	36	29	211	724
Média	1,10	49,64	5,36	32	33	167	768
Des_Pad	0,03	4,34	0,27	5	12	82	67
Cult. Anual Irrigada (20-40 cm)							
CAI 1	1,09	33,30	5,18	27	46	108	819

CAI 2	1,08	36,31	5,19	30	26	163	781
CAI 3	1,02	32,73	5,28	23	21	133	823
CAI 4	1,05	29,39	5,58	31	25	200	744
CAI 5	1,23	29,36	4,90	29	31	127	813
Média	1,23	29,36	5,23	29	31	127	813
Des_Pad	1,09	32,22	0,24	28	30	146	796

É importante destacar que as culturas CAI, CAN e PDI fazem parte do mesmo tipo de manejo do solo, ou seja, plantio direto, fato observado mesmo nas áreas de CAN, recentemente instaladas na área da pesquisa (aparentemente, apenas duas colheitas foram realizadas nas áreas de CAN), que são colhidas mecanicamente, sem auxílio do fogo. A diferença entre a CAI e o PDI está no fato de a primeira utilizar sistema de irrigação por pivô-central.

Rangel e Silva (2007) comentaram que o fato de a pastagem evidenciar estoque de carbono muito semelhante ao CER pode ser atribuído ao sistema radicular mais desenvolvido e bem distribuído das gramíneas sob pastagem, o que favorece a elevada deposição de C ao solo na forma de raízes. Dados de Teixeira e Bastos (1989) apud Rangel e Silva (2007) mostraram que as pastagens, em geral, apresentam distribuição regular do sistema radicular até um metro de profundidade, com 46 % das raízes na camada superficial do solo (0–10 cm), 18,6 % na camada de 10–20 cm, 22,8 % na de 20–40 cm e 12,4 % na de 40–100 cm.

Tabela 20: Estoques de C, densidade, pH e granulometria das áreas de pastagem melhorada (PME) para as profundidades 0-20 e 20-40 cm.

Pastagem Melhorada (0-20 cm)	Densidade (g cm⁻³)	Carbono (Mg C ha⁻¹)	pH	Areia Grossa (g kg⁻¹)	Areia fina (g kg⁻¹)	Silte (g kg⁻¹)	Argila (g kg⁻¹)
PME 1	1,23	42,48	5,25	75	249	18	658
PME 2	1,51	41,07	6,36	316	372	15	297
PME 3	1,02	49,33	5,35	129	51	85	735
PME 4	1,33	44,89	5,94	264	145	100	491
PME 5	1,54	41,83	5,55	324	251	13	412
Média	1,33	43,92	5,69	222	214	46	519
Des_Pad	0,19	2,99	0,41	101	109	38	160
Pastagem Melhorada (20-40 cm)							

PME 1	1,16	30,71	4,58	68	219	22	691
PME 2	1,36	32,43	4,67	324	342	6	328
PME 3	1,19	37,76	5,26	103	38	9	850
PME 4	1,31	33,53	4,71	262	158	12	568
PME 5	1,41	31,30	5,05	324	242	73	361
Média	1,29	33,15	4,85	216	200	24	560
Des_Pad	0,10	2,50	0,26	110	100	25	197

Tabela 21: Estoques de C, densidade, pH e granulometria das áreas de plantio direto (PDI) para as profundidades 0-20 e 20-40 cm.

Plantio Direto (0-20 cm)	Densidade (g cm⁻³)	Carbono (Mg C ha⁻¹)	pH	Areia Grossa (g kg⁻¹)	Areia fina (g kg⁻¹)	Silte (g kg⁻¹)	Argila (g kg⁻¹)
PDI 1	1,15	47,3	5,31	41	68	10	881
PDI 2	1,17	42,2	6,04	38	66	215	681
PDI 3	1,13	44,62	5,83	34	68	168	730
PDI 4	1,30	56,29	5,26	216	106	104	574
PDI 5	1,11	51,99	5,55	113	42	48	797
Média	1,17	48,48	5,60	88	70	109	733
Des_Pad	0,07	5,08	0,30	70	21	75	104
Plantio Direto (20-40 cm)							
PDI 1	1,15	33,17	5	43	67	67	823
PDI 2	1,19	34,31	6,22	33	66	87	814
PDI 3	1,07	35,65	4,94	35	68	87	810
PDI 4	1,26	36,86	5,07	201	99	54	646
PDI 5	1,07	36,69	5,18	109	42	316	533
Média	1,15	35,34	5,28	84	68	122	725
Des_Pad	0,07	1,41	0,48	65	18	98	116

A cultura da cana-de-açúcar (CAN), apesar de ter sido implantada recentemente na área da pesquisa (por volta do ano 2007), registrou elevado estoque de C (48,78 Mg C ha⁻¹), perdendo apenas para a CAI (49,64 Mg C ha⁻¹), conforme pode ser analisado na Tabela 16. A explicação para valores tão elevados na CAN é o fato de que, comumente, as áreas de CAN ocupam antigas áreas de pastagem, e, no processo de formação dos canaviais, ocorre a incorporação da matéria orgânica remanescente.

Tabela 22: Estoques de C, densidade, pH e granulometria das áreas de cana-de-açúcar (CAN) para as profundidades 0-20 e 20-40 cm.

Cana-de-açúcar (0-20 cm)	Densidade (g cm⁻³)	Carbono (Mg C ha⁻¹)	pH	Areia Grossa (g kg⁻¹)	Areia fina (g kg⁻¹)	Silte (g kg⁻¹)	Argila (g kg⁻¹)
CAN 1	1,26	52,54	6,65	39	74	247	640
CAN 2	1,43	45,94	6,04	120	418	60	403
CAN 3	1,31	50,19	6,26	107	59	189	645
CAN 4	1,70	43,93	5,85	308	334	40	318
CAN 5	0,96	51,07	5,83	217	119	104	560
Média	1,33	48,73	6,13	158	201	128	513
Des_Pad	0,24	3,25	0,30	94	147	79	131
Cana-de-açúcar (20-40 cm)							
CAN 1	1,17	25,27	6,48	36	64	112	788
CAN 2	1,43	28,43	4,86	121	420	36	423
CAN 3	1,23	36,09	5,35	105	58	141	696
CAN 4	1,53	30,32	5,88	339	298	27	336
CAN 5	1,07	38,82	4,94	53	31	115	801
Média	1,29	31,79	5,50	131	174	86	609
Des_Pad	0,17	4,98	0,61	109	156	46	193

Na profundidade 20-40 cm, a tendência em estocar C não seguiu o mesmo padrão da camada de 0-20 cm, pois houve uma completa modificação. Nessa profundidade, o uso que estocou mais carbono foi o CAF (37,87 Mg C ha⁻¹), sendo que, na profundidade 0-20 cm, o CAF foi o quarto a estocar mais carbono. Este fato pode estar relacionado à estabilização da MOS ao longo do tempo, já que o café trata-se de uma cultura perene. O estoque de carbono a essa profundidade, para o CAF, pode ter atingido o patamar máximo de armazenamento, ao passo que a tendência, para os próximos anos, é o equilíbrio, não sendo possível estocar mais C que o atual.

Tabela 23: Estoques de C, densidade, pH e granulometria das áreas de café (CAF) para as profundidades 0-20 e 20-40 cm.

Café (0-20 cm)	Densidade (g cm⁻³)	Carbono (Mg C ha⁻¹)	pH	Areia Grossa (g kg⁻¹)	Areia fina (g kg⁻¹)	Silte (g kg⁻¹)	Argila (g kg⁻¹)
CAF 1	1,17	47,29	5,06	30	47	387	536
CAF 2	1,23	39,49	6,16	204	145	57	593
CAF 3	1,10	50,00	5,57	52	73	23	852
CAF 4	1,67	43,66	5,91	375	349	60	215
CAF 5	1,16	41,01	5,71	16	23	296	664

Média	1,27	44,29	5,68	135	127	165	572
Des_Pad	0,21	3,90	0,37	137	118	148	208
Café (20-40 cm)							
CAF 1	1,12	39,39	5,07	22	35	319	623
CAF 2	1,81	36,14	5,10	200	140	48	612
CAF 3	1,13	32,74	5,71	51	74	57	819
CAF 4	1,46	29,74	5,31	331	361	4	303
CAF 5	1,13	37,98	5,36	11	18	343	628
Média	1,33	37,87	5,31	123	126	154	597
Des_Pad	0,27	3,43	0,23	124	125	146	166

A CAN passou do segundo uso a estocar mais C (na profundidade 0-20 cm) para o quinto na profundidade 20-40 cm. Essa ocorrência pode estar atrelada à implantação recente das áreas de CAN em substituição às áreas de pastagens, como já mencionado anteriormente. Sabendo-se que o sistema radicular das pastagens permite que o C seja estocado até profundidades superiores, pode-se deduzir que, anterior à implantação das áreas de cana-de-açúcar, estas eram cobertas por pastagem, e pode-se concluir ainda, que tais pastagens não apresentavam sistema de manejo adequado, por isso, valores de estoque de C inferiores na profundidade de 20-40 cm (31,79 Mg C ha⁻¹), quando comparados com o PDI (35,34 Mg C ha⁻¹) e o CAF (37,87 Mg C ha⁻¹) na mesma profundidade. Esse fato pode ser comprovado, comparando a PME com a PDE na profundidade 20-40 cm, em que a PME é o terceiro maior uso a estocar C no solo, enquanto a PDE é apenas o quinto uso a estocar C.

Nos dizeres de Andrade et al. (2005), quando as taxas de mineralização e a erosão no topo do solo são altas, há uma limitação da incorporação do C subsuperficial, que é o processo associado com favoráveis condições do *turnover* biológico.

Para D' Andréia et al., (2004), apenas no plantio direto os resultados (média de 40,30 Mg ha⁻¹) foram mais marcadamente diferentes dos reportados por Corazza et al. (1999) (47,35 Mg ha⁻¹ na camada de 0–20 cm). Os valores de estoque de C apresentados por Freitas et al. (2000)

e Freixo et al. (2002), na região do Cerrado, foram, em termos absolutos, mais distantes dos obtidos por D' Andréia.

Surpreendente foi constatar que a média do estoque de carbono do CER foi muito inferior a quase totalidade dos usos, com exceção à PDE na profundidade 0-20 cm. Ficou evidente que sistemas de manejo menos perturbados apresentaram tendência em armazenar mais C orgânico no solo que a área utilizada como referência (CER). Essa observação se aplica às áreas de cultivo $CAI=49,64 \text{ Mg C ha}^{-1}$, $PDI=48,48 \text{ Mg C ha}^{-1}$, $CAF=44,29 \text{ Mg C ha}^{-1}$ e $CAN=48,73 \text{ Mg C ha}^{-1}$ e a $PME=43,92 \text{ Mg C ha}^{-1}$, que apresentaram valores similares de estoque de C, o que pode ser atribuído à alta produção de biomassa presente nessas culturas associadas a fertilidade dos latossolos (ANDRADE et al., 2005).

No caso específico da CAI^{14} e do PDI, verificou-se a maior eficiência do sistema em acumular C no solo quando comparado ao CER. A permanência dos resíduos culturais na superfície, a rotação de culturas e o não revolvimento do solo favorecem a agregação e a proteção da MOS contra a mineralização (SÁ et al., 2001, apud SIQUEIRA NETO, 2006). Além disso, maiores valores de carbono, em todas as profundidades, podem ser observados em decorrência da queda de folhas e material vegetal na superfície, e também da ausência de revolvimento, o que contribui para a manutenção de carbono orgânico no sistema.

Siqueira Neto (2006) informou que nas áreas sob plantio direto, onde o revolvimento do solo é mínimo, a distribuição do carbono no perfil do solo tende a voltar às características originais semelhantes à vegetação nativa. O revolvimento do solo na camada superficial destrói os agregados que protegem a MOS e favorece a oxidação química e biológica do C que será obtido na forma de CO_2 (FELLER, BEARE, 1997 apud SIQUEIRA NETO, 2006).

¹⁴ Vale lembrar que as áreas ocupadas por CAI também adotam o sistema de plantio direto.

É importante destacar que os altos valores observados podem ocorrer também por influência do pouco tempo dessas culturas. FAO (2009) inferiu que, à medida que o tempo de implantação das culturas aumenta, há uma tendência de estabilização do estoque de C. Siqueira Neto (2006) avaliou que o período de 12 anos é tempo suficiente para recuperar a MOS do plantio direto.

O fato de o estoque de C de determinada área, na profundidade 20-40 cm, ser semelhante ao do sistema de referência (CER) pode ser explicado pela estabilização ou perdas muito pequenas de C orgânico (D'Andréia et al., 2004). Ao analisar as médias dos estoques de C para a área da pesquisa (Tabela 16), percebe-se que apenas o REF (29,79 Mg C ha⁻¹) e a PDE (27,51 Mg C ha⁻¹) apresentaram estoques de C similares ao sistema de referência CER (26,80 Mg C ha⁻¹), ainda que ligeiramente superiores. Sendo assim, é possível concluir que o estoque de C do uso da terra que mais se aproximou da vegetação natural foi o REF (Tabela 24), seguido da PDE, embora o último refletindo perdas, ainda que pequenas, de carbono orgânico do solo em relação ao sistema de referência (CER).

O estoque de carbono, nas áreas de reflorestamento, esteve pouco acima dos valores encontrados no CER (Tabela 17), e vai ao encontro dos resultados observados por outros autores. A explicação para estes resultados pode estar no fato de essas áreas serem mais antigas, associadas ao não revolvimento do solo, e a incorporação da matéria orgânica, ao longo do tempo, indica um possível equilíbrio no estoque de carbono nessas áreas, assemelhando-se aos do CER.

Tabela 24: Estoques de C, densidade, pH e granulometria das áreas de reflorestamento (REF) para as profundidades 0-20 e 20-40 cm.

Reflorestamento (0-20 cm)	Densidade (g cm⁻³)	Carbono (Mg C ha⁻¹)	pH	Areia Grossa (g kg⁻¹)	Areia fina (g kg⁻¹)	Silte (g kg⁻¹)	Argila (g kg⁻¹)
REF 1	1,20	33,39	4,31	460	273	75	192
REF 2	0,99	44,97	4,66	78	45	75	803
REF 3	0,94	33,72	4,61	159	55	115	671
REF 4	0,83	39,65	4,72	49	27	108	816
REF 5	1,09	42,19	4,19	35	37	178	750
Média	1,01	38,78	4,50	156	87	110	646
Des_Pad	0,13	4,59	0,21	158	93	38	233
Reflorestamento (20-40 cm)							
REF 1	1,12	22,41	4,58	336	333	25	306
REF 2	1,16	37,20	4,44	336	333	25	306
REF 3	1,10	29,15	4,68	139	54	31	776
REF 4	0,97	27,14	4,6	42	21	166	771
REF 5	1,07	29,07	4,81	30	29	38	903
Média	1,08	28,99	4,62	177	154	57	612
Des_Pad	0,06	4,78	0,12	136	147	55	255

Rangel e Silva (2007) afirmaram que o aumento do estoque de C em solos submetidos a sistemas mais conservacionistas de manejo pode ser consequência de dois fatores principais: proteção física dos compostos orgânicos contra a decomposição microbiana, favorecida pela oclusão do C nos agregados do solo; e proteção química dos compostos orgânicos por meio da interação destes com os minerais e cátions do solo, o que dificulta a sua decomposição.

Freitas et al. (2000), a despeito dos baixos valores observados no CER, disseram ser explicados pela antropização da área sob Cerrado, onde o nível de restituição orgânica é inferior àquela com vegetação protegida, e pela sistemática restituição de resíduos ao solo nas situações sob culturas anuais e pousio.

5.3.2 Comparação do potencial de sequestro de carbono dos diferentes tipos de uso com a vegetação nativa (Δ EstC)

Mais informativa que os valores absolutos de estoque de C é a variação dos valores médios deles em relação ao Cerrado nativo (Δ EstC), conforme visualização do Gráfico 2. Esse

parâmetro permite avaliar se o solo está armazenando ou emitindo C-CO₂ para atmosfera (FORTIN et al., 1996; BAYER et al., 2000; ROCHA, 2000 apud NEVES et al., 2004).

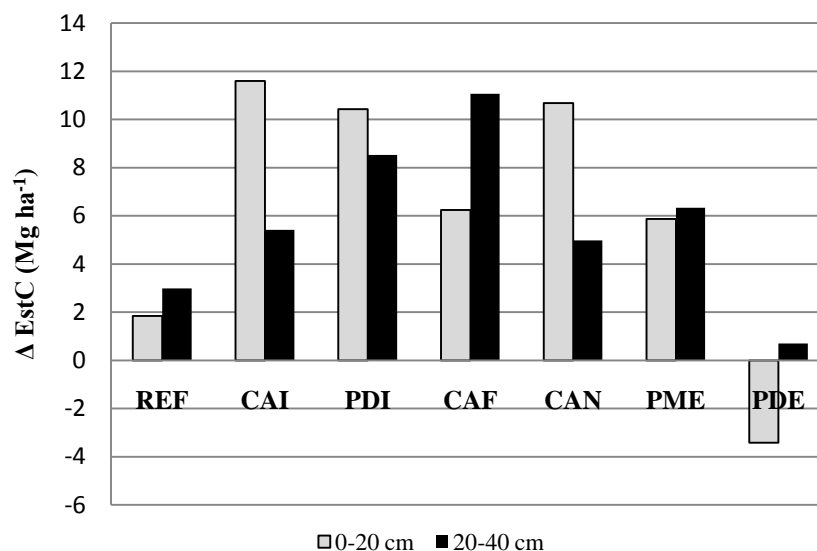


Gráfico 2: Δ EstC para os diferentes usos da terra presentes na bacia do Rio Araguari para as profundidades 0-20 cm e 20-40 cm

Tabela 25: Taxa de adição ou perda de C dos diferentes usos em relação a vegetação natural (CER)

Usos da terra avaliados	Profundidade	
	Taxa de adição ou perda de C (Mg C ha ⁻¹)	
	0-20 cm	20-40 cm
Reflorestamento (REF)	1,85	2,99
Cultura Anual Irrigada (CAI)	11,60	5,41
Plantio Direto (PDI)	10,43	8,53
Café (CAF)	6,25	11,06
Cana-de-açúcar (CAN)	10,68	4,98
Pastagem Melhorada (PME)	5,87	6,34
Pastagem Degradada (PDE)	-3,42	0,70

Com esse objetivo, compararam-se os estoques totais de C existente no CER, que representa a vegetação nativa, com os outros usos da terra analisados (REF, CAI, PDI, CAF, CAN, PME, PDE). Conforme apresentado na Tabela 25, verifica-se que a quantidade de C na PDE (0-20

cm) foi substancialmente menor do que em CER, indicando perda de C. Pode-se considerar que, à profundidade 0-20 cm, a PDE atuou como fonte de C-CO₂ à atmosfera.

A ocupação do solo por atividades agrícolas sem preparo (CAI, PDI e CAN) aponta que pode ocorrer recuperação e até mesmo acumulação de C superior à da vegetação nativa. Os resultados obtidos indicam uma tendência consistente com a proposta de Lal et al. (1995) apud Corazza et al., (1999), bem como por Rangel e Silva (2007), ou seja, sistemas de manejo não perturbados podem acumular mais C.

Os usos que mais armazenaram C no solo (0-20 cm), em comparação à vegetação natural, foram em ordem decrescente: a CAI com 11,60 Mg C ha⁻¹, seguida do PDI com 10,43 Mg C ha⁻¹, CAN 10,68 Mg C ha⁻¹, PME com 5,87 Mg C ha⁻¹ e REF com 1,85 Mg C ha⁻¹. Como dito anteriormente, a esta profundidade, a PDE atuou como emissor de C-CO₂ (-3,42 Mg C ha⁻¹).

Os solos sob condições em que a vegetação natural mantém-se preservada, por si só, possui potencial de sequestro de C pelos solos. Contudo, se comparar os dados do CER com os demais usos da terra, verifica-se que o CER possui potencial mais elevado em estocar C apenas quando comparado à PDE, pois este último foi o único uso a registrar valores inferiores aos do CER (profundidade 0-20 cm).

A análise do Gráfico 2 permite inferir que grande parte dos usos presentes na bacia do Rio Araguari comportaram-se como seqüestradores de C orgânico no solo, quando comparados com a vegetação natural de Cerrado (CER). Na profundidade 0-20 cm, alguns usos demonstraram potencial muito superior que outros, é o caso, por exemplo, da CAI, PDI e CAN, quando comparados com o CAF, PME e REF em ordem decrescente. À profundidade de 20-40 cm, todos os usos atuam como seqüestradores de C no solo, inclusive, a PDE, que à profundidade 0-20 cm, é o único emissor de C.

Como mencionado, apenas na PDE os valores de Δ EstC são negativos em 0-20 cm, com tendência de acúmulo de C, embora de maneira muito discreta, na profundidade de 20-40 cm.

A CAI e a CAN apresentaram as maiores amplitudes entre as duas profundidades analisadas (Gráfico 2). A explicação para a CAN expor diferença tão significativa, entre as duas profundidades, pode estar associada à incorporação de C remanescente das antigas culturas, na profundidade 0-20 cm (fato sugerido por Freixo et al., 2002 apud D'Andréia et al. 2004). Isso porque durante a preparação do canavial, são abertos sulcos para o plantio das mudas, que podem variar de 20 a 30 cm de profundidade. Em relação à CAI, pode ser atribuída à rotação de culturas e à alta produção de resíduos incorporados ao solo.

Apenas a PME e o CAF apresentaram valores de Δ EstC mais elevados, à medida que se aumentou a profundidade (20-40 cm). No que concerne à PME, verificou-se uma estimativa pouco superior de Δ EstC à profundidade 20-40 cm, quando comparada à 0-20 cm. Para o CAF, o Δ EstC registrado, foi muito discrepante, ao se comparar as duas profundidades, o que pode ser explicado a partir do pressuposto de que o preparo profundo do solo, no histórico de manejo dessas culturas, bem como a incorporação de resíduos da cultura, a utilização de corretivos e adubos permite maior proteção da MOS à proporção que aumenta a profundidade.

Reid e Goss (1980) apud D' Andréia et al. (2004) relataram que o sistema radicular da *Brachiaria*, além de abundante e volumoso, apresenta contínua renovação e elevado efeito rizosférico (REID; GOSS, 1980 apud D' ANDRÉIA, 2004).

Nos dizeres de Freixo et al. (2002) apud D' Andréia et al. (2004), a pastagem é considerada eficiente na manutenção do C orgânico no solo e, mesmo em situações de cultivo convencional implementado em área previamente ocupada por pastagens, pode existir, ainda,

uma grande influência da matéria orgânica oriunda da gramínea, o que ajuda a explicar a maior resistência do plantio convencional em perder C orgânico.

A introdução de culturas ou de pastagens exerceu, para esta pesquisa, efeito positivo nos estoques de C das camadas de 0-20 cm e 20-40 cm, atuando como seqüestradores de C-CO₂. A sensível diferença observada concerne a uma diminuição de apenas 8,98% do estoque de C, na camada 0-20 cm sob PDE em relação ao CER.

A presente pesquisa confirmou o que Freitas et al. (2000) mostraram, que as pastagens cultivadas e bem manejadas podem manter o nível do estoque orgânico nas camadas superficiais, equivalente ao estoque sob vegetação natural correspondente.

5.4.3 Correlação entre o estoque de carbono e as variáveis físico-químicas do solo

A densidade, em geral, aumenta com a profundidade do perfil devido às pressões exercidas pelas camadas superiores, provocando a compactação e reduzindo a porosidade. A movimentação de material fino dos horizontes superiores (eluviação) também contribui para a redução dos espaços porosos elevando a densidade aparente dessas camadas (CERRI et al., 2006). Esta característica foi observada apenas para o CER, REF e CAF (Tabela 26), em que a profundidade 0-20 cm foi ligeiramente superior à camada mais profunda. Os dados de densidade do solo variaram entre 1,01 a 1,33 g cm⁻³ para os diferentes usos da terra na bacia do Rio Araguari, sendo o valor mais baixo notado no REF e o mais alto na CAN.

Uma baixa densidade em solos sob vegetação de Cerrado é consequência da grande quantidade de liteira, raízes e alto teor de C (CERRI et al. 2006). Esta característica pode ser

estendida ao REF e ao CAF, sistemas que apresentam elevado aporte de resíduos a serem depositados no solo (Gráfico 3).

Tabela 26: Média das densidades dos diferentes usos da terra presentes na bacia do Rio Araguari

Usos	Densidade (g cm^{-3})	
	0-20 cm	20-40 cm
CER	1,18	1,24
REF	1,01	1,08
CAI	1,10	1,09
PDI	1,17	1,14
CAF	1,26	1,33
CAN	1,33	1,28
PME	1,32	1,28
PDE	1,27	1,26

Cerri et al. (2006) mencionaram que a densidade do solo aumenta em áreas plantadas, provavelmente por conta da utilização de maquinário agrícola, comprovando o que foi registrado nas áreas de CAN, PME, PDE, PDI e CAI, em ordem decrescente para as duas profundidades analisadas. Todavia, percebeu-se que as áreas de CAI, PDI, CAN, PME e PDE fugiram ao princípio de que a densidade do solo aumenta com a profundidade, pois apresentaram valores mais elevados nos 20 cm iniciais, quando comparados com a profundidade que vai de 20-40 cm. Mesmo que insignificantes, estes valores podem estar associados ao fato de que as áreas de cultura sofrem interferência do maquinário agrícola, enquanto que as pastagens sofrem com o pisoteio do gado e a lotação dos animais no pasto, tornando a camada inicial mais adensada que a segunda. Com o aumento da profundidade (20-40 cm), observou-se que todos os usos, exceto CAF, mantiveram valores muito

semelhantes ao CER ($1,24 \text{ g cm}^{-3}$), sendo que diferenças perceptíveis foram notadas apenas na camada inicial.

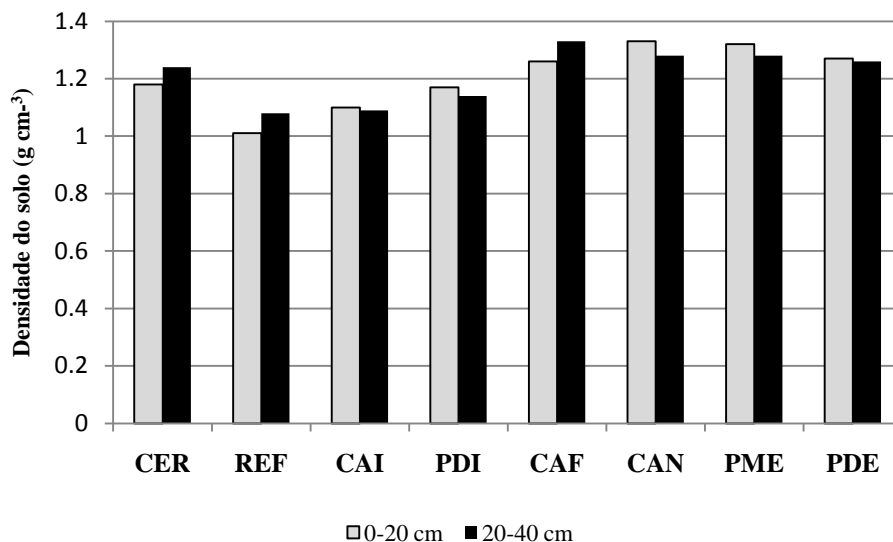


Gráfico 3: Média das densidades do solo para os diferentes usos da terra

O manejo incorreto de um solo pode provocar a sua compactação, alterando a estruturação e, portanto, a densidade aparente. Em contrapartida, o tempo de adoção do plantio direto pode promover a redução da densidade da camada superficial do solo. Siqueira Neto (2006) expôs que o período de oito anos é, atualmente, aceito como o tempo de estabilização do plantio direto no Cerrado, sendo suficiente para a melhoria deste atributo físico do solo nas condições estudadas.

Quanto maior a densidade do solo, maior será a compactação e, por conseguinte, a resistência à penetração das raízes, à infiltração de água e à aeração (REICHARDT, 1985 apud SIQUEIRA NETO, 2006, p. 65). Siqueira Neto (2006) relatou que valores de densidade que variam de $1,20 \text{ g cm}^{-3}$ a $1,30 \text{ g cm}^{-3}$ tornam-se restritivos ao desenvolvimento do sistema radicular. Esses valores foram observados para o CAF, CAN, PME e PDE.



Figura 29: Foto ilustrativa do possível efeito de aumento da densidade do solo causado pela utilização de maquinário agrícola

Autor: ROSENDO (2009)

A Tabela 27 apresenta os índices de correlação calculados para a média dos estoques de C com relação aos valores médios de densidade, pH, teor de areia, silte e argila, bem como umidade presente no solo.

Nas áreas de CER, constatou-se uma correlação altamente positiva entre o estoque de C e os teores de argila na profundidade 0-20 cm. Com relação à densidade, esta foi alta e negativamente correlacionada com o estoque de C, ou seja, as variáveis são inversamente proporcionais, à medida que ocorre o aumento no estoque de C, a densidade diminui nas duas profundidades de análise. Este é o comportamento esperado da densidade, quando correlacionada ao estoque de C.

Freitas et al. (2000) ressaltaram o papel da argila na estruturação do solo e na proteção da MOS contra a decomposição em sistemas que apresentem ausência de revolvimento. O Gráfico 4 representa os valores médios dos teores de argila para os usos da terra analisados nesta pesquisa.

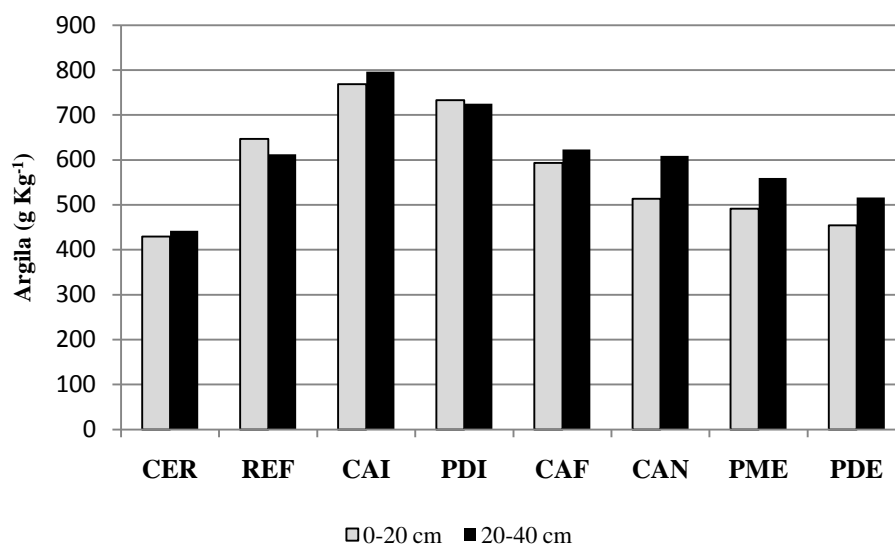


Gráfico 4: Média dos teores de argila apresentados pelos diferentes usos da terra na bacia do Rio Araguari-Mg

A análise dos resultados permitiu concluir que a textura argilosa do solo, em alguns usos, pode ser considerada como fator determinante para dificultar as perdas de C orgânico.

As áreas ocupadas com o REF, na profundidade 0-20 cm, apresentaram índice de correlação positivo e razoável com o teor de argila (0,710073). Para o CAF, na profundidade 20-40 cm, o índice de correlação calculado foi altamente positivo e diretamente proporcional com o teor de argila (0,912965). Tanto o REF (0-20 cm) quando o CAF (20-40 cm) apresentaram, para as variáveis argila e estoque de C, valores diretamente proporcionais, sendo assim, à medida que aumenta o teor de argila aumenta também o estoque de C.

A CAN e a PME apresentaram o mesmo padrão dos índices de correlação para a profundidade 0-20 cm, em que o teor de argila e o estoque de C estão alta e diretamente correlacionados

(CAN=0,951692 e PME= 0,752373), embora tenham apresentado índice de correlação altamente negativo da densidade com o estoque de C (CAN= -0,822210 e PME= -0,869280).

Nas áreas ocupadas pela CAN, PME e PDE, a densidade e o carbono estão negativamente correlacionados (-0,822210, -0,869280 e -0,755780, respectivamente para 0-20 cm). Esta relação inversamente proporcional supõe que, à medida que se aumenta a densidade do solo, ocorre a diminuição do estoque de C. Contudo, essa premissa não é totalmente válida para a CAN, pois o estoque de C, na profundidade 0-20 cm, foi um dos mais elevados. Neste caso, outros fatores devem ser levados em consideração, como a pouca idade de implantação dessas áreas e a incorporação dos resíduos das culturas anteriores à formação do canavial.

O pH em água expôs correlação negativa com o CER nas duas profundidades de análise, confirmando que o aumento da MOS e a decomposição dos resíduos na superfície do solo promoveram redução no pH do solo (SEEBER et al., 2006 apud SIQUEIRA NETO, 2006). As demais áreas conferiram baixos valores de correlação, isto devido à correção do solo ser realizada com aplicação de calcário, desta forma, sendo um fator independente dos teores de C do solo.

A análise da Tabela 27 revela que, à profundidade 0-20 cm, apenas a CAI e o PDI apresentaram correlação negativa da argila com o estoque de C. Nesse caso, podemos concluir que a argila não possuiu influência na manutenção do C nos solos desses usos, e que os valores elevados de estoque de C apresentados pela CAI (49,64 Mg C ha⁻¹) e PDI (48,48 Mg C ha⁻¹) são consequência do manejo do solo nestas culturas, ou seja, o sistema de plantio direto. Nota-se que todos os outros usos mostraram correlação positiva do estoque de C com a argila.

Tabela 27: Coeficiente de correlação dos estoques de carbono dos usos da terra presentes na bacia do Rio Araguari com a densidade, pH, areia grossa, areia fina, silte, argila e umidade, para as profundidades 0-20 e 20-40 cm

Teor carbono	Profundidade	Densidade	pH	Areia Grossa (g kg ⁻¹)	Areia fina (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	Umidade (%)
CER	0-20	-0,701440	0,803730	-0,958120	-0,624420	0,551897	0,956845	0,917484
	20-40	-0,756930	-0,092330	-0,640460	-0,029990	0,160321	0,401332	0,450311
REF	0-20	-0,233070	0,123498	-0,729270	-0,618260	0,204421	0,710073	0,741933
	20-40	0,391647	-0,396430	0,151669	0,146176	-0,198530	-0,122220	0,591533
CAI	0-20	0,637318	-0,800930	-0,768560	-0,350230	0,472871	-0,452800	0,850606
	20-40	-0,384070	-0,083550	-0,183470	0,066791	-0,181680	0,193332	-0,036740
PDI	0-20	0,576965	-0,806870	0,934042	0,418523	-0,539200	-0,323400	-0,825550
	20-40	-0,013290	-0,273550	0,737470	0,126915	0,438720	-0,797940	-0,749070
CAF	0-20	-0,244200	-0,700270	-0,329420	-0,188730	0,002504	0,325386	0,545545
	20-40	-0,616280	0,530950	-0,817050	-0,769800	0,286685	0,942965	0,929491
CAN	0-20	-0,822210	0,618393	-0,656250	-0,890280	0,859773	0,951692	0,999623
	20-40	-0,437690	-0,619520	-0,115600	-0,462120	0,460352	0,330157	0,281920
PME	0-20	-0,869280	-0,420680	-0,483040	-0,940290	0,807998	0,752373	0,836472
	20-40	-0,338730	0,698780	-0,306140	-0,788410	0,630112	0,630112	0,508227
PDE	0-20	-0,755780	-0,908140	-0,634490	-0,287890	0,283569	0,571925	0,616116
	20-40	-0,328590	-0,814250	-0,499720	-0,247730	0,475294	0,405137	0,316957

6. UTILIZAÇÃO DO MODELO CENTURY NA SIMULAÇÃO DO CARBONO SOB DIFERENTES USOS NA BACIA DO RIO ARAGUARI

6. UTILIZAÇÃO DO MODELO CENTURY NA SIMULAÇÃO DO CARBONO SOB DIFERENTES USOS NA BACIA DO RIO ARAGUARI

No capítulo a seguir, são apresentados os resultados da utilização do modelo Century para simulação do carbono orgânico total (COT) até o ano 2009. Além disso, são testados cenários de substituição de culturas e seu impacto nos teores de COT até o ano 2100. O principal objetivo deste capítulo é avaliar a utilização do modelo Century na simulação da dinâmica do COT do solo para algumas áreas testes presentes na bacia do Rio Araguari-MG. Os objetivos específicos apresentados são:

- Avaliar a utilização do modelo Century, versão 4.5, na modelagem do C para algumas áreas testes, são elas cerrado, pastagem melhorada, pastagem degradada e cana-de-açúcar;
- Comparar os estoques de C medidos e simulados pelo Century para as áreas testes;
- Avaliar o cenário vislumbrado dos estoques de C a partir da continuidade no manejo de uso observado nas áreas de pastagem melhorada, pastagem degradada e cana-de-açúcar tal como foi do ano 2009 até o ano 2100, conforme simulação;
- Simular o estoque de C a partir da conversão das áreas de pastagem degradada por pastagem melhorada do ano 2009 até 2100;
- Simular a substituição das áreas de pastagem degradada e melhorada por cana-de-açúcar no período entre os anos 2009 a 2100;

O detalhamento da metodologia empregada e a discussão dos resultados são apresentados na sequência.

6.1 Material e Métodos

6.1.1 Localização da área de estudo e amostragem

A modelagem no Century foi realizada em quatro áreas e usos diferentes: cerrado (CER), pastagem melhorada (PME), pastagem degradada (PDE) e cana-de-açúcar (CAN), respeitando-se os critérios de tipo de solo e declividade semelhantes. A modelagem nestes usos deu-se em virtude dos seguintes fatores:

- O Cerrado (CER), por ser a vegetação típica presente na área da bacia, sua modelagem torna-se fundamental. É utilizado como vegetação de referência na determinação do impacto da substituição da vegetação natural por áreas agrícolas, ou seja, o ponto de partida para avaliação do estoque ou perda de C pelas culturas agrícolas analisadas;
- As pastagens melhorada (PME) e degradada (PDE), por ocuparem grande parte da área total da bacia do Rio Araguari, o que as torna uma das principais atividades econômicas dos municípios inseridos na área de pesquisa;
- A cana-de-açúcar (CAN), por ser uma cultura recentemente inserida na área de pesquisa (a partir do ano 2007), estimulada pela expansão do setor sucroalcooleiro. Além disso, verifica-se que a instalação dos canaviais ocorre em áreas previamente ocupadas por pastagens. Dessa forma, é de suma importância que sejam analisados os impactos desta substituição nos teores de COT.

As áreas escolhidas para modelagem no Century estão localizadas próximas à divisa dos municípios de Uberlândia e Uberaba (entre as coordenadas 19°0'11" e 19°13'14" de latitude sul e 48°07'45 e 48°19'16" de longitude oeste) e fazem parte do conjunto de algumas subamostras descritas no Capítulo 5. Como exemplo, destaca-se a PME que corresponde à

PME4 (Tabela 14), a PDE à PDE2 (Tabela 15), a CAN à CAN4 (Tabela 13) e o CER ao CER5 (Tabela 17).

A escolha das subamostras para modelagem no Century foi norteada pelos seguintes parâmetros: que os usos modelados possuíssem localização próxima e que o estoque de C, avaliado em cada área, fosse similar à média dos estoques avaliados no Capítulo 5. Assim, para a modelagem do CER, optou-se por utilizar a amostra correspondente ao CER5, cujo estoque de 37,41 Mg C ha⁻¹ aproxima-se da média para o CER (38,05 Mg C ha⁻¹). A PME4 possui estoque de C de 44,89 Mg C ha⁻¹, enquanto que a média para a PME foi de 43,92 Mg C ha⁻¹. A maior diferença verificada entre a amostra individual e a média é verificada na CAN e PDE, em que a CAN4 possui estoque de C de 43,93 Mg C ha⁻¹ (a média das áreas de CAN é de 48,73 Mg C ha⁻¹), enquanto que, a PDE2 com estoque de C de 39,47 Mg C ha⁻¹ (a média para a PDE é de 34,63 Mg C ha⁻¹).

Tabela 28: Médias de temperatura e precipitação para o município de Uberlândia-MG

Meses	Precipitação (mm)*	Temperatura (°C)**	Temperatura Média Mensal Mínima (°C)**	Temperatura Média Mensal Máxima (°C)**
Janeiro	312,5	23,6	19,7	29,1
Fevereiro	201,1	23,7	19,5	29,7
Março	217,3	23,5	19,5	29,3
Abril	84,7	22,9	18,5	29,1
Mai	38,9	20,7	15,7	27,4
Junho	15,9	19,5	14,4	26,6
Julho	9,3	19,6	14,1	27,0
Agosto	14,1	21,3	15,5	29,0
Setembro	52,0	23,0	17,4	30,1
Outubro	111,8	24,1	19,0	30,6
Novembro	203,0	23,6	19,2	29,5
Dezembro	324,2	23,4	19,4	8,9
Média	1584,8	22,7	17,65	27,19

* (Médias mensais referentes ao período que vai de 1981 a outubro de 2009)

** (Médias mensais referentes ao período que vai de 1981 a outubro de 2009)

A temperatura média anual é de 22,7° C e a precipitação média anual é de aproximadamente 1585 mm (Tabela 28). Destaca-se um período seco de maio a setembro e um período chuvoso de outubro a abril, sendo o Cerrado, a vegetação nativa. A Tabela 29 apresenta os tipos de solo encontrados nas áreas testes, bem como os teores de areia, argila, silte, densidade e pH utilizados no Century.

Tabela 29: Características das áreas testes utilizadas para modelagem no Century

Usos	Tipo de solo	Teores de Areia (g Kg ⁻¹)	Teores de Argila (g Kg ⁻¹)	Silte (g Kg ⁻¹)	Densidade (g Kg ⁻¹)	pH
CER	LV*	629	343	28	1,11	4,61
PME	LV*	391	491	100	1,33	5,94
PDE	LV*	533	379	88	1,28	4,93
CAN	LVA**	642	318	40	1,70	5,85

* Latossolo Vermelho (LV)

** Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)

As amostras de solo foram obtidas durante trabalho de campo realizado em 18 de junho de 2009, à profundidade de 0-20 cm, por ser esta a permitida pelo modelo Century para simulações. Cada amostra composta foi obtida a partir de cinco amostras simples para cada uma. Os resultados da textura foram obtidos conforme metodologia de Embrapa (1997) e o Carbono Orgânico Total (COT) foi determinado por combustão via úmida (YEOMANS; BREMNER, 1988), como anteriormente detalhado no Capítulo 5.

6.2 Resultados e Discussão

6.2.1 Calibração do modelo

Foi realizado o histórico de uso das áreas testes (PME, PDE e CAN) desde o ano 1973 até o ano 2009, a partir da interpretação visual de imagens Landsat. Foram localizadas imagens desde o ano 1973, do sensor MSS/Landsat2, até o ano 2009, do sensor TM/Landsat5. Após

pesquisa ao site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), as imagens que pertencem à órbitas/pontos 237/73 (MSS/Landsat2) e 221/73 (TM/Landsat5), foram georreferenciadas e interpretadas visualmente para, em seguida serem identificadas as modificações ao longo do período analisado. Para garantir maior confiabilidade no resultado do histórico identificado a partir da interpretação das imagens de satélite, foi realizado um trabalho de campo, em setembro de 2009, com destino às áreas previamente selecionadas com objetivo de ratificar o que (não) fôra interpretado em laboratório.

O campo foi uma etapa indispensável, pois alguns dados só foram adquiridos a partir da entrevista aos proprietários das áreas selecionadas para modelagem (Anexo 1), como por exemplo, a informação de que após o desmatamento do Cerrado, naquela época, década de 1970 e 1980, ocorria o plantio de arroz antes da introdução da pastagem. O proprietário da PDE, cuja família foi também proprietária, por muito tempo, da área onde se encontra a CAN, forneceu dados importantes sobre o manejo, utilização do fogo e implantação de culturas na área no decorrer dos anos. O contato do proprietário da área de PME foi localizado com auxílio do funcionário que se encontrava no local e, a partir daí, realizou-se a coleta das informações via telefone.

A simulação para os diferentes usos foi iniciada com os dados gerados pela simulação de equilíbrio da vegetação natural. Para a simulação de equilíbrio, escolhemos uma amostra de Cerrado que apresentasse estoque de C similar ao valor médio da vegetação natural (38,05 Mg C ha⁻¹). Dessa forma, para gerar o arquivo correspondente ao equilíbrio do Cerrado, optamos por utilizar a amostra CER5, cujo estoque de C corresponde a 37,41 Mg C ha⁻¹. Os valores estimados pelo modelo para os usos simulados foram comparados com os observados em campo a partir das análises de COT realizadas em laboratório. Dessa forma, foi possível testar a validade das simulações realizadas até o ano 2009. Parte-se do pressuposto que o modelo está validado, pois se alcançou valores próximos aos observados em campo.

Quadro 15: Histórico de uso das áreas utilizadas para modelagem no Century

Tipo de uso	Sequências de manejo e uso
Cerrado	Até 2009 – Cerrado
Pastagem Melhorada	Até 1977 – Cerrado 1978 – Desmatamento (retirada da madeira, limpeza da área com uso do fogo e plantio de arroz) 1979 a 2001 – Pastagem Braquiária (não realizou melhorias, fogo accidental) 2002 a 2005 – Soja (área arrendada) 2006 a 2009 – Pastagem Braquiária (calagem, gradagem, adubação com 4-14-8 + zinco) Houve queimada accidental certo ano
Pastagem Degradada	Até 1984 – Cerrado 1985 – Desmatamento (retirada da madeira, limpeza da área com uso do fogo e plantio de arroz) 1986 a 2009 – Pastagem braquiária (não realiza melhorias e há relato da utilização de fogo)
Cana-de-açúcar	Até 1984 – Cerrado 1985 – Desmatamento (retirada da madeira, limpeza da área com uso do fogo e plantio de arroz) 1986 a 2006 – Plantio convencional de soja/milho 2007 a 2009 – Cana-de-açúcar

Na bacia do Rio Araguari-MG, a vegetação original foi substituída principalmente pela agricultura e pastagens, sendo este último, o uso predominante na área. Para verificar os possíveis efeitos das mudanças de uso da terra no estoque de C, foram realizadas as seguintes simulações: a primeira considerou a existência do Cerrado por um período longo, estabelecido em 10000 anos (WENDLING, 2007), de forma a se obter, através do modelo, o seu estado de equilíbrio. Os valores obtidos com relação às diferentes frações de C no solo serviram como variáveis de entrada para as outras simulações que envolveram mudanças no uso da terra. Simularam-se, então, condições em que houve o corte da vegetação natural, queima da vegetação remanescente e introdução de novas culturas, tomando-se como base o histórico de uso levantado para as outras áreas, conforme apresentado no Quadro 15.

6.2.2 Dados de entrada no modelo Century

Para modelagem da dinâmica do C no Century, é necessário um conjunto mínimo de variáveis locais de entrada, que são divididas em variáveis climáticas, de solo e planta, obtidas da seguinte forma:

- Precipitação mensal e temperatura média mensal (máxima e mínima): utilizou-se a média mensal calculada a partir de dados diários obtidos pela estação meteorológica do Instituto de Geografia da UFU, gentilmente cedidos pelo Laboratório de Climatologia da Universidade Federal de Uberlândia. Estes dados são incluídos no arquivo de dados locais (SITE.100) do modelo Century (Anexo 3);
- Granulometria do solo (areia, silte e argila): foram utilizados os dados da análise granulométrica realizados pelo método descrito em EMBRAPA (1997), nas amostras de solo coletadas na área da bacia nos tipos de solo Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo;
- Valores de pH: foram determinados em água, conforme metodologia descrita em EMBRAPA (1997);
- Densidade do solo: foi obtida a partir da metodologia do anel volumétrico, conforme detalhado no Capítulo 5;
- Teor de lignina das plantas: foram utilizados os valores padrões do modelo (arquivo CROP.100) para as culturas utilizadas na simulação.

A parametrização do modelo Century foi testada, tomando-se como base a área de vegetação natural presente na bacia em análise. Foram realizadas simulações de equilíbrio das reservas

de matéria orgânica do solo por um longo período de tempo com manejo constante e na condição inicial da área, para que todas as variáveis de saída do modelo se estabilizassem.

Os dados de entrada utilizados no modelo foram as variáveis do local (temperatura média mensal máxima e mínima - Tabela 28), precipitação mensal (Tabela 28), textura do solo, densidade e pH (Tabela 29). Dessa forma, após a parametrização com dados de clima e solo, o modelo Century foi executado por um período de 10.000 anos, na condição de Cerrado, a fim de se alcançar a estabilização de todas as variáveis de saída do modelo. Só a partir da geração do equilíbrio foi possível a simulação da dinâmica do C do solo para os diferentes usos (PME, PDE e CAN) e períodos analisados.

O modelo Century possui vários arquivos que permitem ao usuário modificações de valores de *default*. No caso da vegetação nativa, foi alterado o parâmetro PRDX (2) do arquivo TREE.100 do modelo (Anexo 4). Este parâmetro indica o potencial máximo de adição mensal de C pela parte aérea da vegetação em questão. Quando não ocorrerem limitações ao crescimento vegetal, pode ser modificado pelo usuário para aproximar os valores simulados dos reais (METHERELL et al. 1993). Outro parâmetro modificado foi o PS2S3(1), que controla o fluxo da matéria orgânica do solo com intermediário *turnover* (compartimentos lento e passivo). Os valores utilizados no arquivo de equilíbrio constam no Anexo 5.

A partir da análise da Tabela 30, verificou-se a precisão do modelo em simular o COT para os usos da terra. Na condição de Cerrado, o valor estimado pelo modelo para o COT foi de 37,24 Mg C ha⁻¹, enquanto que o valor medido em campo foi de 37,41 Mg C ha⁻¹. O modelo também se mostrou eficiente na simulação dos outros usos, apresentando valores simulados muito próximos aos medidos.

Tabela 30: Valores medidos e simulados para o COT em áreas de Cerrado (CER), pastagem melhorada (PME), pastagem degradada (PDE) e cana-de-açúcar (CAN) na bacia do Rio Araguari-MG

Usos	COT medido 2009 (Mg ha ⁻¹)	COT simulado 2009 (Mg ha ⁻¹)
CER	37,41	37,24
PME	44,89	42,27
PDE	39,47	37,86
CAN	43,93	44,87

A análise dos dados medidos e simulados permite concluir que o Century está apto para modelagem de cenário futuros específicos para carbono, uma vez que os valores de COT foram muito semelhantes aos observados nas análises de solo. Desse momento em diante, supôs-se que o modelo pode presumir o comportamento do COT no decorrer dos anos (até 2100) de acordo com o uso e manejos adotados em cada área teste.

O COT pode ser calculado pelo Century através do somatório dos compartimentos de solo: ativo, lento e passivo (variável de saída SOMSC) ou através dos compartimentos de solo mais os compartimentos de planta: metabólico e estrutural (variável de saída: SOMTC).

Neste trabalho, simulou-se os teores totais de C, considerando um sistema solo-planta nas condições de vegetação natural, pastagem degradada e melhorada e cana-de-açúcar. De acordo com Silveira et al. (2000), os dados climáticos e a textura do solo são os que promovem alterações relevantes nas simulações. Das variáveis de saída oferecidas pelo modelo, algumas fundamentais foram selecionadas para serem analisadas e discutidas nas simulações:

- som1c(2): carbono ativo na matéria orgânica do solo em (g/m²);
- som2c: carbono no compartimento lento da matéria orgânica do solo (g/m²);

- som3c: carbono no compartimento passivo da matéria orgânica do solo (g/m^2);
- somsc: carbono orgânico total obtido através da soma do C ativo, lento e passivo.

Para maiores informações sobre o funcionamento do modelo Century, bem como seus submodelos, equações, pressupostos e a maneira como os coeficientes foram determinados podem ser obtidos detalhadamente em sua publicação original (Parton et al., 1987), bem como em Metherell et al. (1993) e Leite e Mendonça (2003).

6.2.3 Simulação do cenário atual (2009)

Partindo do pressuposto que o modelo está validado, pois os estoques de COT simulados para o momento presente (2009) foram similares aos observados em campo, procedeu-se a simulação dos cenários futuros. A simulação para cada uso se deu a partir do arquivo de equilíbrio do CER (Anexo 5). A Tabela 31 apresenta os valores determinados pela simulação do Century para os compartimentos Ativo, Lento e Passivo.

Tabela 31: Valores simulados para o COT, C Ativo, Lento e Passivo em áreas de Cerrado (CER), pastagem melhorada (PME), pastagem degradada (PDE) e cana-de-açúcar (CAN) na bacia do Rio Araguari-MG

Usos	C simulado (Mg C ha^{-1}) em 2009			
	COT	C Ativo	C Lento	C passivo
CER	37,25	0,35	2,91	33,99
PME	42,27	0,24	5,82	36,21
PDE	37,86	0,28	1,79	35,79
CAN	44,87	0,43	7,86	36,58

Wendling (2007) mencionou que a derrubada do Cerrado e preparo do solo para implantação das culturas permite considerável aumento para os compartimentos de C ativo e lento. A observação do Gráfico 5 mostra este pico de aumento no COT para a PME, enquanto no Gráfico 7 e Gráfico 8 é possível visualizar os dados da PDE e CAN, respectivamente, os quais refletem a dinâmica dos comportamento mais lábeis (ativo e lento), uma vez que o C passivo de diferentes culturas (Gráfico 15 a Gráfico 17) não apresentou essa tendência (WENDLING, 2007).

O mencionado aumento ocorre, pois, com a derrubada do Cerrado, são retirados apenas os materiais vegetais de maior diâmetro, sendo o restante dos resíduos depositados na superfície (galhos finos, folhas e serrapilheira) e incorporados ao perfil do solo. Wendling (2007) ressaltou ainda que, no ano seguinte, os teores de C Ativo e Lento voltam a diminuir devido ao efeito da decomposição desse material, que é acelerada pelo revolvimento do solo para implantação das culturas.

Apesar do cultivo agrícola sob plantio convencional não ser realizado na bacia do Rio Araguari-MG, atualmente (2009), verificou-se, durante a elaboração do histórico de uso das áreas modeladas, a sua utilização nos períodos que se estenderam de 2003 a 2005 (área ocupada pela PME) e de 1986 a 2006 (área da CAN). Dessa forma, para a verificação dos dados modelados pelo Century, foram utilizados os dados mensurados por D' Andréa et al. (2004) que mensuraram estoque de C para culturas sob plantio convencional de longa duração de 34,06 Mg C ha⁻¹ e estoque de C sob plantio convencional recente após pastagem com estoque de 37,66 Mg C ha⁻¹.

A aferição do Gráfico 5 (PME) permite visualizar o estoque de C simulado em cerca de 39,50 Mg C ha⁻¹ para área sob plantio convencional após pastagem, no período que vai de 2003 a 2005, uma diferença de apenas 1,84 Mg C ha⁻¹ dos valores alcançados por D' Andréa et al.

(2004) para o plantio convencional. Neste período, foi cultivada soja sob plantio convencional na área, o que explicaria o aumento do estoque de C de 2003 a 2006, quando torna a aumentar depois de retomado o cultivo da pastagem *Brachiaria*.

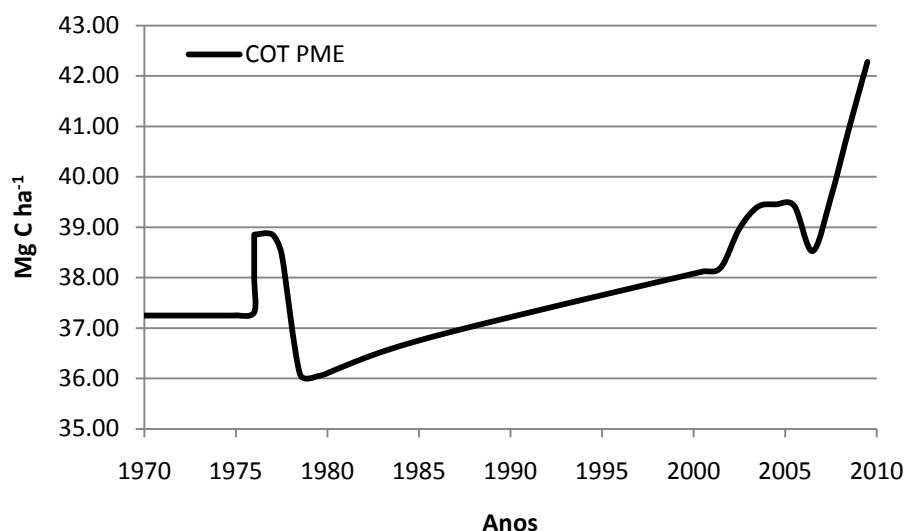


Gráfico 5: Variação do estoque de COT na pastagem melhorada (PME) na bacia do Rio Araguari-MG

Os resultados do balanço de C obtidos pelo cálculo das diferenças de estoque de C entre a vegetação natural (CER) e os outros usos, ou seja, ΔEstC (Gráfico 6), mostraram que houve acúmulo de 7,48 Mg C ha⁻¹ para a PME, 2,06 Mg C ha⁻¹ para a PDE e 6,52 Mg C ha⁻¹ para a CAN.

Tabela 32: Estimativa da taxa de adição anual de C dos diferentes usos em relação a vegetação natural (CER) até o ano 2009

Usos	COT medido 2009 (Mg ha ⁻¹)	ΔEstC (Mg ha ⁻¹)	Tempo de implantação da cultura (anos)	Taxa de adição anual de COT* (Mg ha ano ⁻¹)
CER	37,41	-	-	-
PME	44,89	7,48	3	2,49
PDE	39,47	2,06	23	0,09
CAN	43,93	6,52	2	3,26

* Calculada a partir do ΔEstC dividido pelo tempo (anos) de implantação das culturas

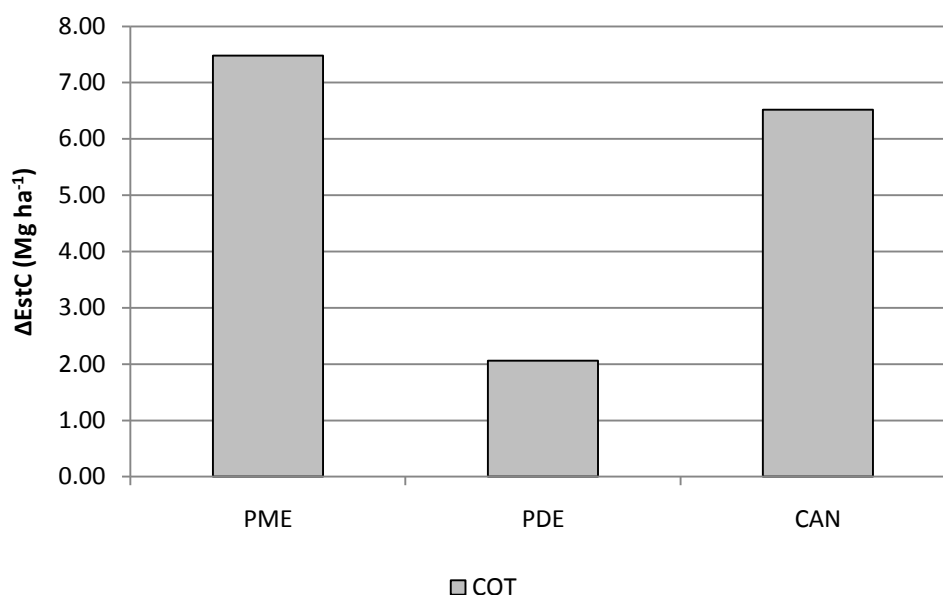


Gráfico 6: ΔEstC dos usos da terra em relação a vegetação natural de cerrado

Ao dividir o ΔEstC pelo tempo de implantação de cada cultura, obtém-se a taxa de adição ou de perda anual de COT. Os resultados demonstraram que a PME (Gráfico 5) e a PDE (Gráfico 7) apresentaram tendência de aumento de COT desde o ano em que as áreas foram desmatadas (1978 e 1984, respectivamente) até o ano 2009, a uma taxa média de incremento anual de C no solo de cerca de 2,49 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ para a PME e 0,09 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ para a PDE (Tabela 32). A área ocupada pela CAN (Gráfico 8) apresentou adição anual de C de 3,26 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹. É importante destacar o pouco tempo de implantação da PME e CAN (3 e 2 anos, respectivamente) e que as elevadas taxas de adição podem sofrer influência do cultivo recente.

Independente do sistema de manejo, fica evidente o potencial das pastagens em manter ou melhorar o estoque de C no solo (Gráfico 6). Em 2009, a PME apresentou 7,48 Mg C ha⁻¹ a mais que o CER, ao passo que a PDE, embora o acúmulo tenha sido baixo, também manteve a tendência em estocar C desde 1986, período de implantação, até 2009, em que 2,06 Mg C ha⁻¹

foi armazenado em um solo que não contou com nenhum tipo de manejo. Este fato pode ser comprovado pela visualização do Gráfico 7.

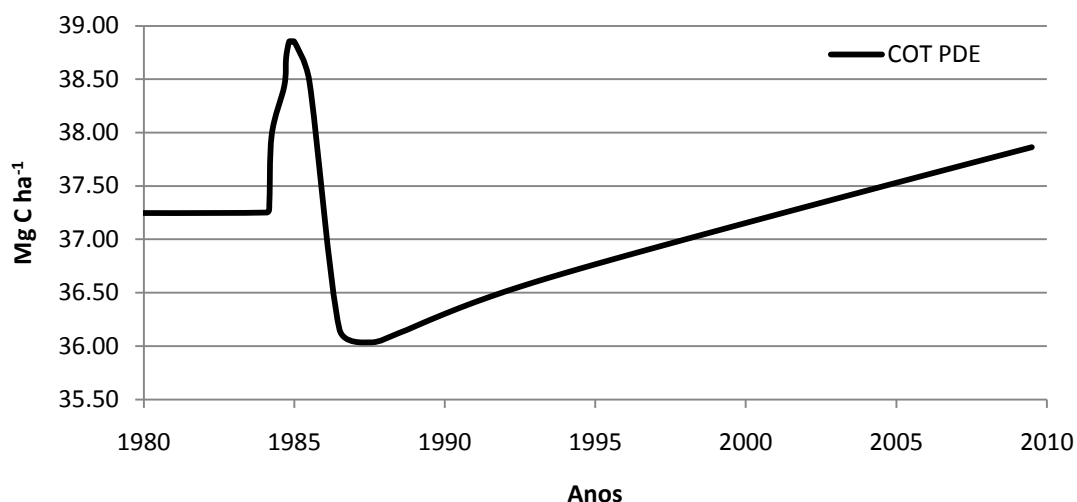


Gráfico 7: Variação do estoque de COT na pastagem degradada (PDE) na bacia do Rio Araguari-MG

A área ocupada, em 2009, pela CAN foi, por 20 anos (1986 a 2006), destinada ao cultivo de soja e milho sob plantio convencional. Nota-se que, de acordo com os dados apresentados na modelagem realizada pelo Century (Gráfico 8), durante o período de cultivo da soja e milho, o COT variou de 36,35 Mg (1986) C ha⁻¹ a 40,33 Mg C ha⁻¹ (2006). Dessa forma, ao se comparar os estoques de C do CER com os estoques destas culturas, constata-se uma adição de 3,98 Mg C ha⁻¹ ao final do período de 20 anos (COT apresentado pelo Century para a soja e milho em 2006 subtraído do COT medido para o CER). Vale destacar que as cifras relacionadas às datas anteriores a 2009 referem-se a dados obtidos pelo modelo Century.

Dessa forma, ao citarmos os dados de estoque de C sob plantio convencional avaliados por D' Andréa et al. (2004), ou seja, 34,06 Mg C ha⁻¹ para o plantio convencional de longa duração, bem como aqueles ponderados por Corazza et al. (1999), que atingiram 37,34 Mg C ha⁻¹ para plantio convencional com arado de disco, e 36,51 Mg C ha⁻¹ sob grade pesada, ou então os

48,29 Mg C ha⁻¹ constatados por Wendling (2007), percebemos a simulação realizada para a CAN, no tocante ao período que não foi medido em campo (de 1986 a 2006), está em conformidade com os dados apresentados pelos diferentes pesquisadores mencionados anteriormente, pois os dados aqui simulados assemelham-se aos valores observados na literatura para o plantio convencional, ou seja, quase 37,00 Mg C ha⁻¹ em 1986, e cerca de 40,00 Mg C ha⁻¹ em 2006. Dessa forma, é possível concluir que o Century estimou corretamente a variação do COT ao longo do período analisado.

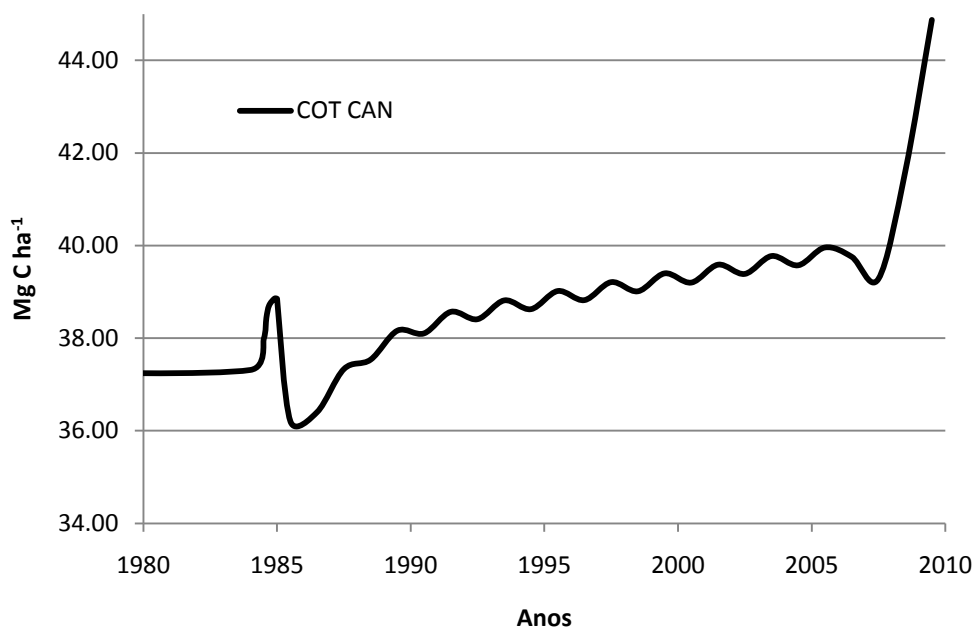


Gráfico 8: Variação do estoque de COT na cana-de-açúcar (CAN) na bacia do Rio Araguari-MG

Tabela 33: Porcentagem dos compartimentos Ativo, Lento e Passivo com relação ao COT dos usos da terra em 2009

Usos	C simulado (Mg Cha ⁻¹)				
	COT	% C Ativo	% C Lento	% C Passivo	% COT
CER	37,25	0,94	7,81	91,25	100
PME	42,27	0,57	13,77	85,66	100
PDE	37,86	0,74	4,73	94,53	100
CAN	44,87	0,96	17,52	81,52	100

O C Ativo representa a fração de carbono mais lábil no solo, ou seja, aquela que é de fácil degradação. Nesta fração, estão a biomassa microbiana, os resíduos vegetais degradados predominantemente por processos físicos e algumas substâncias de fácil decomposição, tais como ácidos orgânicos, amidos, proteínas, etc. Sendo assim, esta fração é a que está no solo em menor quantidade porque é facilmente degradada (LOPES, 2006).

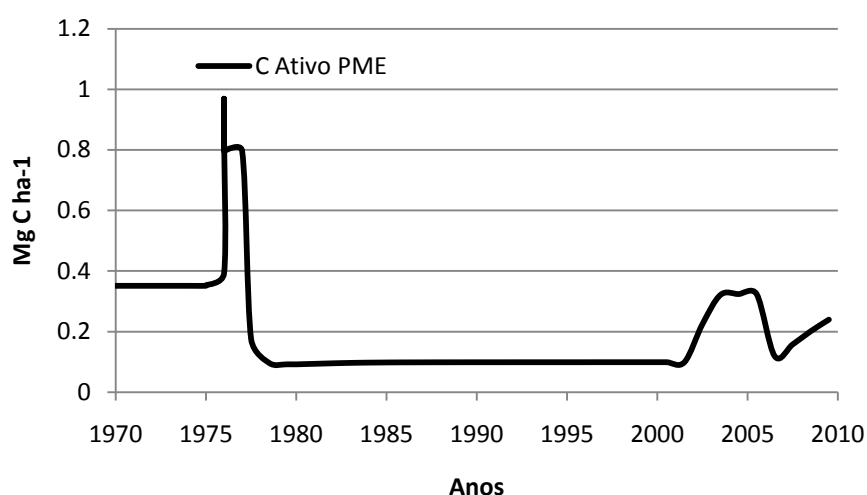


Gráfico 9: Variação do estoque de C Ativo na pastagem melhorada (PME) na bacia do Rio Araguari-MG

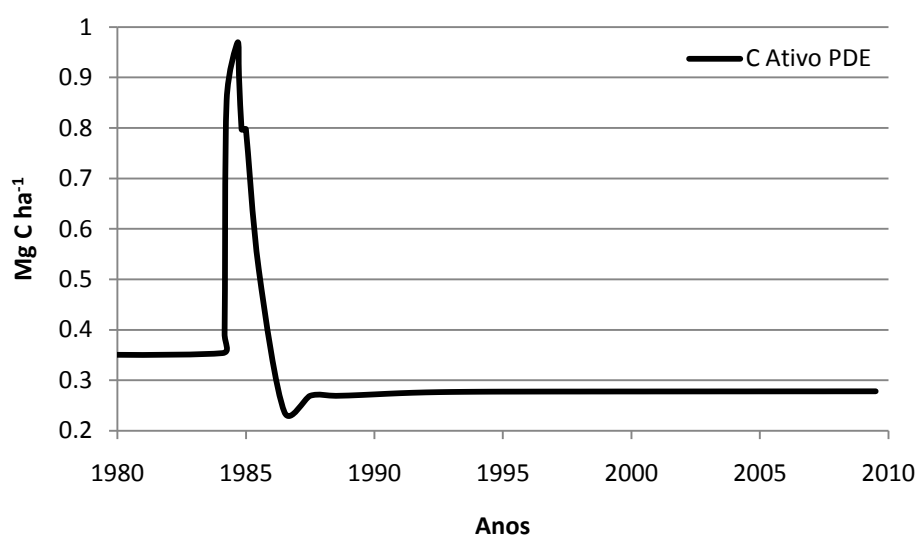


Gráfico 10: Variação do estoque de C Ativo na pastagem degradada (PDE) na bacia do Rio Araguari-MG

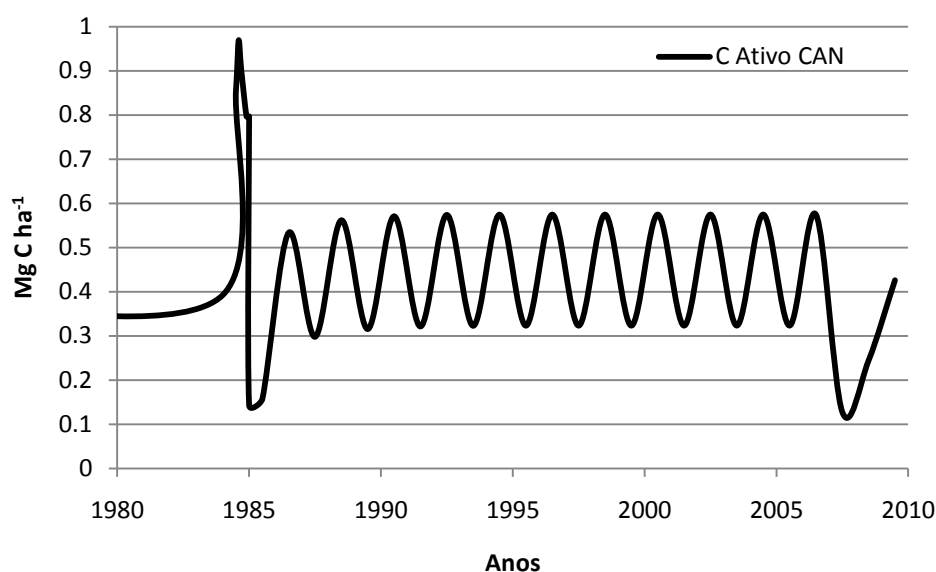


Gráfico 11: Variação do estoque de C Ativo na cana-de-açúcar (CAN) na bacia do Rio Araguari-MG

Com relação ao compartimento Ativo, a PME e a PDE apresentaram valores inferiores aos do CER (Tabela 33), indicando um possível distúrbio nessas áreas. No caso da PME, tal distúrbio pode ter sido ocasionado por fogo accidental, pois a entrada de material vegetal não comprometeu os compartimentos Lento e Passivo. A PDE apresentou valores inferiores ao CER também no compartimento Lento, esse fato pode estar associado ao sobrepastejo, processos erosivos, e ainda o baixo teor de argila do solo sob a gramínea.

O carbono lento permanece por mais tempo no solo, por isso o valor observado para esta fração é maior em todos os usos. Neste estágio, o carbono passa a interagir mais com a matriz do solo, e passa a receber proteção física e química, o que permite sua acumulação no solo. Além disto, esta fase é mais estável, pois já está em grande parte decomposta e protegida dentro dos agregados (LOPES, 2006).

O modelo Century foi capaz de simular o rápido aumento no carbono seguido de diminuição nos estoques Ativo e Lento do solo, nas áreas em que ocorreram preparo para implantação de novas culturas, como foi observado na PME em 2002, quando ocorreu a implantação de soja, e novamente em 2006 quando houve o plantio da pastagem (conforme pode ser notado no

Gráfico 9 e Gráfico 12), e, na CAN, em 2007, substituindo a rotação das culturas de soja e milho (Gráfico 11 e Gráfico 14). Para o C Passivo, o efeito dessas substituições foi menos perceptível.

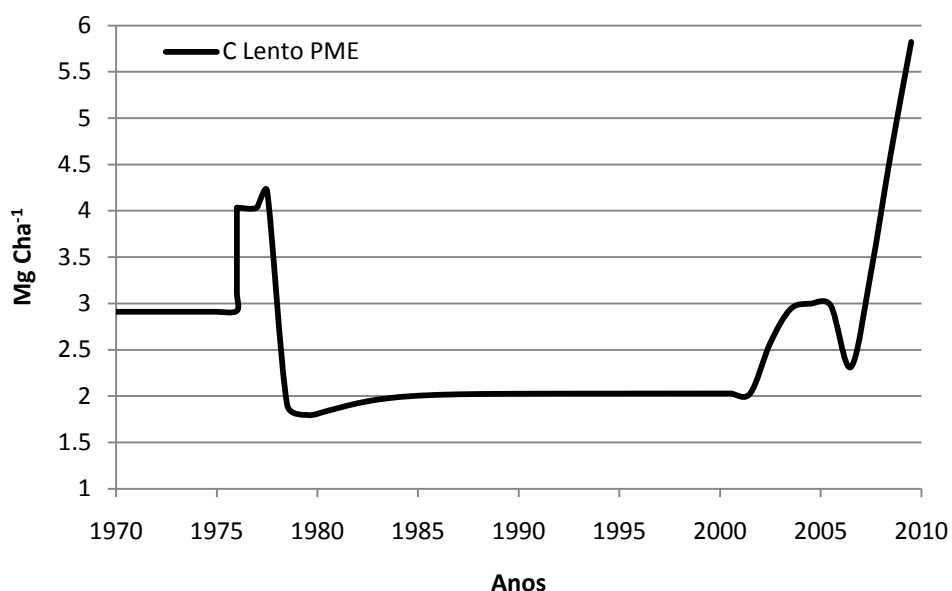


Gráfico 12: Variação do estoque de C Lento na pastagem melhorada (PME) na bacia do Rio Araguari-MG

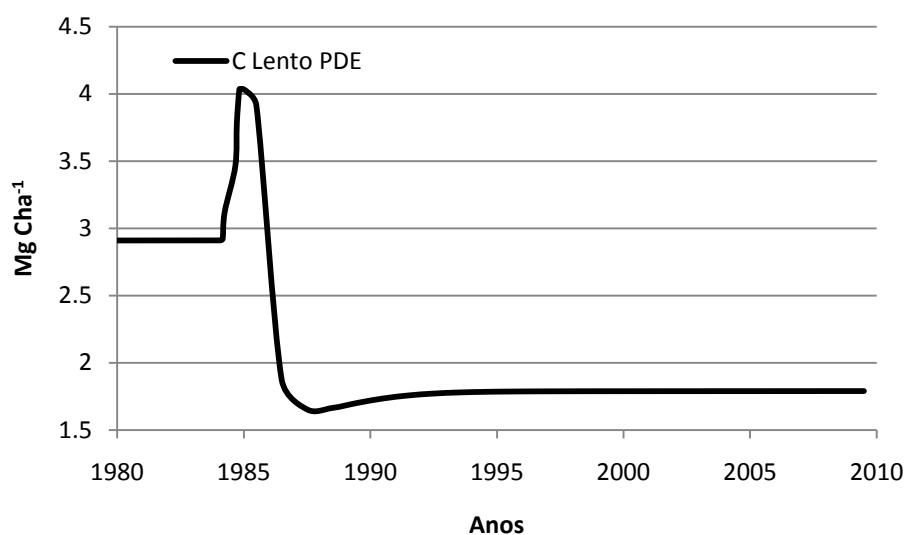


Gráfico 13: Variação do estoque de C Lento na pastagem degradada (PDE) na bacia do Rio Araguari-MG

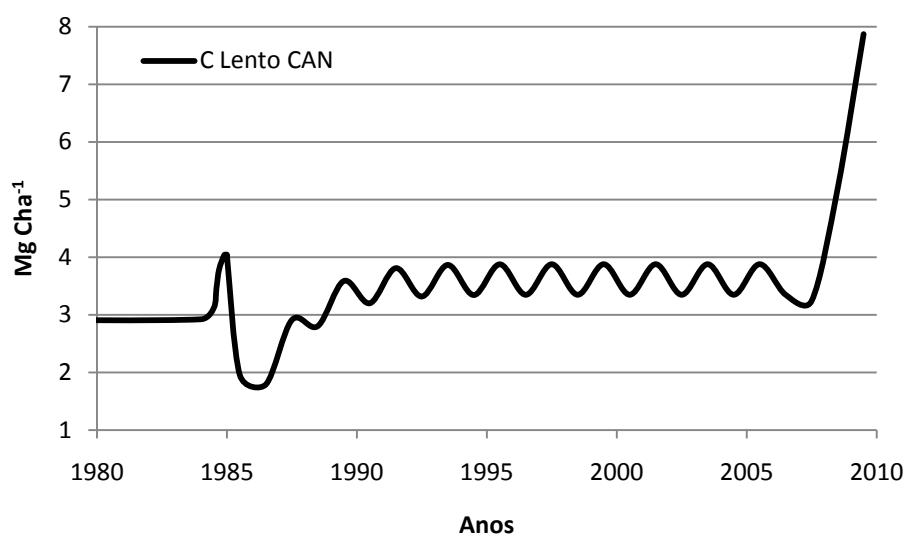


Gráfico 14: Variação do estoque de C Lento na cana-de-açúcar (CAN) na bacia do Rio Araguari-MG

O carbono passivo representa a fração de carbono que permanece no solo devido, principalmente, à interação com minerais e a mecanismos de recalcitrância relacionados com as moléculas presentes nos resíduos. Quanto maior for o conteúdo de elementos de difícil degradação, como ligninas e ceras, na vegetação que dá origem a MOS, maior será o conteúdo de C passivo no solo, bem como, solos argilosos ricos em óxidos de ferro com elevada área superficial para proteção coloidal. Esta fração é importante porque permanece por muito tempo no solo, chegando a marca de 2000 anos (LOPES, 2004).

Este comportamento pode dificultar o entendimento da dinâmica do carbono sob diferentes sistemas de manejo, pois esta fração chega a apresentar 50% do COT do solo segundo o padrão do modelo Century (FERNANDES, 2002 apud LOPES, 2006). Assim, se a simulação inicial não for bem ajustada e conduzida, podem ocorrer erros na interpretação dos valores observados quando o solo é utilizado para a agricultura, pois pode não ocorrer diferenças entre os sistemas de manejo convencional e aqueles de caráter conservacionista devido a elevada permanência do carbono passivo que estará embutido no COT. O carbono passivo também é muito influenciado pelo tipo de vegetação, solo e clima. Áreas sob clima temperado

tendem a apresentar valores maiores de carbono passivo e o clima mais ameno reduz a taxa de decomposição do carbono, permitindo assim, maior acúmulo (FERNANDES, 2002 apud LOPES, 2006).

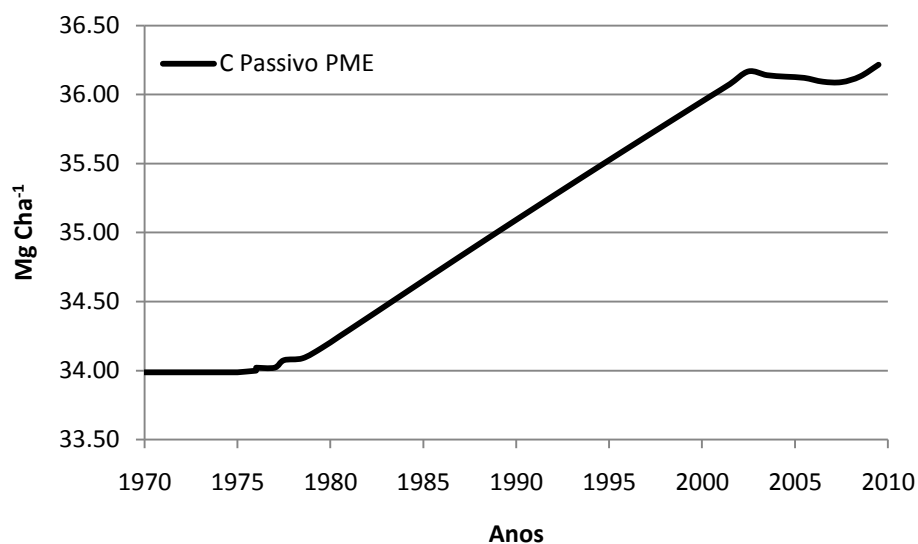


Gráfico 15: Variação do estoque de C Passivo na pastagem melhorada (PME) na bacia do Rio Araguari-MG

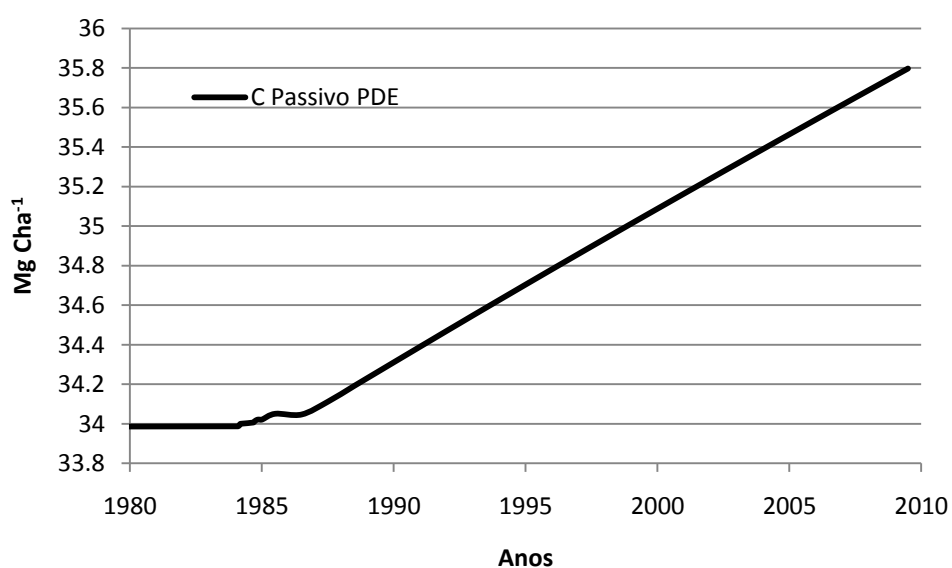


Gráfico 16: Variação do estoque de C Passivo na pastagem degradada (PDE) na bacia do Rio Araguari-MG

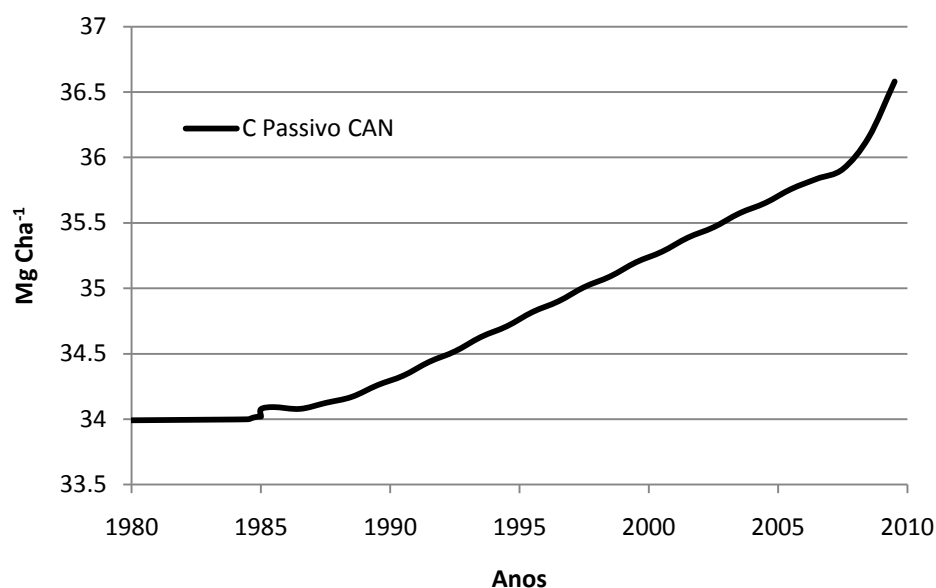


Gráfico 17: Variação do estoque de C Passivo na cana-de-açúcar (CAN) na bacia do Rio Araguari-MG

Os gráficos que ilustram o C passivo representam o que foi mencionado anteriormente, ou seja, que ocorrem poucas oscilações dos teores de C nesse compartimento. Na PME, verifica-se um leve declínio a partir do ano 2006, como consequência da substituição da cultura anterior. O gráfico 12 revela o breve aumento no C Passivo da CAN após o desmatamento da área em 1984 e um discreto aumento no C Passivo após a implantação da CAN em 2007.

6.2.4 Simulação dos cenários futuros

A partir dos dados das condições atuais parametrizados, os modelos de simulação permitem prognosticar condições futuras de estoques de C, caso sejam mantidos ou modificados o atual sistema de manejo e culturas adotadas.

Para a finalização desta etapa de trabalho, foram simulados seis cenários conforme o manejo e uso observados na pastagem melhorada (PME), pastagem degradada (PDE) e cana-de-açúcar (CAN), em que:

- A continuação do manejo observado nas áreas de PME, PDE e CAN tal como realizado no momento da coleta de solo em campo em 2009 até o ano 2100;
- A conversão das áreas de pastagem degradada por pastagem melhorada a partir do ano 2010 até o ano 2100;
- A substituição das áreas ocupadas pela pastagem degradada e melhorada por cana-de-açúcar a partir do ano 2010 até 2100;

A simulação da continuidade do manejo na PME e PDE apresentou resultados dentro do esperado, ou seja, a PME manteve a tendência em acumular C no solo, verificada até o ano 2009, apresentando em 2100 um total de 66,99 Mg Cha⁻¹ (Tabela 34 e Gráfico 19), um incremento total de 29,58 Mg Cha⁻¹ com relação ao estoque de C mensurado em 2009.

Em relação aos resultados alcançados a partir da modelagem da PDE (Gráfico 18 e Gráfico 19) é notório o potencial da gramínea em acumular C no solo, mesmo sem manejo adequado. Ao final do ano 2100, a PDE apresentou 43,89 Mg Cha⁻¹ estocado no solo, 6,48 Mg Cha⁻¹ a mais que no início da simulação, em 2009. A modelagem da CAN simulou um incremento de 20,23 Mg C ha⁻¹ do ano 2009 até 2100, alcançando, ao final do período de 91 anos, um total de 57,64 Mg C ha⁻¹.

Tabela 34: Estimativa da taxa de adição anual de C dos diferentes usos em relação a vegetação natural (CER) para o ano 2100

Usos	COT medido 2009 (Mg ha ⁻¹)	COT simulado 2009 (Mg ha ⁻¹)	COT simulado 2100 (Mg ha ⁻¹)	Δ EstC (Mg ha ⁻¹)	Taxa de adição anual de COT* (Mg ha ano ⁻¹)
CER	37,41	37,25	-	-	-
PME	44,89	42,27	66,99	29,58	0,33
PDE	39,47	37,86	43,89	6,48	0,07
CAN	43,93	44,87	57,64	20,23	0,22
Substituição PDE por PME (2100)	-	-	66,23	28,82	0,32
Substituição PDE por CAN (2100)	-	-	58,4	20,99	0,23
Substituição PME por CAN (2100)	-	-	62,95	25,54	0,28

* Obtida pela divisão do Δ EstC pelo tempo de implantação das culturas (91 anos, contados de 2009 a 2100)

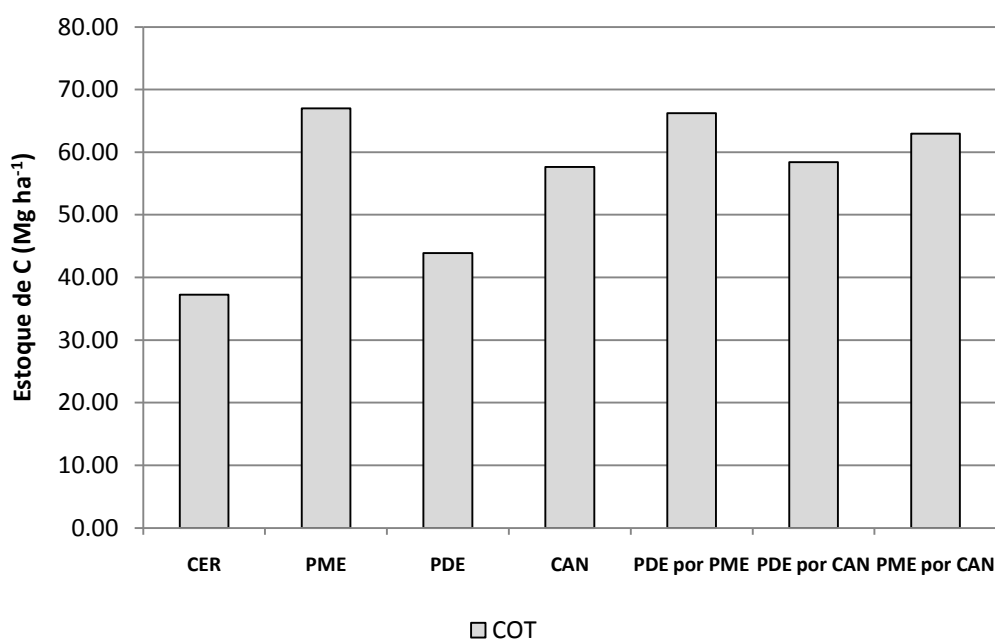


Gráfico 18: Estoque de COT nos diferentes dos usos da terra e das substituições dos usos em relação ao CER para o ano 2100

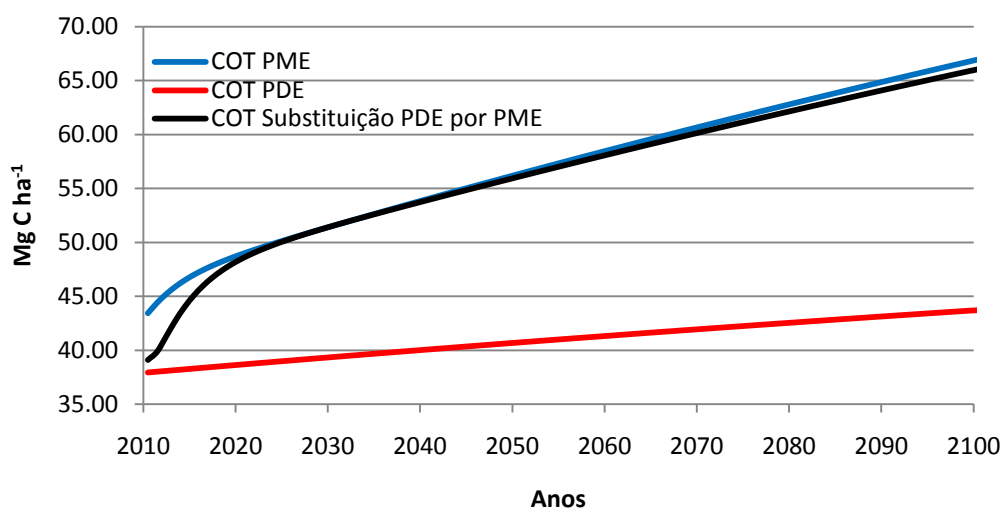


Gráfico 19: Simulação dos teores de COT na PME, PDE e o efeito da substituição no teores de COT da PDE por PME até o ano 2100

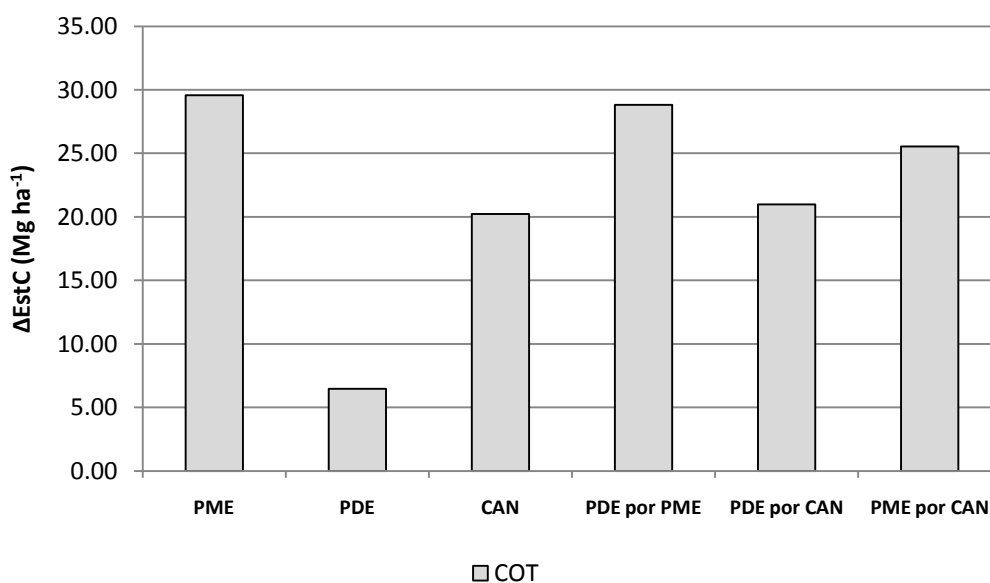


Gráfico 20: ΔEstC dos usos da terra e das substituições dos usos em relação ao CER para o ano 2100

O Gráfico 20 apresenta os resultados do balanço de C obtidos pelo cálculo das diferenças de estoque de C (ΔEstC) entre a vegetação natural e os outros usos, observa-se que o estoque de C aumentou em todos os usos avaliados, inclusive nas substituições de culturas até o ano 2100. Fica evidente que o resultado mais expressivo desse acúmulo de C ocorreu para a PME,

que em relação ao CER, armazenou 29,58 Mg ha⁻¹, a uma taxa de adição anual de C de 0,33 Mg ha ano⁻¹, seguida da substituição da PDE por PME com 28,82 Mg ha⁻¹ e taxa de adição anual de 0,32 Mg ha ano⁻¹ e da substituição da PME por CAN com acréscimo de 25,54 Mg ha⁻¹ ao final do período modelado com taxa de adição anual de C de 0,28 Mg ha ano⁻¹.

Galdos et al. (2009) explicaram que a diferença nos teores de argila dos solos simulados pode interferir nos teores de C ao final do período avaliado. Este fato pode explicar, por exemplo, a diferença existente na simulação da CAN nas áreas onde a CAN permanece até 2100, nas áreas em que a CAN substitui a PDE e nas áreas onde a CAN substitui a PME. Das três simulações realizadas, o maior estoque de C foi observado no solo sob PME em 2009, e que foi substituída pela CAN em 2100, sendo que este possui os maiores teores de argila dos solos modelados (491 g Kg⁻¹)¹⁵.

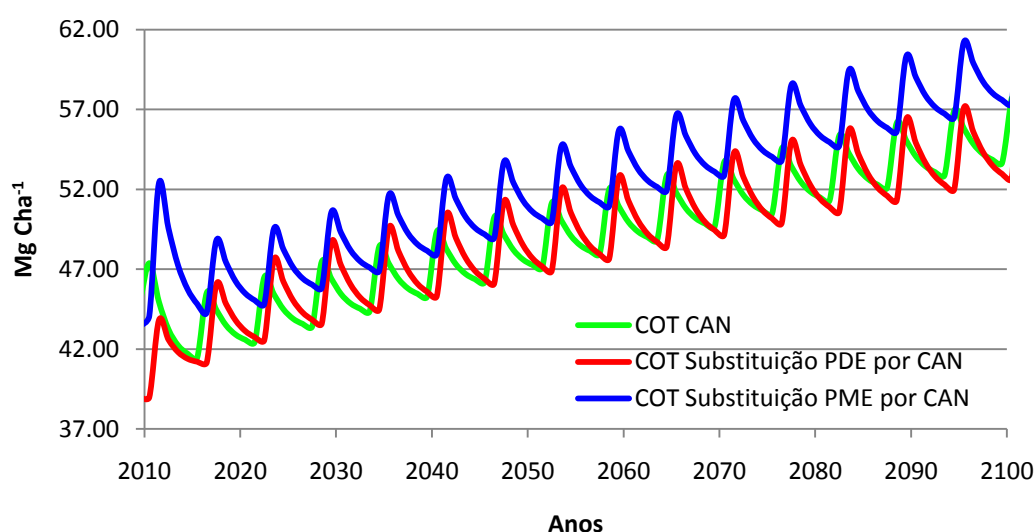


Gráfico 21: Simulação dos teores de COT na CAN e o efeito da substituição no teores de COT da PDE por CAN e PME por CAN até o ano 2100

¹⁵ Vide Tabela 29.

Com relação à substituição das pastagens melhorada e degradada por cana-de-açúcar, Galdos et al. (2009) argumentaram que a redução nos estoques de C dos solos sob cana-de-açúcar após o período de replantio são provavelmente causados pelo plantio intensivo como consequência da preparação para a safra seguinte. Observa-se, pela análise do Gráfico 21, uma elevação seguida de diminuição do COT a cada cinco anos em virtude da simulação do replantio da cana-de-açúcar repetido a cada cinco anos no modelo Century (Anexo 8).

A partir da análise do Gráfico 22, é possível concluir que o C presente no compartimento Ativo da PME e PDE permaneceu em equilíbrio ao longo do período analisado, sendo este o comportamento esperado, já que não houve substituição das culturas na área, ocorrendo fenômeno inverso quanto à substituição da PDE por PME.

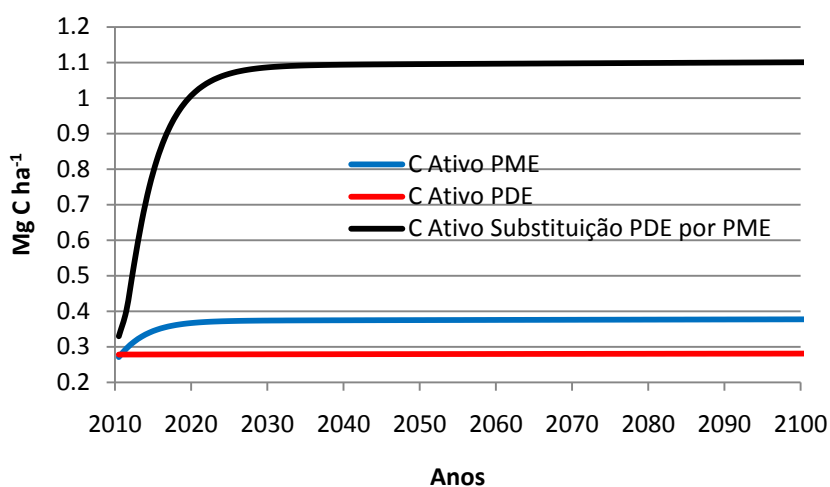


Gráfico 22: Simulação dos teores de C Ativo na PME, PDE e o efeito da substituição dos teores de COT da PDE por PME

A PME e a substituição da PDE por PME apresentaram o mesmo comportamento com relação ao C Lento. Houve acréscimo nos teores do compartimento Lento a partir do ano 2010, sendo que estes valores atingem um ponto de equilíbrio a partir de 2025. A PDE manteve os mesmos valores do início ao fim do período analisado (Gráfico 23). Embora os

compartimentos Ativo e Lento tenham sido pouco afetados, o Passivo apresentou melhora em seus estoques (Gráfico 24).

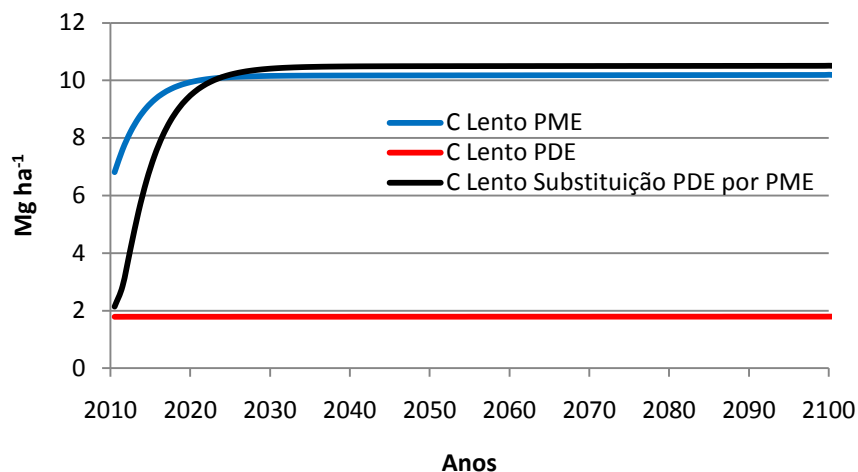


Gráfico 23: Simulação dos teores de C Lento na PME, PDE e o efeito da substituição nos teores de COT da PDE por PME

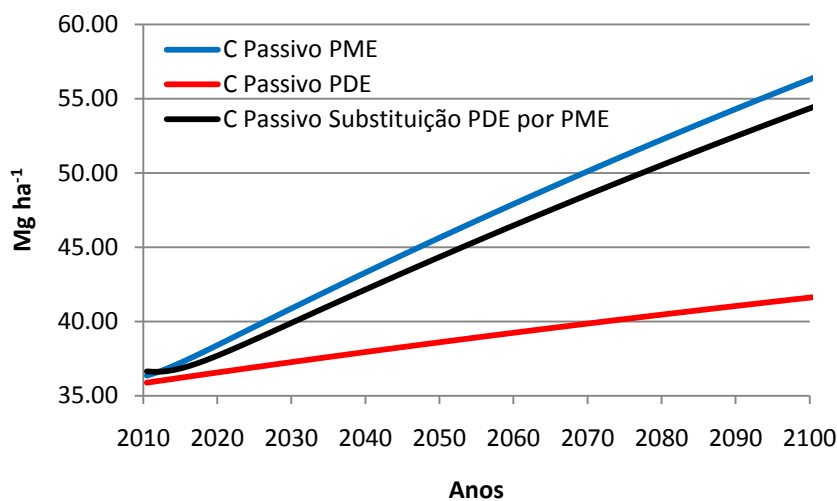


Gráfico 24: Simulação dos teores de C Lento na PME, PDE e o efeito da substituição nos teores de COT da PDE por PME

Nas áreas ocupadas pela CAN e nas áreas em que as pastagens foram substituídas pela CAN, os compartimentos Ativo (Gráfico 25), Lento (Gráfico 26) e Passivo, este último em menor

escala, apresentaram o mesmo padrão de aumento e diminuição dos estoques de COT (Gráfico 21) verificado após o replantio da cana-de-açúcar a cada cinco anos.

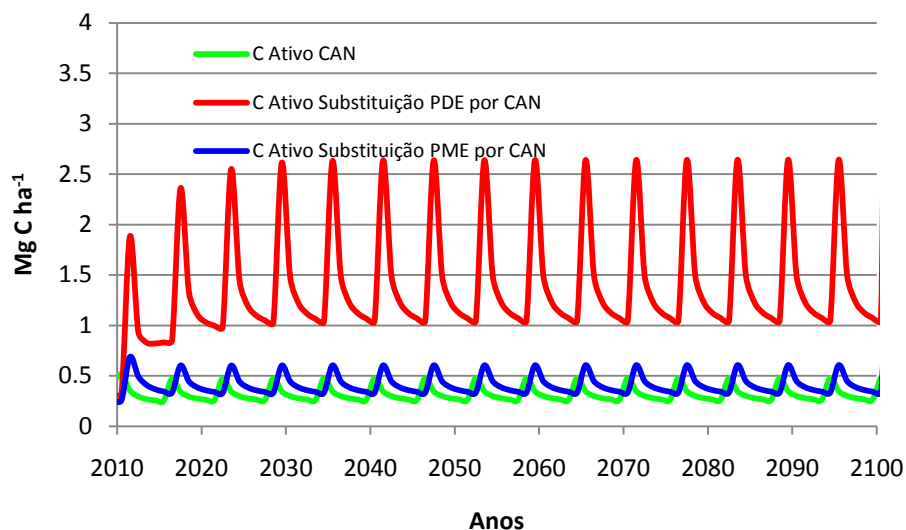


Gráfico 25: Simulação dos teores de C Ativo na CAN e o efeito da substituição dos teores de COT da PDE e PME por CAN

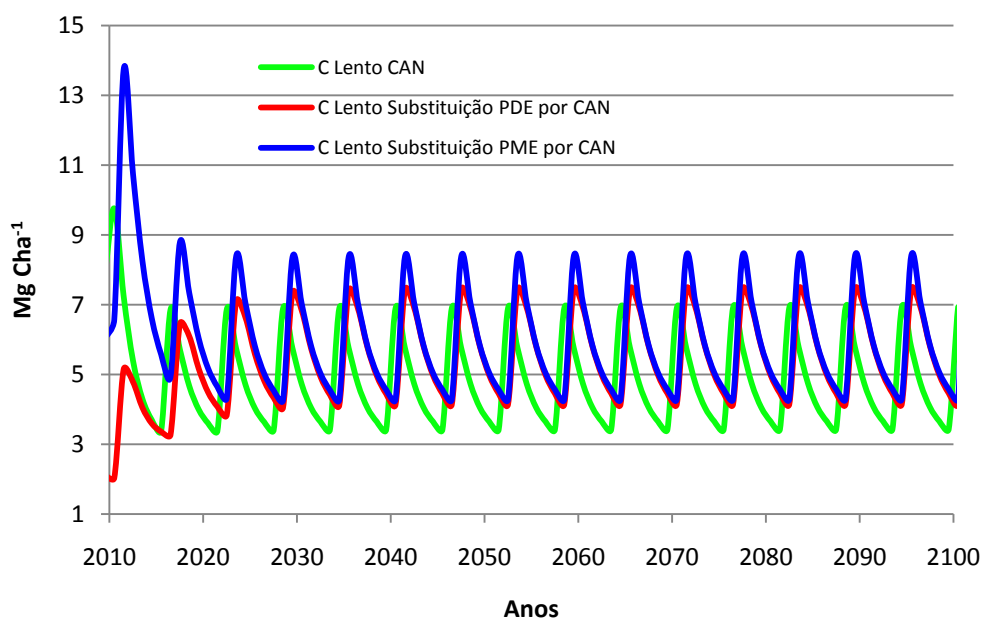


Gráfico 26: Simulação dos teores de C Lento na CAN e o efeito da substituição dos teores de COT da PDE e PME por CAN

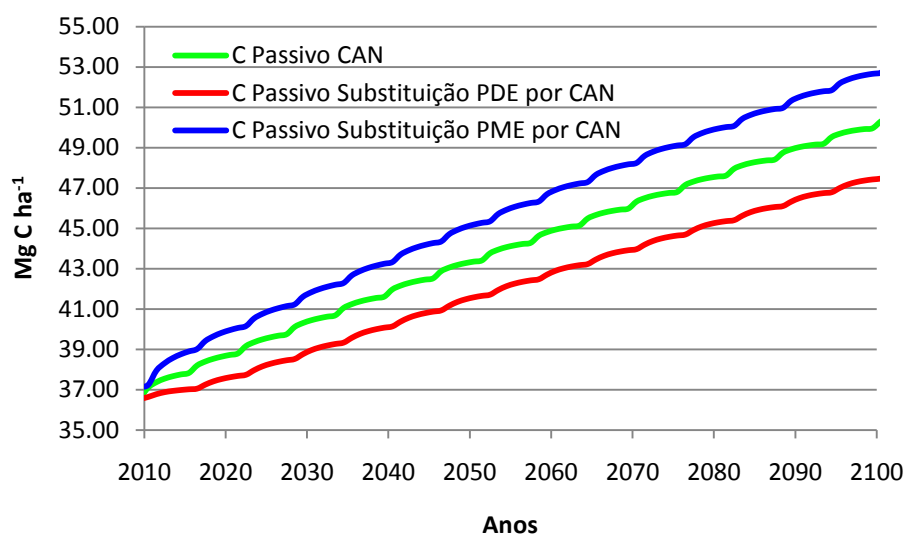


Gráfico 27: Simulação dos teores de C Passivo na CAN e o efeito da substituição dos teores de COT da PDE e PME por CAN

Diante dos resultados apresentados a partir da modelagem realizada pelo Century, para as áreas sob cana-de-açúcar (CAN), pastagem melhorada (PME) e pastagem degradada (PDE), é possível concluir que das culturas avaliadas, a que apresentou maior potencial em armazenar C no solo até o ano 2100 foi a PME, tanto na continuidade de manejo da área, que em 2009 era destinada a PME (66,99 Mg C ha⁻¹), quanto na substituição substituição da PDE por PME a partir de 2010 até 2100, quando passa a armazenar no solo 66,23 Mg C ha⁻¹. Esses dados confirmam o exposto pela Embrapa (2004) sobre o potencial das pastagens em acumular mais C no solo do que aquele presente sob vegetação nativa.

Em estudos realizados na Amazônia pela Embrapa (2004), foi evidenciado que pastagens *Brachiaria*, quando bem manejadas, podem se manter produtivas por vários anos e os estoques de C no solo podem exceder aqueles sob a mata nativa. Contudo, cabe destacar que, como a vegetação (floresta) da região amazônica contém entre 100 e 200 t C ha⁻¹, nunca será possível acumular mais C num sistema solo/planta de pastagens do que num de floresta

original. Todavia, os estudos sob pastagens nas regiões da Mata Atlântica e do Cerrado também mostraram que se as pastagens forem mantidas produtivas, o solo sob as pastagens de *Brachiaria* também podem acumular mais C do que está presente no solo sob a mata nativa.

A permanência da CAN na área analisada do período que se estende de 2009 a 2100 apresentou, ao final do período, estoque de C de 57,64 Mg C ha⁻¹, enquanto que a substituição da PDE por CAN alcançou 58,40 Mg C ha⁻¹ e a substituição da PME por CAN um total de 62,95 Mg C ha⁻¹, cifras inferiores às calculadas para as áreas sob PME.

Tomando-se como base os dados provenientes da simulação das culturas analisadas neste capítulo, pode-se observar que, com exceção à PDE, houve uma diferença de 9,35 Mg C ha⁻¹ entre o estoque de C mais baixo (CAN) e o estoque de C mais elevado (PME). A espacialização desses dados pode revelar o impacto que a expansão da cana-de-açúcar no Cerrado representa no balanço do estoque de C no solo, em detrimento das áreas de pastagens. Este é o tema tratado no capítulo a seguir.

7 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO MAPEAMENTO DE ESTOQUE DE CARBONO NA BACIA DO RIO ARAGUARI-MG

7 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO MAPEAMENTO DO ESTOQUE DE CARBONO NA BACIA DO RIO ARAGUARI-MG

O conjunto das geotecnologias (Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e Sistema de Informação Geográfica) contempla uma variedade de técnicas para tratamento e espacialização de informações, permitindo a sua visualização na forma de diferentes produtos, tais como mapas, gráficos, tabelas, etc. O principal objetivo deste capítulo é avaliar a dinâmica espaço-temporal dos dados resultantes da simulação do carbono orgânico total do solo (COT) realizada pelo modelo Century a partir de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento desde o ano 1973 até 2100. Os objetivos específicos, listados a seguir, são:

- Elaborar mapas de uso da terra e cobertura vegetal da Bacia do Rio Araguari de 1973 e 2009;
- Avaliar a dinâmica espaço-temporal do COT nos períodos que compreendem os anos de 1973, 2009, 2050 e 2100 na Bacia do Rio Araguari-MG;

7.1 Material e Métodos

7.1.1 Materiais

Os materiais utilizados para a realização do levantamento e mapeamento que possibilitou a definição das classes de uso da terra e cobertura vegetal natural, bem como a quantificação do estoque de C na Bacia do Rio Araguari, foram:

- Imagens do satélite Landsat disponibilizadas gratuitamente pela internet mediante acesso ao site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As órbitas/pontos, as datas de passagem e os sensores utilizados são descritos na tabela Tabela 35 e representados na Figura 30 e Figura 31;

Tabela 35: Imagens do satélite Landsat utilizadas para o mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal da Bacia do Rio Araguari-MG

Sensor/Satélite	Órbitas/Pontos (O/P)	Datas de passagem/Satélite	Resolução espacial (m)
MSS/Landsat 2	237/73	14/07/1973	80
	236/73	13/09/1975*	
	236/74	31/07/1973	
	235/73	30/07/1973	
	235/74	30/07/1973	
TM/Landsat 5	221/73	18/07/2009	30
	220/73	27/07/2009	
	220/74	27/07/2009	
	219/73	20/07/2009	
	219/74	20/06/2009	

* A imagem do ano 1973 correspondente a O/P236/73 apresentava falha de sobreposição a O/P adjacente, por esse motivo foi utilizada a imagem do ano 1975.

- Base cartográfica em meio digital, que contemplam o limite da bacia, as drenagens e o limite político dos municípios, elaborada pelo Laboratório de Geoprocessamento do Instituto de Geografia (LAGEO/UFU);
- Cartas temáticas elaboradas para o projeto Mapeamento da cobertura vegetal do bioma Cerrado, realizado pelo Ministério do Meio Ambiente, Embrapa Cerrados em parceria com o Laboratório de Geoprocessamento da UFU, adquiridas no site do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2008).

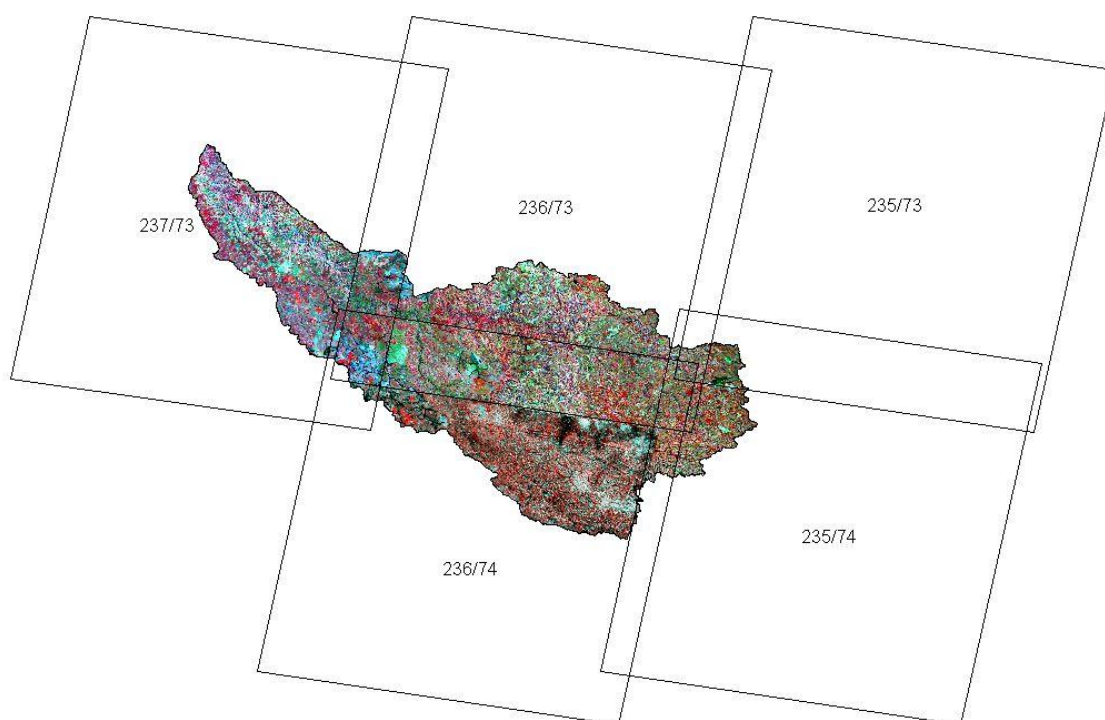


Figura 30: Imagens MSS/Landsat2 utilizadas para o mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal da Bacia do Rio Araguari-MG (1973)

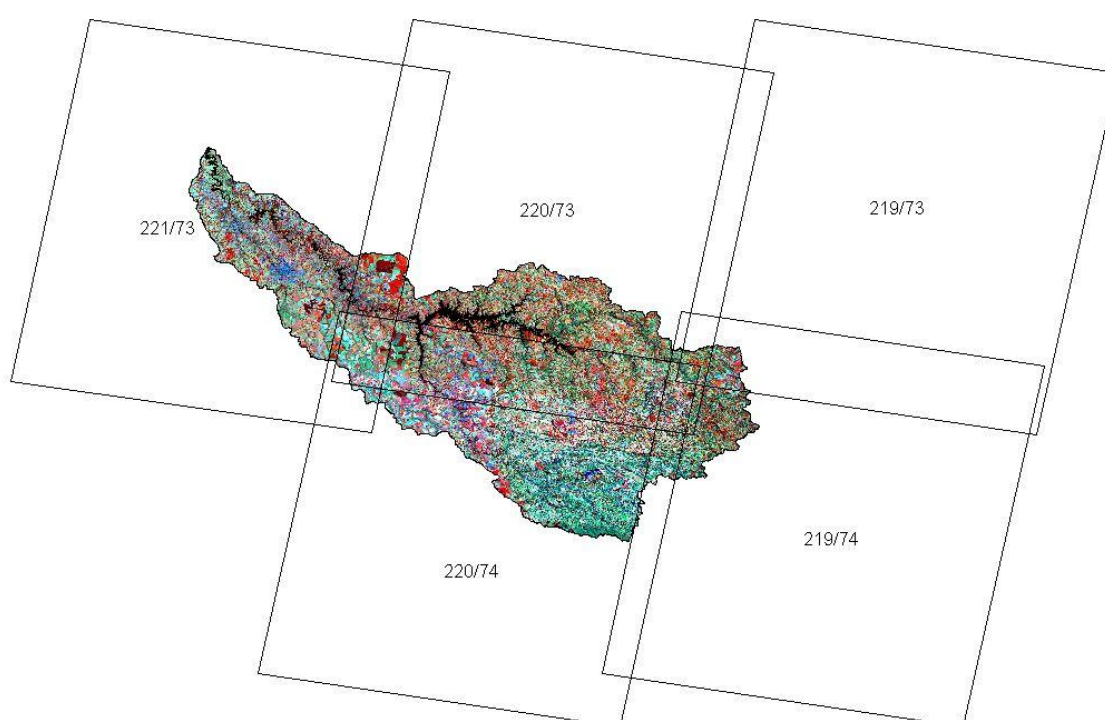


Figura 31: Imagens TM/Landsat5 utilizadas para o mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal da Bacia do Rio Araguari-MG (2009)

7.1.2 Softwares

- ArcView; CartaLinx; Envi 4.0; Idrisi 32.

7.1.3 Procedimentos Operacionais

Para o mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal da Bacia do Rio Araguari-MG, o primeiro passo foi a aquisição das imagens do satélite Landsat no site do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). Pela visualização da Tabela 35, verifica-se que não foi possível a aquisição das imagens de satélite com a mesma data de passagem para todas as cenas necessárias para cobrir a área da pesquisa (cinco imagens/cenas para cada período – 1973/2009). E entretanto, teve-se o cuidado de selecionar datas do mesmo mês a fim de evitar diferenças nos valores de reflectância dos alvos. Nos casos em que não foram localizadas imagens do mesmo mês, buscamos meses que fizessem parte do mesmo período sazonal dada a importância que a diferença entre esses períodos exerce no comportamento da vegetação. Vale ressaltar que este fato não alterou o resultado final da pesquisa.

Depois da aquisição de todas as cenas necessárias para mapear a área da bacia, prosseguimos com a etapa de processamento destas, começando pela geração da composição colorida, realizada no *software* ENVI 4.0. Das sete bandas espectrais do satélite TM/Landsat 5, utilizamos as bandas 3 (na cor azul), 4 (na cor vermelha) e 5 (na cor verde), formando a composição colorida 3B4R5G. Para o MSS/Landsat 2, utilizamos as bandas 7 (cor vermelha), 5 (verde) e 4 (azul) sendo as mais apropriadas considerando o objetivo da pesquisa, formando, portanto, a composição colorida 4B5G7R. De acordo com Rosa (2007), tais bandas possuem as seguintes características para o TM/Landsat 5:

- Banda 3 (0,63 a 0,69 μm ; faixa espectral do vermelho): apresenta bom contraste entre as áreas ocupadas (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas); boa diferenciação entre

os tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta); e permite identificar as áreas agrícolas;

- Banda 4 (0,76 a 0,90 μm ; infravermelho próximo): levantamento de biomassa, apresenta bom mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água; boa sensibilidade à rugosidade da copa das florestas e à morfologia do terreno; permite mapeamento de áreas queimadas;
- Banda 5 (1,55 a 1,75 μm ; infravermelho médio): apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico.

Rosa (2007) apresentou, também, as características das bandas do sensor MSS/Landsat 2, a saber:

- Banda 4 (0,5 a 0,6 μm ; verde): possui aplicação para uso do solo e mapeamento da vegetação;
- Banda 5 (0,6 a 0,7 μm ; vermelho): diferenciação de espécies vegetais;
- Banda 7 (0,8 a 1,1 μm ; infravermelho próximo): boa para mapeamento da vegetação, delineamento de corpos d' água e sensível à morfologia do terreno.

Depois de definidas as composições coloridas, as imagens foram georreferenciadas no *software* ENVI 4.0, tendo como referência pontos de controle identificados nas cartas do projeto PROBIO, pois, acredita-se na confiabilidade do georreferenciamento destas. As cenas Landsat foram mosaicadas por meio de equalização de histogramas. De acordo com Sano et al. (2009), tal equalização agrupa duas ou mais imagens considerando-se uma delas como sendo a imagem referência. Essa técnica corresponde a um método estatístico baseado na função de distribuição cumulativa (SHIMABUKURO et al., 2002 apud SANO et al., 2009) e, está disponível nos principais softwares de processamento digital de imagens. Em seguida, foi feito o recorte das imagens tomando-se como base o limite da bacia do Rio Araguari.

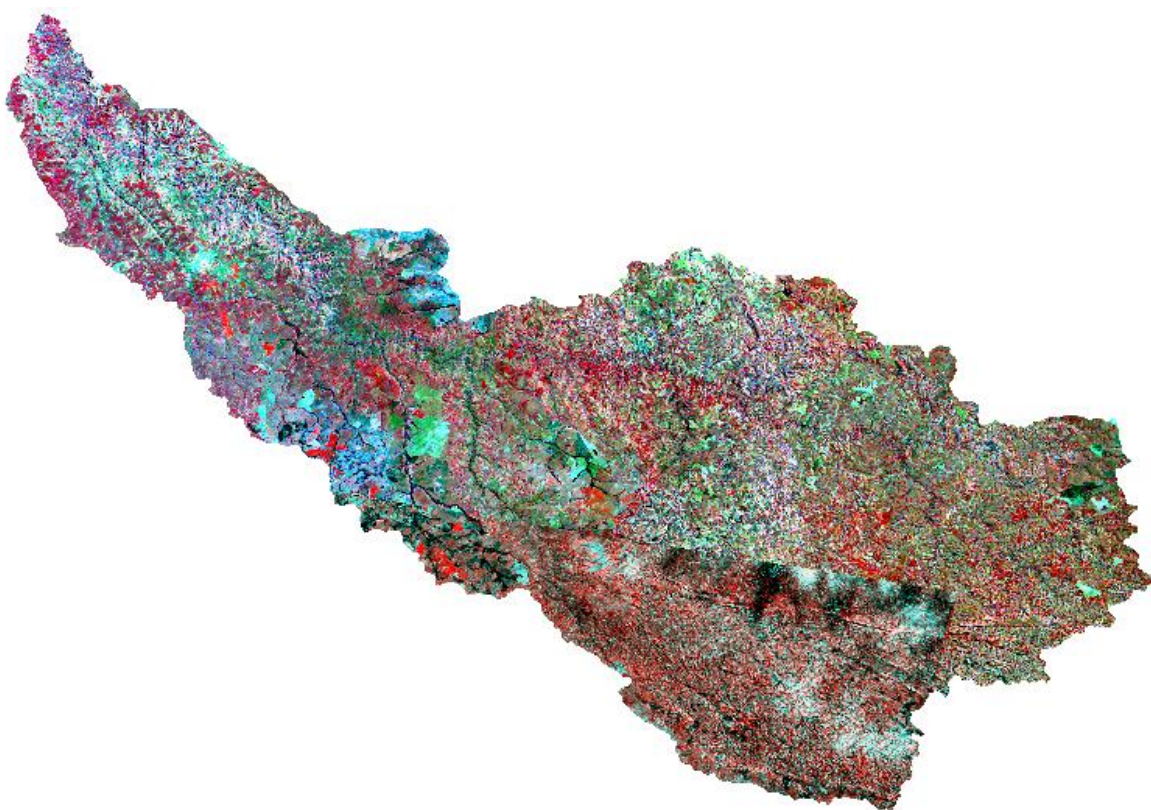


Figura 32: Mosaico da composição colorida 4B5G7R para o sensor MSS/Landsat 2 (1973)

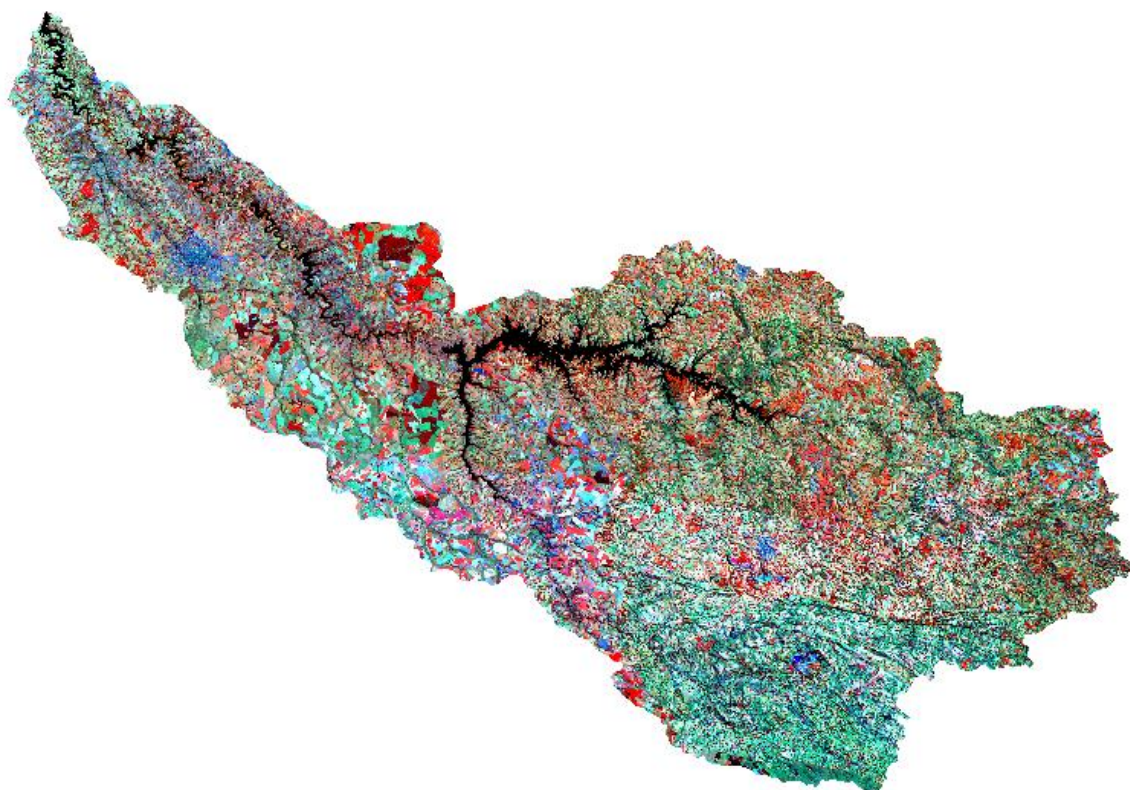


Figura 33: Mosaico da composição colorida 3B4R5G para o sensor TM/Landsat 5 (2009)

7.2 Resultados e Discussão


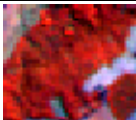
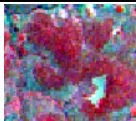

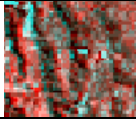
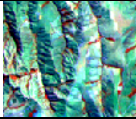
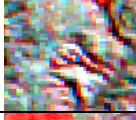






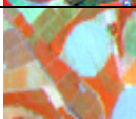
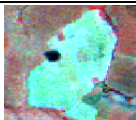
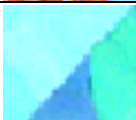
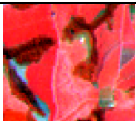
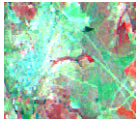
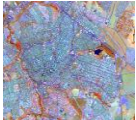


7.2.1 Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal em 1973 e 2009

Realizado o mosaico e o recorte das imagens Landsat, teve início a fase de interpretação visual. Para isso, foi elaborada uma chave de interpretação (Quadro 16) das composições coloridas nos diferentes períodos com intuito de orientar a análise/interpretação das imagens. A interpretação é o processo que utiliza o raciocínio lógico, dedutivo e indutivo para compreender e explicar objetos e feições presentes na imagem de satélite (ROSA, 2007). Esta chave incluiu a definição das características de cor, textura, forma, padrão e tamanho das classes de mapeamento presentes na área da pesquisa, para as composições coloridas 3B4R5G TM/Landsat 5 (2009) e 7R5G4B MSS/Landsat 2 (1973).

O mapeamento em si (Figura 34 e Figura 35), ou seja, a identificação das diferentes classes de uso da terra e cobertura vegetal natural, presentes na bacia, foi realizado pela interpretação visual das imagens digitais diretamente na tela do computador (classificação visual em tela).

As imagens, de ambos os períodos, apresentaram grau de dificuldade diferenciados para o mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal natural. Na interpretação das imagens que compreenderam o período de 1973, a resolução espacial, de 80 m, do sensor MSS dificultou o mapeamento da vegetação natural com pequenas proporções, inclusive àquelas que se localizavam em áreas de relevo acidentado (como exemplo, as áreas na porção sudeste da bacia do Araguari). Com relação às imagens de 2009, a dificuldade de interpretação esteve associada à elevada fragmentação de usos em virtude da grande variedade de culturas agrícolas e da conseqüente diversidade de cores, texturas, tamanhos e formas conferidas nas imagens.

Quadro 16: Exemplo de chave de interpretação utilizada para o mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal na bacia do Rio Araguari-MG

Tipos de uso	1973		2009	
	Padrões característicos de Interpretação	Composição colorida 4B5G7R	Padrões característicos de Interpretação	Composição colorida 3B4R5G
Cerradão/Mata	Cor: vermelho; Textura: intermediária a rugosa; Forma: irregular		Cor: vermelho brilhante; Textura: intermediária a rugosa; Forma: irregular	
Cerrado	Cor: vermelho escuro; Textura: intermediária a rugosa; Forma: irregular		Cor: vermelho médio; Textura: intermediária a rugosa; Forma: irregular	
Campo Sujo/ Campo Cerrado	Cor: vermelho claro; Textura: intermediária; Forma: irregular		Cor: verde azulado; Textura: intermediária; Forma: irregular	
Campo Limpo	Cor: cinza claro; Textura: intermediária; Forma: irregular		Cor: verde claro; Textura: intermediária; Forma: irregular	
Reflorestamento	Cor: vermelho claro; Textura: intermediária; Forma: geométrica		Cor: vermelho claro; Textura: intermediária; Forma: geométrica	
Pastagens	Cor: verde claro; Textura: lisa a intermediária; Forma: irregular a geométrica		Cor: azul acinzentado; Textura: Lisa a intermediária; Forma: irregular a geométrica	
Cultura Anual Irrigada	-	-	Cor: vermelho brilhante; Textura: lisa; Forma: geométrica	
Café	-	-	Cor: vermelho alaranjado; Textura: intermediária; Forma: geométrica	
Cultura Anual	Cor: azul claro; Textura: lisa; Forma: geométrica		Cor: azul claro e azul esverdeado; Textura: lisa; Forma: geométrica	
Cana-de-açúcar	-	-	Cor: vermelho claro; Textura: lisa; Forma: geométrica	
Área Urbana	Cor: verde claro; Textura: intermediária a rugosa; Forma: geométrica		Cor: azul médio; Textura: intermediária a rugosa; Forma: geométrica	
Corpos d' Água	Cor: azul claro; Textura: lisa; Forma: irregular		Cor: preto; Textura: lisa; Forma: irregular	

Os tipos de uso representados pelo símbolo (-) não estavam presentes na área de pesquisa em 1973

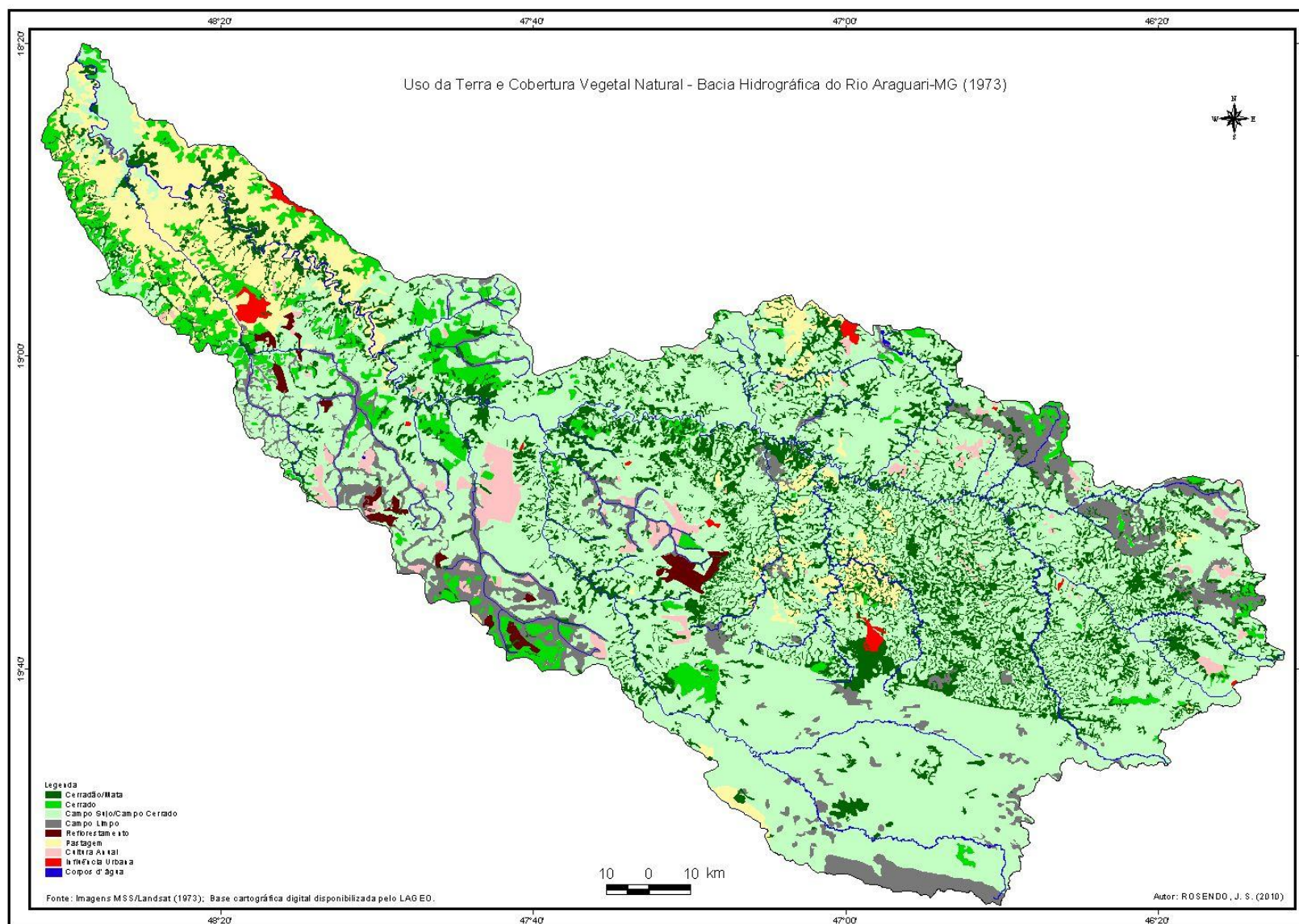


Figura 34: Mapa de uso da terra e cobertura vegetal natural da bacia do Rio Araguari-MG (1973)

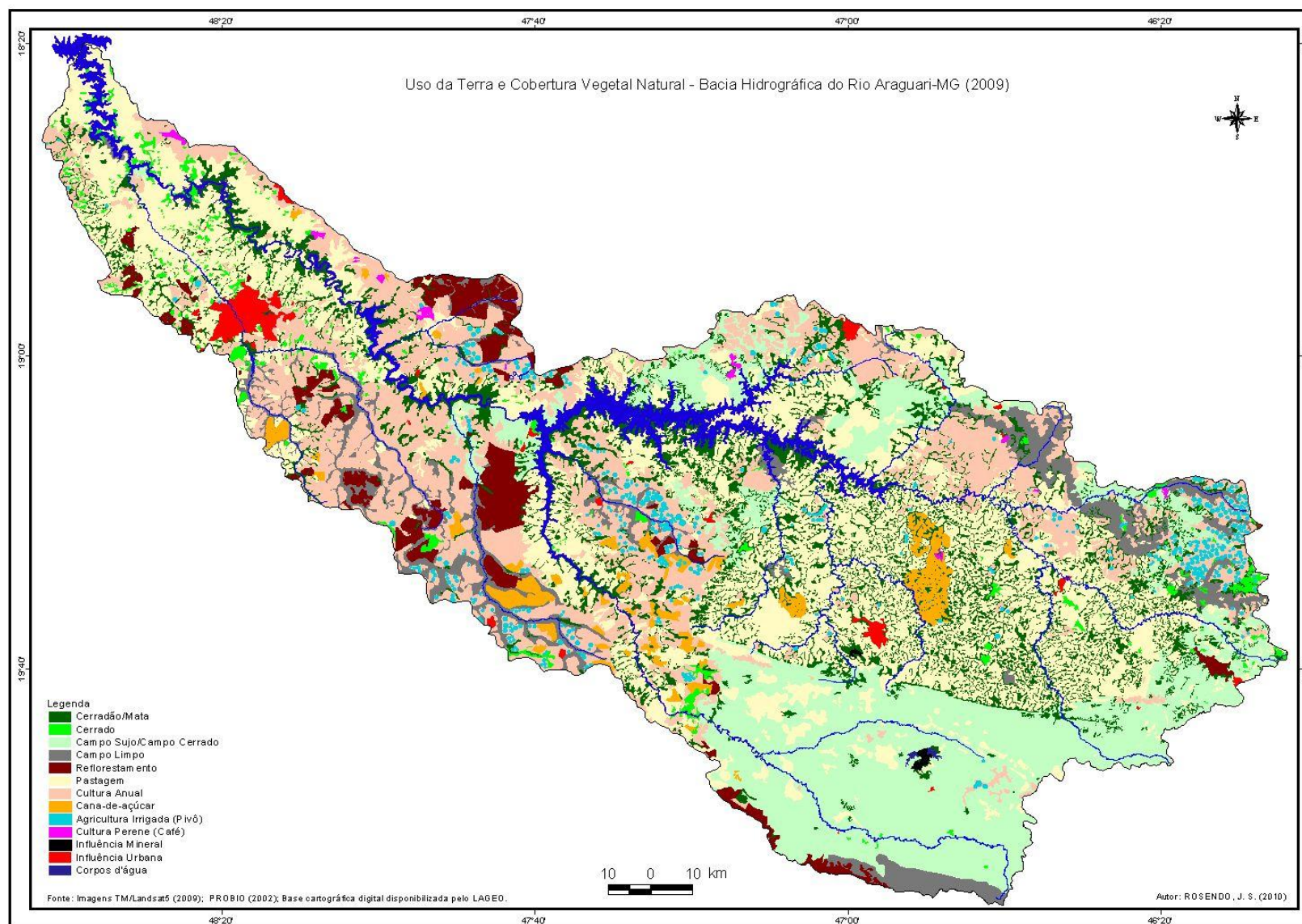


Figura 35: Mapa de uso da terra e cobertura vegetal natural da bacia do Rio Araguari-MG (2009)

No software ArcView GIS 3.2, cada polígono foi associado uma determinada classe de uso. A legenda do mapeamento foi composta por dois grupos principais, o de cobertura vegetal natural e o de uso antrópico, para os períodos analisados. A Tabela 36 mostra as classes que compuseram o grupo de cobertura vegetal natural e uso antrópico. É importante destacar que o conceito que este estudo adota para o termo cobertura vegetal natural são aquelas áreas que apresentam cobertura vegetal original, independentemente da existência ou não de algum tipo de uso antrópico (SANO et al. 2009). A legenda da cobertura vegetal natural teve que ser agrupada em função da dificuldade de separação de algumas fitofisionomias. Foi o que aconteceu com o Cerradão e a Mata e com o Campo Sujo e Campo Cerrado. As florestas de galeria, em função de suas pequenas dimensões, não foram separadas, sendo incluídas na classe Cerradão/Mata.

Tabela 36: Legenda do mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal natural utilizada nos períodos de 2009 e 1973

Grupos	Legenda (Categorias mapeadas)	
	1973	2009
Vegetação Natural	Cerradão/Mata	Cerradão/Mata
	Cerrado	Cerrado
	Campo Sujo	Campo Sujo
	Campo Limpo	Campo Limpo
Uso Antrópico	Reflorestamento	Reflorestamento
	Pastagem	Pastagem
	Cultura Anual	Cultura Anual
	-	Cana-de-açúcar
	-	Cultura Anual Irrigada
	-	Cultura Perene (Café)
	Influência Urbana	Influência Mineral
	Água	Influência Urbana
		Água

A partir da análise dos mapas elaborados e da quantificação das diferentes categorias mapeadas, foi possível observar que, em 1973, cerca de 85,34% da área era coberta por vegetação natural, enquanto, apenas 14,66%, estava ocupada pela agricultura e pecuária. Já em 2009, observamos o oposto, em que 60,41% da área destinava-se à agricultura e pecuária,

enquanto 39,60% da área encontrava-se coberta com vegetação natural. Os dados apresentados na Tabela 37, Gráfico 28, e nas Figura 36 e Figura 37 permitem analisar a dinâmica do uso da terra e da cobertura vegetal natural ao longo do período analisado.

Tabela 37: Área ocupada (ha e %) por cada classe de uso da terra e cobertura vegetal natural - Bacia do Rio Araguari-MG nos anos 1973 e 2009

Usos	1973		2009	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Cerradão/Mata	340.895,56	16,89	256.437,00	12,70
Cerrado	146.608,25	7,26	33.790,11	1,67
Campo Sujo	1.061.703,50	52,60	393.717,80	19,50
Campo Limpo	173.392,37	8,59	115.351,29	5,71
Reflorestamento	18.246,81	0,90	71.106,82	3,52
Pastagem	212.950,69	10,55	600.055,99	29,73
Cultura Anual	48.196,25*	2,39	391.657,87	19,40
Cana-de-açúcar	-	-	50.130,51	2,48
Cultura Anual Irrigada	-	-	33.526,44	1,66
Cultura Perene (Café)	-	-	3.542,16	0,18
Influência Mineral	-	-	1.213,07	0,06
Influência Urbana	10.598,37	0,53	20.667,93	1,02
Água	6.008,20	0,30	47.403,02	2,35
Total	2.018.600,00	100,00	2.018.600,00	100,00

* A cultura anual em 1973 realizava-se por meio de plantio convencional, já nesta classe em 2009, ocorre o predomínio do plantio direto

Os dados mais expressivos da modificação do uso da terra desde 1973 até 2009 fazem referência à substituição da vegetação natural de Cerrado e Campo Sujo. Nota-se que quase 77% da área total ocupada pelo Cerrado foi desmatada, fato notado pela análise das cifras que demonstram que do total de 7,26% da área ocupada por Cerrado em 1973, restou apenas 1,67% em 2009. Com relação ao Campo Sujo, observa-se o desmatamento de mais da metade da área ocupada por este tipo de fitofisionomia da área total presente na bacia, em 1973, permanecendo pouco mais de 19%, em 2009, ou seja, quase 63 % da área total de Campo

Sujo foi desmatada para dar lugar às áreas agrícolas e pastagens. Estas áreas sofreram uma maior pressão por parte da agricultura e pecuária em virtude da aptidão agrícola (embora possuam solos ácidos com elevado teor de alumínio, são facilmente corrigíveis), principalmente por estarem localizadas sobre terrenos planos (especialmente de chapadas) o que facilita a mecanização.

O que explicaria a maior preservação da Mata/Cerradão e Campo Limpo são as áreas de relevo mais acidentado que estas ocupam. No caso da Mata/Cerradão o fundo dos vales/encostas e no caso do Campo Limpo, tais áreas encontra-se em elevadas altitudes, além do relevo ser bastante acidentado, localizadas principalmente na porção Sudeste da Bacia (Serra da Canastra e arredores).

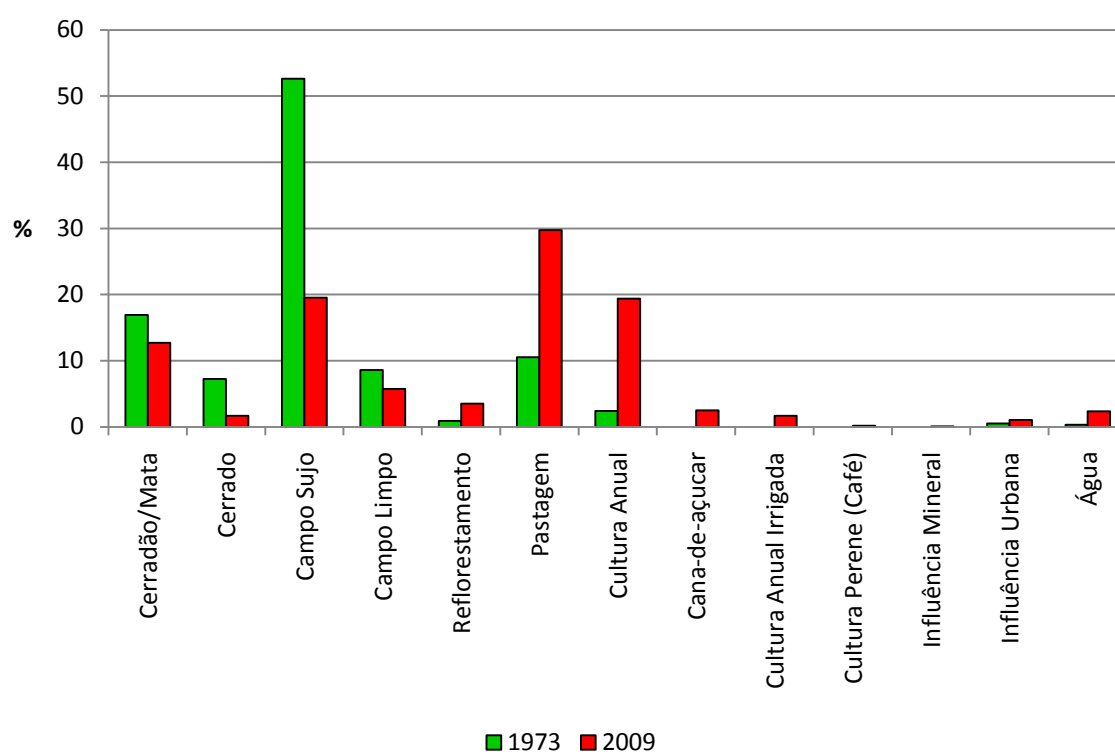


Gráfico 28: Área ocupada (%) por cada uso da terra presente na bacia do Rio Araguari-MG nos anos 1973 e 2009

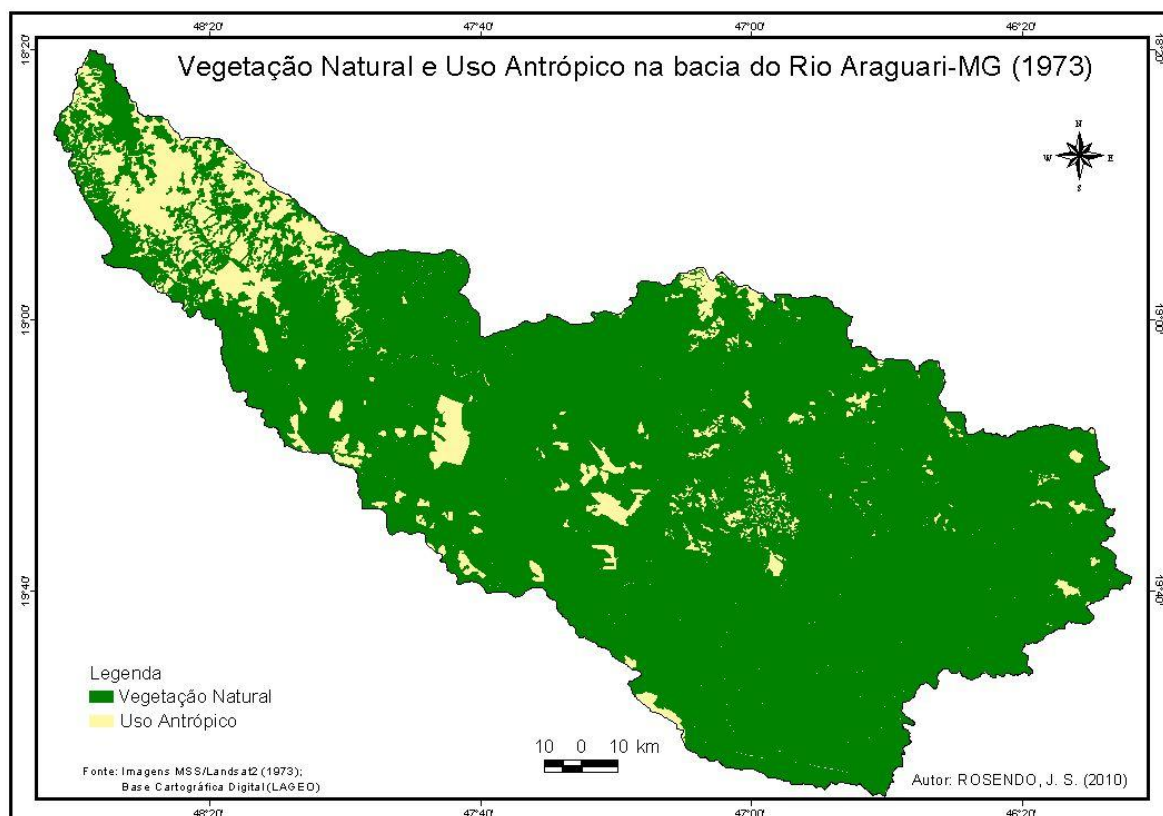


Figura 36: Mapa de vegetação natural e uso antrópico na bacia do Rio Araguari-MG (1973)

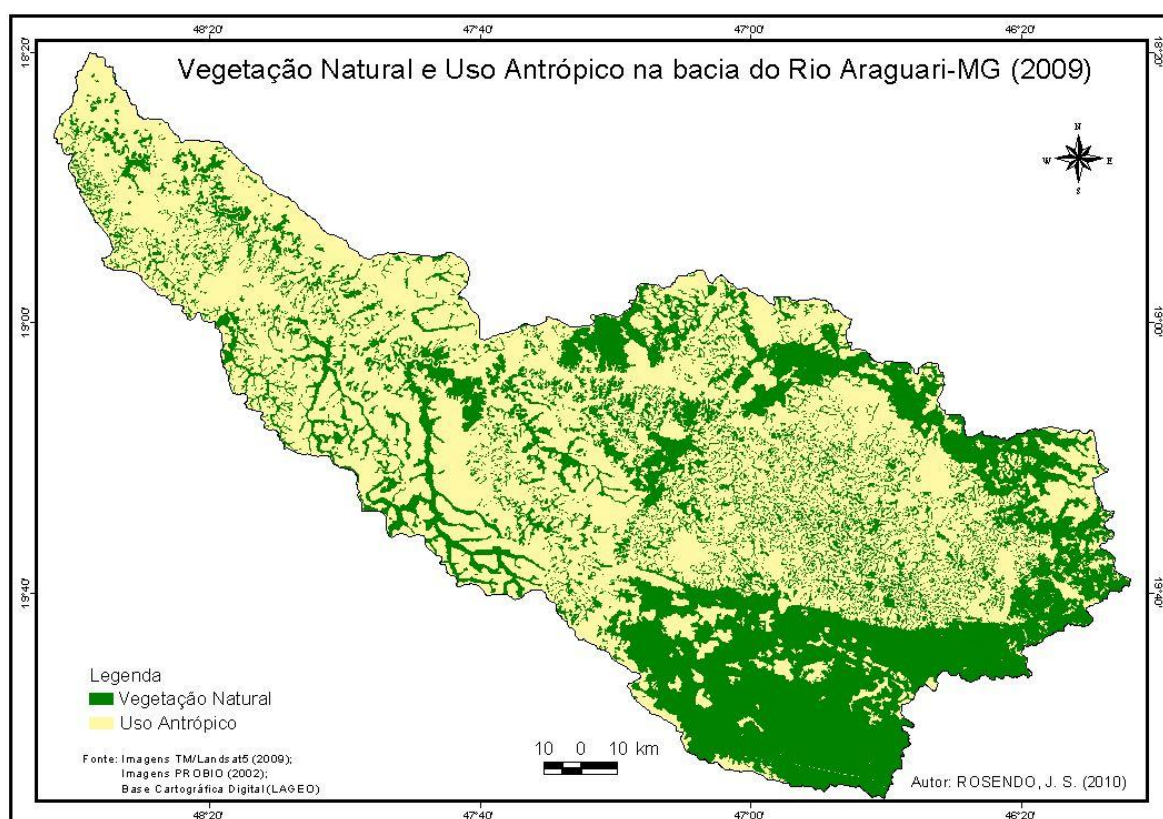


Figura 37: Mapa de vegetação natural e uso antrópico na bacia do Rio Araguari-MG (2009)

Da área total da bacia (em 2009), mais de 60% são ocupados pelo uso antrópico. Destes, 29,73% destinam-se à pecuária, configurando-se na atividade econômica predominante na área. No entanto, as culturas anuais (plantio direto), também representam uma parcela significativa da atividade econômica dos municípios presentes na bacia, com um total de 19,40%, ao passo que as culturas anuais irrigadas correspondem a 1,66 %. É importante destacar que, foram identificadas apenas as culturas anuais irrigadas por-pivô central (em virtude da facilidade de identificação/separação pelo seu formato circular). Dessa forma, tal estimativa pode estar subestimada, pois não se consideraram as áreas irrigadas por outros métodos.

As áreas de reflorestamento de *Pinus* e *Eucaliptus*, juntas, ocupam 3,52 % da área. Já as áreas de cultura perene, mais especificamente, o café, apenas 0,18 %. No caso do café, a pequena extensão das lavouras associada a resolução espacial de 30 do sensor TM/Landsat 5, tornam-se complicadores no momento do mapeamento. Esse pode ter sido o fator determinante para a pouca área de café identificada, já que de acordo com dados do IBGE (2008), cerca de 18.000,00 ha são cultivados com café nos seguintes municípios inseridos na bacia: Araguari (11.000,00 ha), Araxá (2.550,00 ha), Indianópolis (3.050,00 ha), Iraí de Minas (800,00 ha), Nova Ponte (260,00 ha), Pedrinópolis (305,00 ha) e Santa Juliana (35,00 ha).

A delimitação dos polígonos referente às áreas de cana-de-açúcar foi realizada a partir de dados do CANASAT, gentilmente disponibilizados por Rudorff et al. (2010). Assim, após a sobreposição do *layer* do limite da bacia sobre os municípios inseridos nesta, excluiu-se o que não era de interesse, realizando-se a contagem da área. Dessa forma, estimou-se que em 2,48 % da área total da bacia é cultivada a cana-de-açúcar em 2009. A cana-de-açúcar, embora recente na bacia, apresenta taxas de crescimento anual elevadas. Esta e outras questões envolvendo a expansão da cana-de-açúcar serão tratadas no item a seguir.

7.2.2 Estoque e emissões de C em 1973 e 2009

O mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal permitiu a contabilização do impacto no estoque de C, em 1973 e 2009, a partir da multiplicação da área de cada uso por seu estoque de C correspondente. É necessário recordar que foram computados, para cada uso, os estoques de C das amostras individuais, assim como a contabilização da média representativa de cada um deles. É fundamental destacar que, dependendo do uso, o valor de estoque de C utilizado, para a determinação do estoque total de C na bacia do Rio Araguari, seguiu metodologia diferenciada. Na sequência, elucida-se, detalhadamente, quais teores de estoque de C foram utilizados para cada classe mapeada:

- Cerradão/Mata: estoque de C de 43,60 Mg C ha⁻¹. Esse valor corresponde à média do CER1 e CER (Tabela 17);
- Cerrado: média de todas as amostras de Cerrado estimadas em laboratório para a bacia do Rio Araguari, que, conforme apresentada na Tabela 17, é de 38,78 Mg C ha⁻¹;
- Campo Sujo e Campo Limpo: média de duas amostras de Cerrado que apresentavam porte vegetativo menor e estoque de C mais baixo (CER2 e CER3) identificadas em campo, já que não foi mensurado estoque de C para estas fitofisionomias, e nem encontrados valores na literatura. Para estes casos, o valor do estoque calculado foi de 32,81 Mg C ha⁻¹;
- Reflorestamento: média das amostras de reflorestamento, 38,78 Mg C ha⁻¹ (Tabela 24);
- Pastagem Melhorada: 43,92 Mg C ha⁻¹ referente a média das amostras da pastagem melhorada (Tabela 20);
- Pastagem Degradada: média das amostras de pastagem degradada, ou seja, 34,63 Mg C ha⁻¹ (Tabela 18);

- Cultura Anual: em 2009, foi utilizada a média das culturas anuais sob plantio direto (Tabela 21). Em 1973, como o sistema de cultivo era o plantio convencional, optou-se por utilizar o estoque de C de 34,06 Mg C ha⁻¹ avaliado por D' Andréa et al. (2004) para plantio convencional de longa duração;
- Cana-de-açúcar: foi utilizada a média das amostras de cana-de-açúcar, 48,73 Mg C ha⁻¹ (Tabela 22);
- Cultura Anual Irrigada: utilizou-se a média das amostras de cultura anual irrigada, 49,64 Mg C ha⁻¹ (Tabela 19).
- Cultura Perene (Café): também foi feito o uso da média das plantações de café (44,29 Mg C ha⁻¹), conforme Tabela 23;
- Influência Mineral, Urbana e Corpos d' Água: não foram avaliados.

A Tabela 38 e o Gráfico 29, apresentam os resultados das estimativas realizadas com base nos dados explicitados acima. Observa-se a modificação na representatividade das classes de uso nos períodos analisados. Em 1973, o carbono estocado no solo era oriundo da vegetação natural, sendo que 34,80 Tg C (quase 50% da estimativa total de C) dos mais de 71,0 Tg C, provenientes da vegetação de campo sujo (maior área em percentuais também). O Cerradão/Mata estocavam 14,80 Tg C enquanto que o Cerrado respondia por 5,58 Tg C e o Campo Limpo, por 5,69 Tg C.

Foi evidenciado que, em 2009, a maior parte do C armazenado se deu pelas atividades agropecuárias, com maior contribuição das culturas anuais, sob plantio direto, quase 19 Tg C em função da maior área ocupada (391.657,87 ha) e dos 48,48 Mg C ha⁻¹ estocado por hectare.

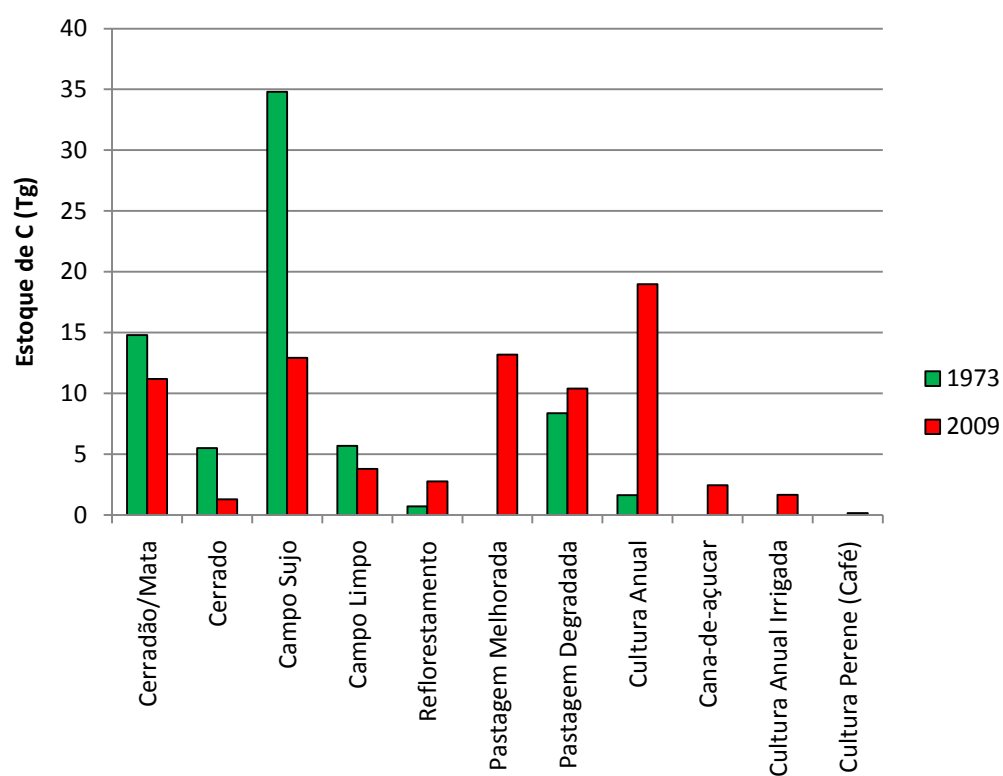


Gráfico 29: Estoque de C na bacia do Rio Araguari-MG (Tg) para 1973 e 2009

Tabela 38: Estimativa de estoque de C na bacia do Rio Araguari-MG para 1973 e 2009

	Área (ha) 1973	COT (Mg ha ⁻¹)	Estoque C em 1973 (Tg)	Área (ha) 2009	COT (Mg ha ⁻¹)	Estoque C em 2009 (Tg)
Cerradão/Mata	340.895,56	43,60	14,86	256.437,00	43,60	11,18
Cerrado	146.608,25	38,05	5,58	33.790,11	38,05	1,28
Campo Sujo	1.061.703,50	32,81	34,83	393.717,80	32,81	12,92
Campo Limpo	173.392,37	32,81	5,69	115.351,29	32,81	3,78
Reflorestamento	18.246,81	38,78	0,71	711.06,82	38,78	2,76
Pastagem Melhorada	-	-	-	300.028,00	43,92	13,18
Pastagem Degradada	212.950,69	39,27	8,36	300.028,00	34,63	10,39
Cultura Anual	48.196,25	34,06	1,64	391.657,87	48,48	18,99
Cana-de-açúcar	-	-	-	50.130,51	48,73	2,44
Cultura Anual Irrigada	-	-	-	33.526,44	49,64	1,66
Cultura Perene (Café)	-	-	-	3.542,16	44,29	0,16
Influência Mineral	-	-	-	-	-	-
Influência Urbana	-	-	-	-	-	-
Água	-	-	-	-	-	-
Total	2.018.600,00		71,68	2.018.600,00		78,74

Depois das culturas anuais, as pastagens melhoradas se configuraram como a classe de uso que mais armazenou C no solo. A Tabela 39 destaca a contribuição do que restou da vegetação natural em 2009. Em termos gerais, menos de 40% da área da bacia ainda possui vegetação natural. Esse montante armazena mais de 29 Tg C (37 % do estoque de C estimado para toda a bacia). O Campo Sujo (19,50 % área) e Cerradão/Mata (17,70 % da área) estocaram, juntos, mais de 24 Tg C.

Tabela 39: Contribuição da vegetação natural e do uso antrópico no estoque de C da bacia do Rio Araguari-MG (2009)

	Área (ha) %	Estoque C (Tg)	Estoque de C (%)
Vegetação Natural	39,60	29,17	37,04
Uso antrópico	60,40	49,57	62,96
Total	100,00	78,74	100,00

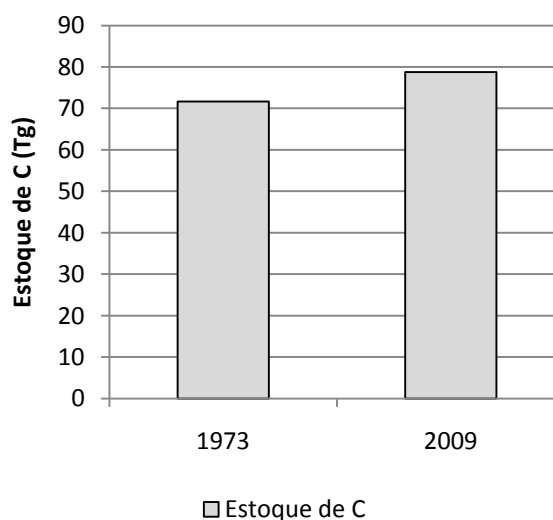


Gráfico 30: Estimativa do estoque de C para a bacia do Rio Araguari-MG (1973 e 2009)

7.2.3 A expansão da cana-de-açúcar na bacia do Rio Araguari-MG

É com intuito de suprir a demanda mundial por cana-de-açúcar, que o Brasil incentiva a produção nacional. A motivação alicerçada pelos benefícios ambientais do etanol em

comparação aos impactos causados pelos combustíveis fósseis tem provocado a substituição de áreas tradicionalmente responsáveis pela produção de grãos e criação de gado, como ocorreu no interior paulista, e, mais recentemente no estado de Minas Gerais, considerada como nova fronteira de expansão.

Neste contexto, Zanzarini e Santos (2009) apontaram o estado de Minas Gerais como o estado que mais cresce na produção nacional. Dados do CANASAT, programa de mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da terra, revelaram que, em 2010, a área ocupada pela cana-de-açúcar no estado alcançou 706.067,00 ha (Tabela 40). Tal expansão se deu a uma taxa média de 32,16% ao ano, tomando-se como base o período compreendido pelas safras 2005/2006 a 2009/2010.

Tabela 40: Área total ocupada pela cana-de-açúcar em Minas Gerais das safras 2005/2006 a 2009/2010

Safras	Área Total (ha)
2005/2006	308.822,00
2006/2007	368.462,00
2008/2009	615.048,00
2009/2010	706.067,00

Fonte: CANASAT (2010)

Figura 38 ilustra a ocupação das áreas de cana-de-açúcar no estado de Minas Gerais. Nota-se uma maior concentração no extremo oeste do estado, mais especificamente a região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba ao qual se localiza a área de estudo. Observa-se também, algumas áreas na porção central do estado.

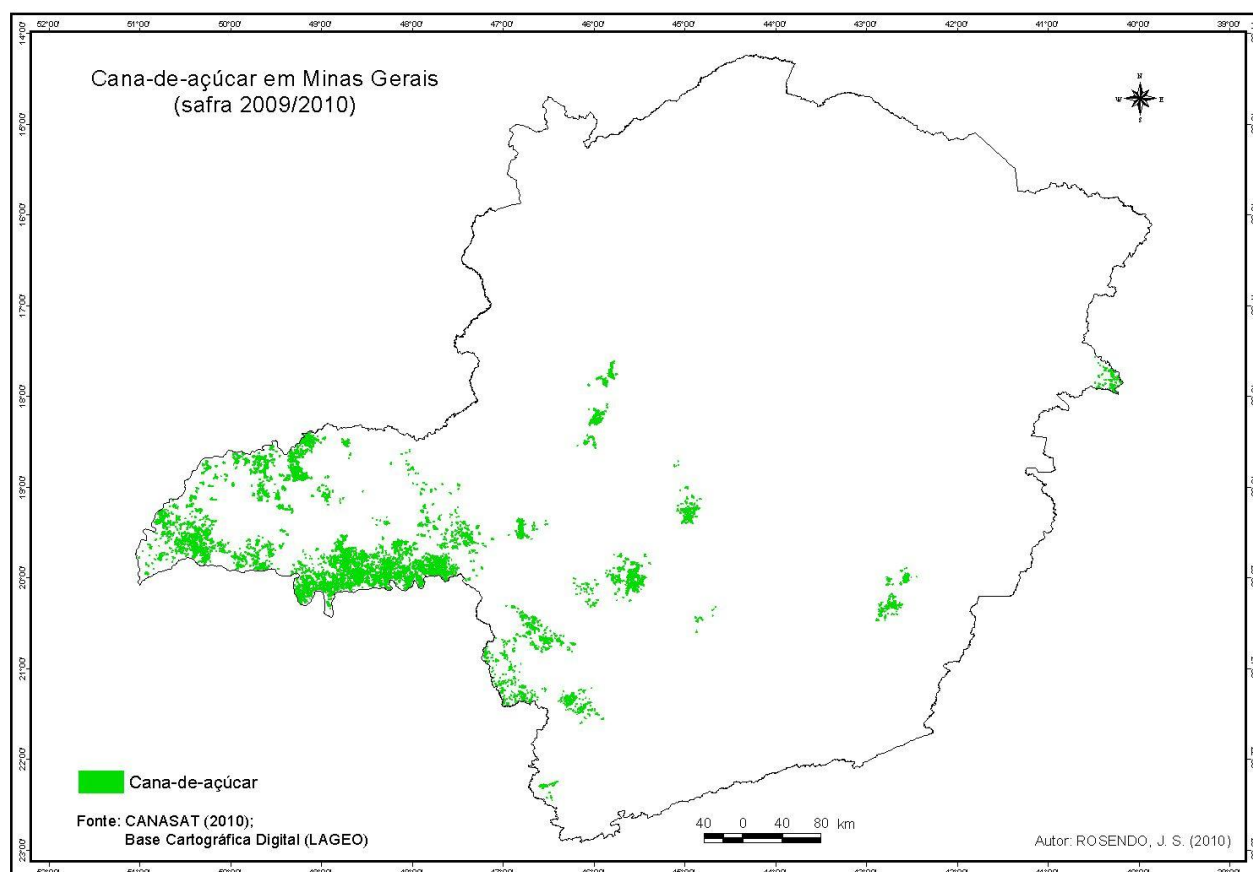


Figura 38: Mapa da cana-de-açúcar em Minas Gerais (safra 2009/2008)

A área de cana-de-açúcar nos municípios inseridos na bacia do Rio Araguari somam, na safra 2009/2010, um total de 97.090,00 há. Esse valor representa 13,75 % da produção total de Minas Gerais (CANASAT, 2010). A taxa de crescimento anual da cana-de-açúcar, para os municípios presentes na bacia, desde a safra 2005/2006 até 2009/2010 foi de 198,41 %, ou seja, a produção de cana-de-açúcar cresceu a uma taxa média de 49,60 % ao ano. Em que houve uma taxa de crescimento de 19,03% da safra 2006/2007 com base na safra 2005/2006, uma taxa de crescimento de 116,12% da safra 2008/2009 com base a safra 2006/2007, e uma taxa de crescimento de 16,00% da safra 2009/2010 com base na safra anterior 2008/2009.

Tabela 41: Área total ocupada pela cana-de-açúcar nos municípios inseridos na bacia do Rio Araguari-MG das safras 2005/2006 a 2009/2010

Municípios	Área (ha)				%
	2005/2006	2006/2007	2008/2009	2009/2010	(2009/2010)
Araguari	0,00	0,00	1.074,00	1.950,00	2,01
Araxá	0,00	0,00	391,00	714,00	0,74
Ibiá	0,00	2.546,00	7.491,00	9.228,00	9,50
Indianópolis	0,00	0,00	184,00	1.561,00	1,61
Iraí de Minas	0,00	0,00	182,00	766,00	0,79
Nova Ponte	0,00	0,00	2.516,00	3.353,00	3,45
Pedrinópolis	0,00	0,00	113,00	113,00	0,12
Perdizes	0,00	1.044,00	8.153,00	8.898,00	9,16
Sacramento	158,00	441,00	5.885,00	6.545,00	6,74
Santa Juliana	471,00	1.524,00	4.920,00	5.421,00	5,58
Tupaciguara	4.350,00	3.209,00	4.510,00	4.259,00	4,39
Uberaba	27.556,00	29.963,00	47.751,00	53.687,00	55,30
Uberlândia	0,00	0,00	529,00	595,00	0,61
Total municípios	32.535,00	38.727,00	83.699,00	97.090,00	100,00
Total MG				706.067,00	13,75

Fonte: CANASAT (2010)

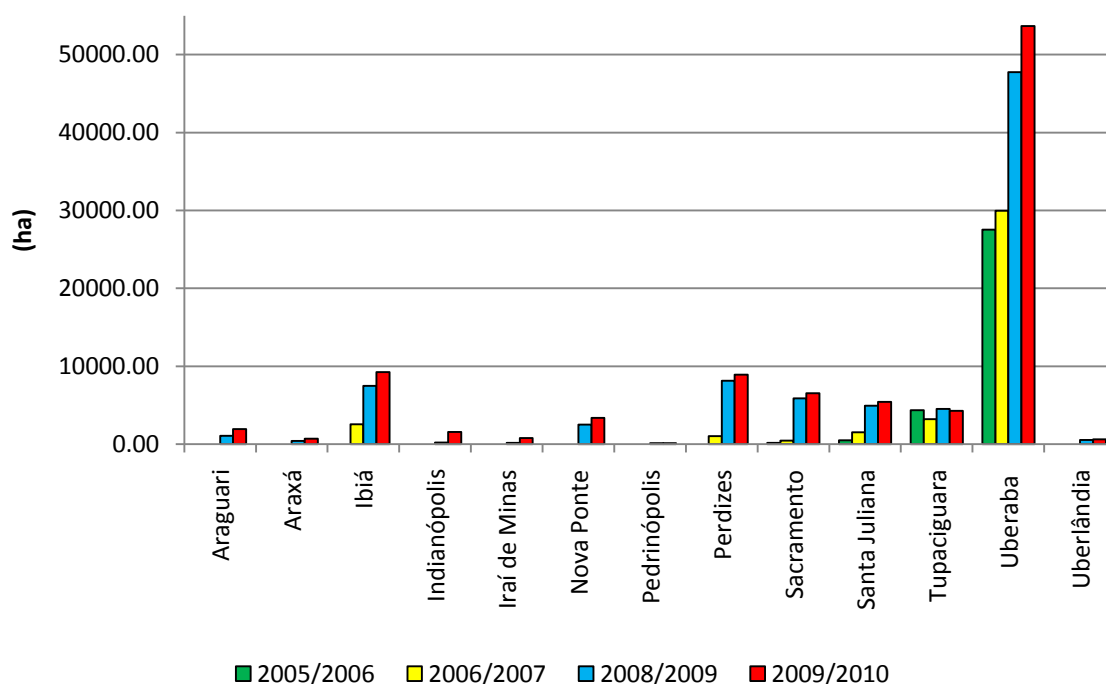


Gráfico 31: Área (ha) ocupada pelos municípios produtores de cana-de-açúcar inseridos na bacia do Rio Araguari-MG (safra 2005/2006 até 2009/2010)

O Município de Uberaba destaca-se por possuir mais da metade da área plantada com cana-de-açúcar na bacia, um total de 53.687,00, que corresponde a 55,30 % da área total da bacia. Muitos dos municípios pertencentes à bacia possuem produção recente, iniciada a partir da safra 2006/2007. O município de Uberlândia, por exemplo, apenas a partir da safra 2008/2009 passou a cultivar a cana-de-açúcar, possuindo área pouco expressiva em 2009/2010, cuja soma total não atingiu 1% da área da bacia.

Há uma diferença existente entre a área ocupada pela cana-de-açúcar quando considerado o limite político dos municípios (97.090,00 ha), e aquela quando se tem como base, apenas, a cana-de-açúcar inserida na bacia (50.130,51 ha). A Figura 39 ilustra essa diferença ao mostrar as áreas de cana-de-açúcar dentro e fora do limite da bacia.

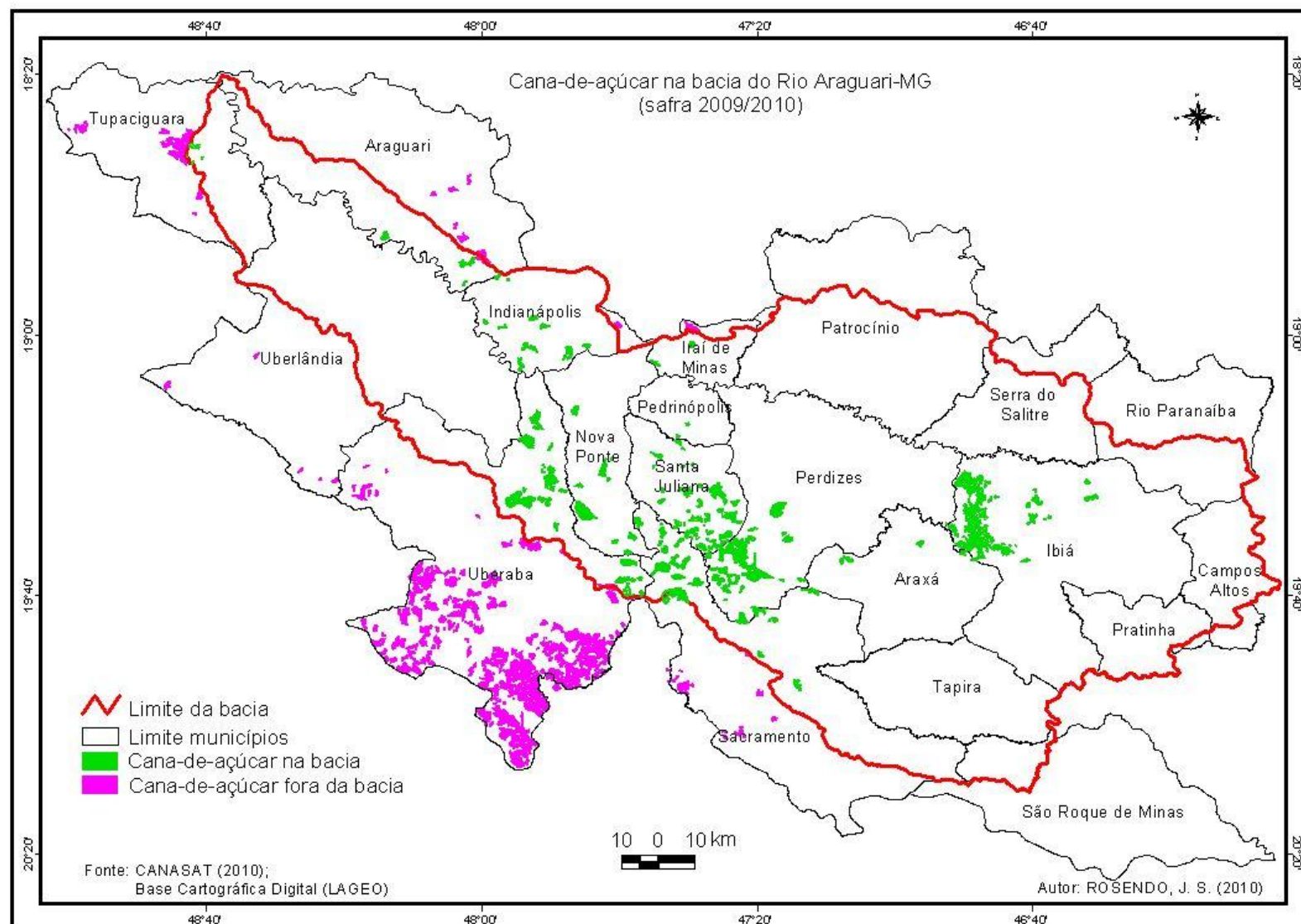


Figura 39: Mapa da cana-de-açúcar nos municípios inseridos na bacia do Rio Araguari-MG (safra 2009/2010)

8 MODIFICAÇÃO DE USO DA TERRA E CENÁRIOS PROPOSTOS PARA A BACIA DO RIO ARAGUARI (2020, 2050 E 2100)

8 MODIFICAÇÃO DE USO DA TERRA E CENÁRIOS PROPOSTOS PARA A BACIA DO RIO ARAGUARI (2020, 2050 E 2100)

A quantificação das perdas e/ou do potencial de sequestro de C pelos solos, por meio do aumento no estoque da matéria orgânica, é um desafio a ser superado à medida que se torna imprescindível a necessidade de avaliação em escala regional ou local. Nesta perspectiva, destaca-se a utilização de modelos de simulação, os quais permitem avaliar a dinâmica da matéria orgânica para períodos de tempo maiores que os alcançados nos experimentos em campo, sendo possível a realização de previsões. Neste contexto, o presente capítulo tem como finalidade associar os dados da previsão realizada pelo modelo Century à modificação de cenários futuros (2020, 2050 e 2100). Para tal, são apresentados como objetivos específicos:

- Avaliar o impacto no estoque de C em diferentes cenários levando-se em conta a expansão da cana-de-açúcar sobre áreas de pastagem degradada de acordo com os cenários:
 - a) Aumento de 100% da área plantada com cana-de-açúcar, até 2020, sobre a área de pastagem degradada, tendo como base a área de cana-de-açúcar presente em 2009;
 - b) Aumento de 15% da área plantada com cana-de-açúcar, até 2050, sobre a área de pastagem degradada, tendo como base a área de cana-de-açúcar estimada para 2020;
 - c) Aumento de 10% da área plantada com cana-de-açúcar, até 2100, sobre a área de pastagem degradada, tendo como base a área de cana-de-açúcar estimada para 2050.

- Avaliar o impacto no estoque de C em diferentes períodos levando-se em consideração a expansão da pastagem melhorada sobre áreas de pastagem degradada, de acordo com as seguintes simulações:
 - a) Aumento de 20% da área de pastagem melhorada, até 2020, sobre a área de pastagem degradada, tendo como base a área de pastagem melhorada presente em 2009;
 - b) Aumento de 20% da área de pastagem melhorada, até 2050, sobre a área de pastagem degradada, tendo como base a área de pastagem melhorada estimada para em 2020;
 - c) Aumento de 20% da área de pastagem melhorada, até 2100, sobre a área de pastagem degradada, tendo como base a área de pastagem melhorada estimada para em 2050.

8.1 Material e Métodos

Os materiais adotados neste capítulo foram os mesmos referidos no Capítulo 7.

8.1.1 Procedimentos Operacionais

A metodologia empregada para alcançar os objetivos propostos, nesta etapa, necessitou de duas fontes de dados:

- As áreas ocupadas pela cana-de-açúcar, pastagem melhorada e degradada no ano de 2009. Esses dados foram adquiridos mediante a utilização dos polígonos de uso da terra mapeados para as citadas culturas;

- As estimativas de estoque de C simuladas pelo Century para a cana-de-açúcar, pastagem melhorada e pastagem degradada para os períodos subsequentes (2020, 2050 e 2100).

De posse dos dados, procedeu-se a simulação do impacto no estoque de C a partir da conversão das áreas de pastagens degradada por melhorada e cana-de-açúcar, com base em taxas de expansão diferenciadas (explicitadas a frente).

8.2 Resultados e Discussão

Cerri (2008) revelou que nos próximos 10 anos, o Brasil precisará aumentar suas plantações de cana-de-açúcar em 4 a 6 milhões de hectares para suprir a demanda de etanol para exportação. Além disso,

(...) precisaremos de mais de 3 milhões de hectares para o plantio de oleaginosas para produção de biodiesel: palma, mamona, girassol, pinhão-manso, canola. Esse número ainda não é oficial, pois hoje o Brasil tem de adicionar 2% de biodiesel ao diesel, mas logo vai ter de adicionar 5%. Além disso, precisaremos aumentar a área de plantio de soja para produção de proteína, a área de plantio de algodão para produção de fibra, a área de plantio de eucalipto para produção de papel e móveis e também a área de plantio de alimentos. No total, precisaremos de 18 milhões a 20 milhões de hectares nos próximos dez anos. Podemos retirá-los das pastagens, sem desmatamento. Para isso, temos de melhorar as pastagens para podermos aumentar o número de cabeças de gado por hectare (CERRI, 2008).

A terra brasileira é suficiente para atender à ampliação do cultivo de alimentos – para o Brasil e para o mundo – assim como para o plantio das matérias-primas para os biocombustíveis. Um melhor manejo das pastagens liberaria ainda terra agricultável suficiente para o cultivo de *eucaliptus*, algodão, soja, leite e carne (CERRI, 2008).

Sano et al. (2008) estimaram mais de 54 milhões de hectares de pastagem cultivadas para o Cerrado, em que o estado de Minas Gerais é responsável por 11.838.147 ha. Ao se levar em

consideração a estimativa de que cerca de 80% do total de hectares de pastagens cultivadas no Brasil Central encontram-se em algum estágio de degradação, e o fato de que a produção animal em uma pastagem degradada pode ser seis vezes inferior ao de uma pastagem recuperada ou em bom estado de manutenção (MACEDO, 1995 apud BONATTO; MARTINS; BARROS, 2007), torna-se aceitável a justificativa da expansão da cana-de-açúcar, nessas áreas, visando o melhor aproveitamento delas, sem comprometer as áreas destinadas a produção de alimentos. A degradação das pastagens é um dos maiores problemas da pecuária do Brasil na atualidade (BONATTO; MARTINS; BARROS, 2007).

Cerri (2008) explanou que tomando como referência os mais de 200 milhões de hectares de pastagens de diferentes tipos, com diferentes graus de manejo, e um plantel de menos de 200 milhões de cabeças de gado, tem-se uma média de 0,9 cabeça de gado por hectare. Em uma pastagem bem manejada, a relação pode ser de três ou quatro cabeças por hectare, em média. Dessa forma, conclui que se “melhorarmos nossas pastagens, poderemos aumentar sua lotação. Com isso, sobrarão áreas de pastagem para ser convertidas em plantações de cana-de-açúcar e oleaginosas” (CERRI, 2008).

Não se trata, portanto, de uma expansão desenfreada da cana-de-açúcar, e sim, de ocupar as áreas onde há atualmente (2010) pastagens degradadas, favorecendo uma política de melhoria de pastagens por meio de calagem, adubação, controle de ervas daninhas, etc. Com isso, aumenta-se a produtividade de carne por hectare. Nesse sentido, ao apresentarmos as simulações a seguir, estamos levando em consideração as taxas de expansão da cana-de-açúcar e de pastagem melhorada para a bacia do Rio Araguari.

8.2.1 Impacto no estoque de C a partir da mudança de uso da terra estimada para 2020, 2050 e 2100

As simulações realizadas para a conversão das pastagens degradadas em cana-de-açúcar e pastagens melhoradas seguiu os moldes propostos por Cerri (2008). Neste contexto, justifica-se que as simulações realizadas previu que as áreas ocupadas por pastagens degradadas, na bacia do Rio Araguari-MG, em 2009, sejam recuperadas com intuito de maior aproveitamento das pastagens destinadas à produção de leite e carne. Além disso, que a expansão da cana-de-açúcar ocorra sobre as pastagens degradadas de tal forma que, em 2100, a área ocupada por pastagem degradada seja inferior a 1% da área observada em 2009.

As taxas de expansão da cana-de-açúcar e da pastagem melhorada sobre a pastagem degradada seguiram parâmetros diferenciados para os anos de 2020, 2050 e 2100. É importante destacar que a substituição da pastagem degradada se deu concomitantemente à expansão da cana-de-açúcar e pastagem melhorada.

Retomando os dados alcançados pelo mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal natural (Tabela 37), verifica-se que 600.055,99 ha são destinados à pecuária, caracterizando 29,73% da área da bacia. Como consequência da dificuldade de separação das pastagens degradada e melhorada, considerou-se, para efeito de simulação, que cada categoria de pastagem ocupa 50 % da área avaliada em 2009, ou seja, 300.027,99 ha. No caso da cana-de-açúcar, foi empregado o dado estimado pelo CANASAT, uma soma de 50.130,51 ha na área da bacia (2,48 %).

Conhecidas as proporções ocupadas com pastagens degradadas, pastagens melhoradas e a área plantada com cana-de-açúcar, na bacia, procedeu-se com as simulações balizadas nas seguintes cenários:

Pastagens degradada para pastagem melhorada:

- Aumento de 20% da área de pastagem melhorada, até 2020, sobre a área de pastagem degradada, tendo como base a área de pastagem melhorada presente em 2009 (aumento de 1,82% ao ano);
- Aumento de 20% da área de pastagem melhorada, até 2050, sobre a área de pastagem degradada, tendo como base a área de pastagem melhorada estimada para em 2020 (aumento de 0,67% ao ano);
- Aumento de 20% da área de pastagem melhorada, até 2100, sobre a área de pastagem degradada, tendo como base a área de pastagem melhorada estimada para em 2050 (aumento de 0,4% ao ano).

Pastagem degradada para cana-de-açúcar:

- Aumento de 100% da área plantada com cana-de-açúcar, até 2020, sobre a área de pastagem degradada, tendo como base a área de cana-de-açúcar presente em 2009 (aumento de 9,1% ao ano);
- Aumento de 15% da área plantada com cana-de-açúcar, até 2050, sobre a área de pastagem degradada, tendo como base a área de cana-de-açúcar estimada para 2020 (aumento de 0,5% ao ano);
- Aumento de 10% da área plantada com cana-de-açúcar, até 2100, sobre a área de pastagem degradada, tendo como base a área de cana-de-açúcar estimada para 2050 (aumento de 0,2% ao ano).

No tocante a previsão dos impactos para os períodos subseqüentes, fez-se o uso dos resultados da modelagem realizada pelo Century (apresentada no Capítulo 6), ao qual mediante consulta do arquivo resultante da simulação, foram selecionados os valores de estoque de C para 2020, 2050 e 2100. Os valores utilizados, nos diferentes períodos e tipos de cultura, são apresentados na Tabela 42.

Tabela 42: Valores utilizados nos diferentes períodos e tipos de cultura para os anos 2009, 2020, 2050 e 2100

Usos	Estoque de C medido (Mg ha ⁻¹)	Estoque de C simulado (Mg ha ⁻¹)		
	2009	2020	2050	2100
PDE	34,63	38,66	40,70	40,70
PME	43,92	48,85	56,28	56,28
CAN	48,73	42,59	47,26	47,26

PDE – Pastagem degradada PME – Pastagem Melhorada CAN – Cana-de-açúcar

Em virtude da modelagem no Century ter sido realizada apenas para a cana-de-açúcar e para as pastagens degradada e melhorada, não será estimado o impacto da conversão de culturas que não sejam as citadas.

Desse modo, verifica-se, na Tabela 43, que em 2009 (período base para as simulações), o estoque de C estimado foi de 26 Tg C para a área total ocupada pela pastagem degradada, pastagem melhorada e cana-de-açúcar. A pastagem melhorada responde por mais de 50% do total de estoque de C na área analisada, seguida da pastagem degradada, com 40%. Cabe destacar que estes quase 40% na soma total do estoque de C, é consequência da grande extensão atribuída à pastagem degradada, 46,14%. Era de se esperar a baixa participação da cana-de-açúcar no estoque de C na área (9,39 %) em decorrência da pouca área ocupada (7,71%).

Tabela 43: Impacto no estoque de C nas áreas ocupadas pela pastagem degradada, pastagem melhorada e cana-de-açúcar (2009)

Uso	Área (ha) 2009	Área (%)	Estoque C medido 2009 (Mg ha ⁻¹)	Estoque C total (Tg)	Estoque C (%)
Pastagem Degrada	30.0027,99	46,14	34,63	10,39	39,95
Pastagem Melhorada	300.027,99	46,14	43,92	13,18	50,66
Cana-de-açúcar	501.30,51	7,71	48,73	2,44	9,39
Total	650186.50	100,00		26,01	100,00

As previsões para o ano 2020 (Tabela 44) consideraram que a cana-de-açúcar aumentaria em 100% a sua área ocupada, expandindo-se, sobre as pastagens degradadas, aumentando de 50.130,51 ha (2009) para 100.261,02 ha (2100). Paralelamente a isto, as áreas de pastagens melhoradas aumentariam 20%, também ocupando as áreas que hoje são ocupadas com as pastagens degradadas. Como resultado, em 2020, restariam ainda 29,21 % da área inicial da pastagem degradada. A taxa de expansão utilizada na simulação deste período, para a cana-de-açúcar, pode parecer exagerada, 9,1 % ano, contudo, é preciso lembrar que, atualmente, essa expansão se dá a 16% (CANASAT, 2010). Neste panorama, a pastagem degradada ainda possui maior participação que a cana-de-açúcar no estoque de C mensurado, 25,14 % e 14,62 %, respectivamente, ao qual a cana-de-açúcar ocupa 15,42 % da área comparados aos mais de 29 % da pastagem degradada. A pastagem melhorada, em todas as previsões realizadas, destaca-se como o uso de maior predominância em termos de área, e, conseqüentemente no estoque total de C.

Tabela 44: Impacto no estoque de C nas áreas ocupadas pela pastagem degradada, pastagem melhorada e cana-de-açúcar (2020)

Uso	Área (ha) 2020	Área (%)	Estoque C simulado 2020 (Mg ha ⁻¹)	Estoque C total (Tg)	Estoque C%
Pastagem Degrada	18.9891,89	29,21	38,66	7,34	25,14
Pastagem Melhorada	36.0033,59	55,37	48,85	17,59	60,23
Cana-de-açúcar	100.261,02	15,42	42,59	4,27	14,62
Total	650.186,50	100,00		29,20	100,00

Levando-se em consideração que ocorrerá uma desaceleração da expansão canavieira sobre novas áreas, foi contabilizado o impacto no estoque de C a uma taxa de 0,5 % ao ano de 2010 até 2050 (Tabela 45). A partir deste momento, percebe-se, uma modificação do padrão vislumbrado nos períodos anteriores, em que a cana-de-açúcar passa a ocupar uma extensão maior que a pastagem degradada, 17,73 % da área, e em contrapartida responde por 16,05%

do estoque de C. Concomitante a isto, a pastagem melhorada passa a ocupar 56,28% da área, representando mais de 70% do estoque de C total.

Tabela 45: Impacto no estoque de C nas áreas ocupadas pela pastagem degradada, pastagem melhorada e cana-de-açúcar (2050)

Uso	Área (ha) 2050	Área (%)	Estoque C simulado 2050 (Mg ha ⁻¹)	Estoque C total (Tg)	Estoque C %
Pastagem Degrada	102.846,01	15,82	40,70	4,19	12,33
Pastagem Melhorada	432.040,31	66,45	56,28	24,32	71,62
Cana-de-açúcar	115.300,17	17,73	47,26	5,45	16,05
Total	650.186,50	100,00		4,19	100,00

As simulações para o ano 2100 se encerraram mantendo a tendência do período anterior, em que, a partir de 2050, a taxa de aumento no cultivo da cana-de-açúcar se dá a cifras menores, a 0,2 % ao ano, enquanto que para a pastagem melhorada ocorre a uma taxa anual de 0,4 %. É perceptível que as taxas de expansão utilizadas tanto para a cana-de-açúcar, quanto para a pastagem melhorada, permitiram, ao final do período analisado, a eliminação quase que completa da área ocupada pela pastagem degradada. Com isso, houve uma reconfiguração do cenário vislumbrado, em 2009, pois em 2100 a pastagem degradada ocupa apenas 0,75% da área, e, representa 0,51 % do estoque de C avaliado. A pastagem melhorada passa a simbolizar mais de 80% do estoque total de C em seus mais de 500.000,00 ha simulados. A cana-de-açúcar atingiu um patamar de ocupação da área em quase 20%, em que cerca de 17% do estoque de C é atribuído à cultura.

Tabela 46: Impacto no estoque de C nas áreas ocupadas pela pastagem degradada, pastagem melhorada e cana-de-açúcar (2100)

Uso	Área (ha) 2100	Área (%)	Estoque C simulado 2100 (Mg ha ⁻¹)	Estoque C total (Tg)	Estoque C%
Pastagem Degradada	4.907,94	0,75	43,89	0,22	0,51
Pastagem Melhorada	518.448,37	79,74	66,99	34,73	82,19
Cana-de-açúcar	126.830,19	19,51	57,64	7,31	17,30
Total	65.0186,50	100,00		42,26	100,00

Os gráficos Gráfico 32 e Gráfico 33 ilustram as simulações realizadas frente ao impacto no estoque de C em consequência da melhoria das pastagens e o aumento da área plantada com cana-de-açúcar, nos períodos de 2009 a 2100. Em ambos os casos, percebe-se que, à medida que ocorre a subtração da pastagem degradada, há um aumento considerável da pastagem melhorada, e em menor escala, da cana-de-açúcar.

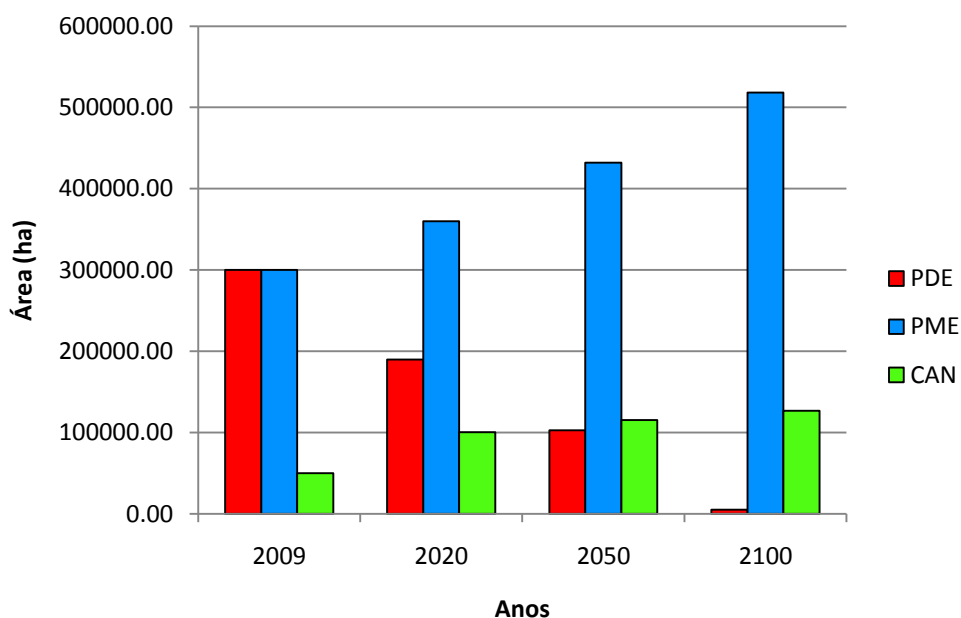


Gráfico 32: Expansão (ha) da cana-de-açúcar e pastagem melhorada sobre as áreas destinadas às pastagens degradadas (2009 a 2100)

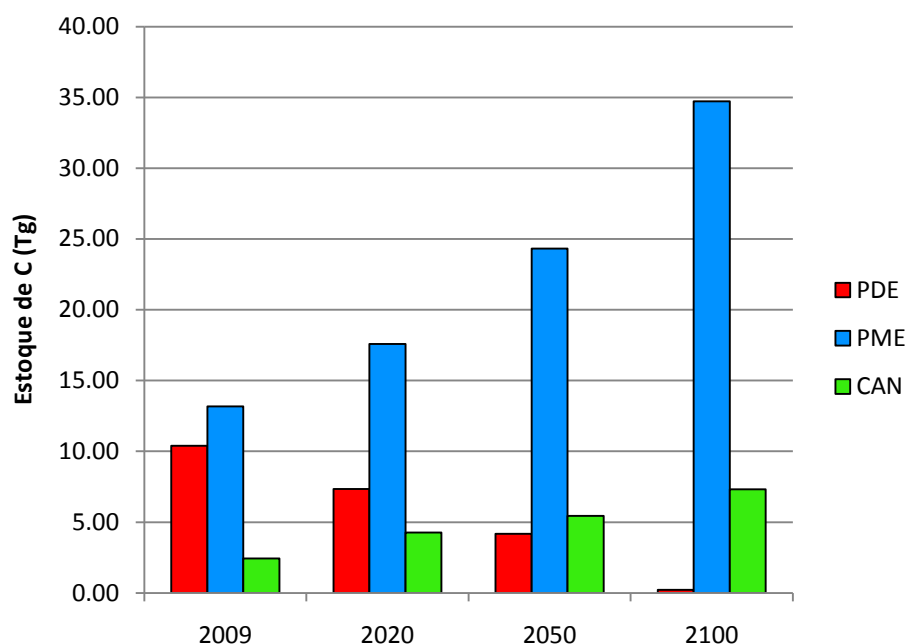


Gráfico 33: Impacto no estoque de C da expansão da cana-de-açúcar e pastagem melhorada sobre as áreas destinadas às pastagens degradadas (2009 a 2100)

8.2.2 Impacto das mudanças de uso da terra propostas no estoque de C da bacia do Rio Araguari-MG (2020, 2050 e 2100)

O impacto no estoque de C, proveniente das mudança de uso da terra, em decorrência do desaparecimento quase que total das áreas com pastagens degradadas em substituição pela cana-de-açúcar e pastagem melhorada, pode ser observado pela análise dos dados presentes na Tabela 47. Para esta estimativa, foram utilizados:

- A primeira faz menção ao estoque de C das classes de uso que não foram modeladas no Century, neste caso, os valores utilizados para as estimativas, em 2010, 2050 e 2100, permaneceram os mesmos que em 2009;
- A segunda utiliza os dados gerados pelo modelo Century para as culturas simuladas até 2100. Sendo assim, em 2020, 2050 e 2100 serão computados os valores de estoque

de C mensurados pelo Century para a cana-de-açúcar, pastagem melhorada e degradada.

A Tabela 47 aponta o resultados pertinentes ao impacto no total do estoque de C estimado para a bacia do Rio Araguari, a partir da mudança de uso proposto, apenas, para a pastagem melhorada, degradada e cana-de-açúcar. Dessa forma, para esta estimativa, considerou-se que ao final do período 2100, as outras culturas presentes na área da bacia permaneceriam com o estoque de C idêntico a 2009 (Gráfico 34).

Como era de se esperar, houve aumento do total armazenado em todos os períodos simulados (Gráfico 35). Há que se considerar também que esta é uma simulação, tendo em vista que não houve modificação nos outros usos. Caso isso ocorresse, o impacto da conversão poderia ser outro, principalmente quando se observa o potencial em estocar C das culturas anuais (plantio direto).

Tabela 47: Impacto no estoque de C da bacia do Rio Araguari-Mg a partir da substituição da pastagem degradada por melhorada e cana-de-açúcar (2009, 2020, 2050 e 2100)

Usos	2009		2020		2050		2100	
	Estoque C Total (Tg)	Área (ha)	Estoque C Total (Tg)	Área (ha)	Estoque C Total (Tg)	Área (ha)	Estoque C Total (Tg)	Área (ha)
Cerradão/Mata	11,18	256.437,00	11,18	256.437,00	11,18	256.437,00	11,18	256.437,00
Cerrado	1,29	33.790,11	1,29	33.790,11	1,29	33.790,11	1,29	33.790,11
Campo Sujo	12,92	393.717,80	12,92	393.717,80	12,92	393.717,80	12,92	393.717,80
Campo Limpo	3,78	115.351,29	3,78	115.351,29	3,78	115.351,29	3,78	115.351,29
Reflorestamento	2,76	71.106,82	2,76	71.106,82	2,76	71.106,82	2,76	71.106,82
Pastagem Melhorada	13,18	300.027,99	17,59	360.033,59	24,32	432.040,31	34,73	518.448,37
Pastagem Degradada	10,39	300.027,99	7,34	189.891,88	4,19	102.846,01	0,22	4.907,93
Cultura Anual	18,99	391.657,87	18,99	391.657,87	18,99	391.657,87	18,99	391.657,87
Cana-de-açúcar	2,44	50.130,51	2,44	100.261,01	2,44	115.300,17	2,44	126.830,18
Cultura Anual Irrigada	1,66	33.526,44	1,66	33.526,44	1,66	33.526,44	1,66	33.526,44
Cultura Perene (Café)	0,16	3.542,16	0,16	3.542,16	0,16	3.542,16	0,16	3.542,16
Influência Mineral	-	1.213,07	-	1.213,07	-	1.213,07	-	1.213,07
Influência Urbana	-	2.0667,93	-	2.0667,93	-	2.0667,93	-	2.0667,93
Água	-	4.7403,02	-	4.7403,02	-	4.7403,02	-	4.7403,02
Total	78,75	2.018.600,00	81,93	2.018.600,00	86,69	2.018.600,00	94,99	2.018.600,00

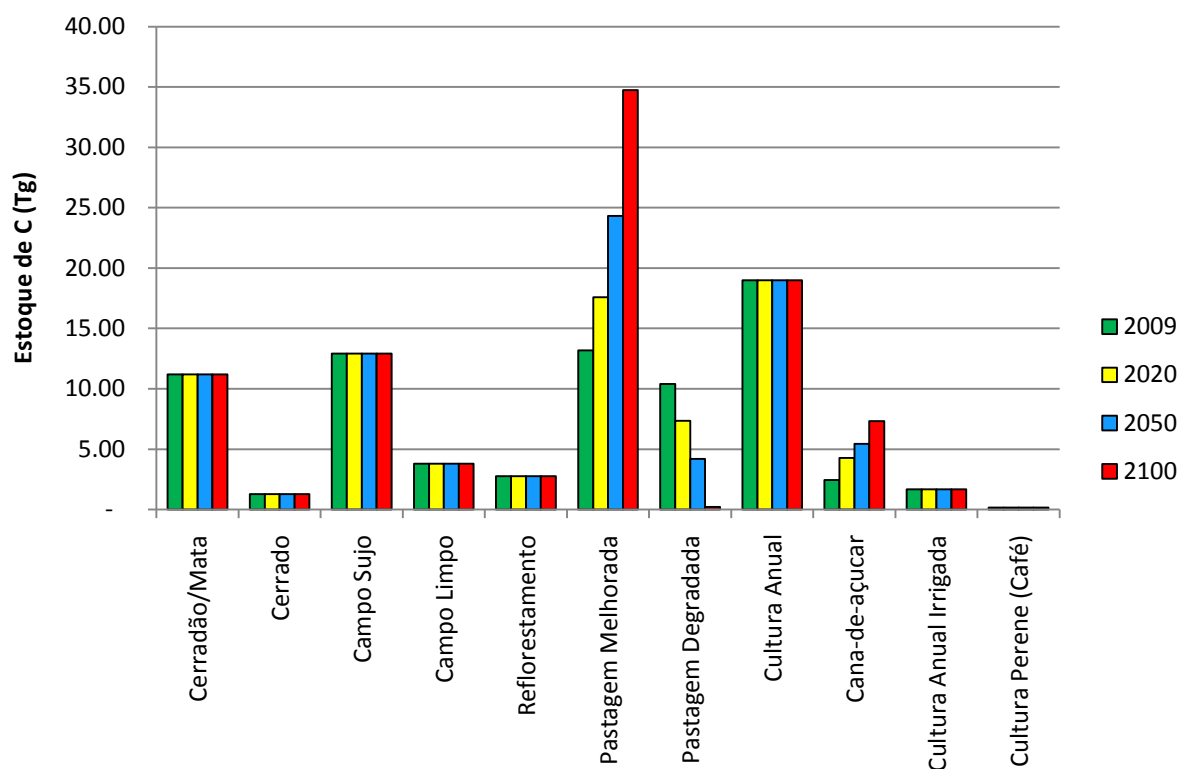


Gráfico 34: Impacto no estoque de C da bacia do Rio Araguari-MG a partir da modificação de uso nas áreas sob cana-de-açúcar, pastagens degradada e melhorada (2009, 2020, 2050 e 2100)

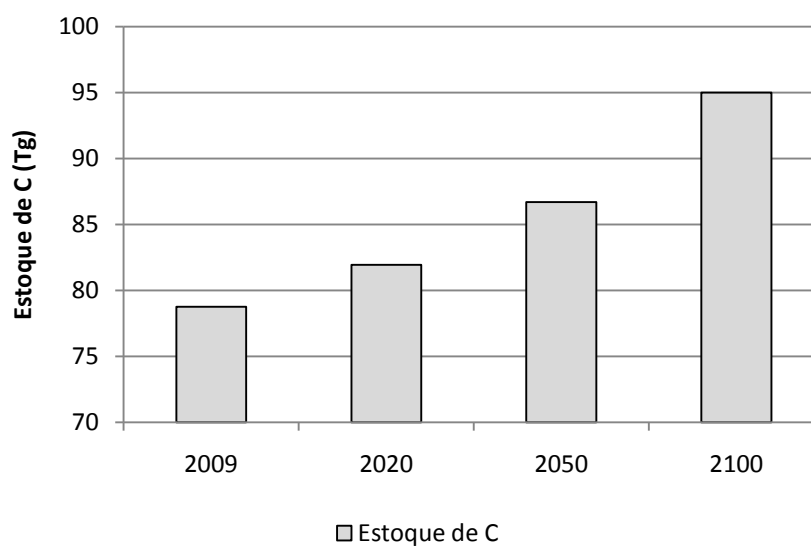


Gráfico 35: Estoque de C para a bacia do rio Araguari considerando a modificação de uso nas áreas sob cana-de-açúcar, pastagens degradada e melhorada (2009, 2020, 2050 e 2100)

A mudança de paradigma proposta por Cerri (2008) e aplicada à melhoria das áreas sob pastagens degradadas, assim como a conversão destas em canaviais, armazenou um total de mais de 16 Tg de C no solo de 2009 a 2100. Considerando que cerca de 80% das áreas com pastagens cultivadas apresentam algum grau de degradação, é de extrema importância que o poder público tome iniciativa para recuperação destas. Para isso, deve-se levar em conta, não somente a importância da produção sustentável visando a adequação entre o suprimento e a demanda de alimentos para abastecer o mercado interno e externo, mas os fatores ambientais que também norteiam essa recuperação.

Quando se fala em melhoria de pastagens degradadas, deve-se pensar também nos custos para o produtor. E destacar que, sem haver compensação financeira ou subsídio governamental de pelo menos parte do custo efetivo total, a adesão da iniciativa será baixa. Tonato, Barione e Pedreira (2010) relataram que o descaso com as áreas de pastagens é histórico e decorre de uma mentalidade extrativista que até hoje perdura na atividade pecuária. Como exemplo, os autores citaram pecuaristas que tradicionalmente consideram o boi como reserva de capital e a bovinocultura como atividade de baixo risco, ou então, atividade cujo intuito principal é a posse da terra (VEIGA et al., 2004 apud TONATO, BARIONE; PEDREIRA, 2010).

Embrapa (2010) estimou que os custos da recuperação direta e da manutenção de um hectare de pastagens, com despesas relacionadas à utilização de insumos (calcário, superfosfato simples, cloreto de potássio, uréia, etc.) e máquinas/serviços (terraceamento, distribuição de calcário, gradagem aradora, dentre outros) giram em torno de R\$ 368,03 por hectare, mais R\$ 135,00 com adubação de manutenção (total de R\$ 503,03).

Considerando-se uma propriedade rural cuja área de 100 ha destina-se à pecuária de corte, e que desse total, 50 % constitui-se de pastagens degradadas, o custo para melhoria deste percentual seria de R\$ 25151,50, com base no exposto por Embrapa (2010).

A comercialização de crédito de carbono por atividades agrícolas não é considerada como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e não podem ser convertidos em vantagens econômicas, pelo acordo estabelecido no Protocolo de Kyoto e nas diretrizes do MDL. Atualmente, a tonelada de carbono dos projetos de MDL é vendida em torno de US\$ 5,00 a 6,00, para projetos que obedeçam todas as premissas do Protocolo de Quioto. Entretanto, outras alternativas de comercialização (iniciativas voluntárias) se apresentam, com regras mais flexíveis, como a CCX (Chicago Climate Exchange - Bolsa do Clima de Chicago), onde os preços para a tonelada são mais baixos (em torno de US\$ 0,90).

Entretanto, iniciativas já foram tomadas para mudança dessa situação. Produtores rurais dos Estados Unidos poderão aumentar sua renda vendendo créditos de carbono se o Senado aprovar o projeto de lei que instaura um sistema de redução nas emissões no país. A opção de comprar créditos gerados pela agricultura é prevista na proposta norte-americana e poderia ser utilizada pelas empresas para cumprir parte de suas metas (GONÇALVES, 2009).

Trata-se de um instrumento similar ao MDL do Protocolo de Kyoto, que permite a empresas de países desenvolvidos realizar parte de suas metas comprando créditos de carbono de projetos de nações em desenvolvimento.

Gonçalves (2009) explicou que, no sistema proposto nos EUA, a receita dos produtores rurais aumentaria gradativamente à medida que as metas se tornassem mais severas, com efeito direto no preço do carbono, que subiria de US\$ 13 a tonelada (2012) para US\$ 16

(2020), US\$ 27 (2030) e US\$ 70 (2050), de acordo com as projeções da EPA (Agência de Proteção Ambiental).

Gonçalves (2009) ainda expôs que projetos mais associados ao cultivo, com boas práticas como o plantio direto, apresentam inúmeros desafios metodológicos. Isso explica em boa parte a ausência no MDL de propostas associadas ao manejo do solo. Uma das dificuldades é medir a quantidade de carbono, que varia em função da lavoura, do tipo de solo e do manejo nele efetuado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da pesquisa mostraram que a agricultura e a pecuária possuem elevado potencial para estocar C no solo. O estoque médio de C dos diferentes usos da terra presentes na bacia do Rio Araguari variou de 34,63 Mg C ha⁻¹ a 49,64 Mg C ha⁻¹, na profundidade 0-20 cm. Estes são valores relativos às médias da pastagem degradada (PDE) e cultura anual irrigada (CAI), respectivamente.

Para a profundidade de 20-40 cm, a menor estimativa observada pertence também a PDE, com aproximadamente 27,51 Mg C ha⁻¹, sendo o valor máximo estimado relativo à média dos estoques de C presentes nas áreas de café (CAF). As áreas de CER, que representam o sistema de referência dessa pesquisa, apresentaram valores de 38,05 Mg C ha⁻¹ para a profundidade 0-20 cm, e 26,80 Mg C ha⁻¹, para 20-40 cm.

Com exceção da pastagem degradada, todos os usos da terra apresentaram valores médios de estoque de C superiores ao cerrado na profundidade 0-20 cm, enquanto que na profundidade 20-40 cm, todos os usos apresentaram estoques de C superiores aos do Cerrado. A sequência de dados para a profundidade 0-20 cm obedeceu a seguinte ordem decrescente: CAI ~ CAN ~ PDI > CAF ~ PME > REF ~ CER > PDE. Para a profundidade 20-40 cm, ocorreram modificações na sequência visualizada na camada superficial (0-20 cm), onde: CAF ~ PDI ~ PME ~ CAI ~ CAN ~ REF > PDE ~ CER¹⁶.

A análise dos resultados permitiu concluir que a textura argilosa do solo, em alguns usos, pode ser considerada como fator determinante para reduzir as perdas de C orgânico. Todavia,

¹⁶ As siglas significam: CAI (Cultura Anual Irrigada); CAN (cana-de-açúcar); PDI (Plantio Direto); CAF (Café); PME (Pastagem Melhorada); REF (Reflorestamento); PDE (Pastagem Degradada) e CER (Cerrado).

a CAI e o PDI foram os únicos a apresentarem correlação negativa da argila com o estoque de C. Nesse caso, foi possível concluir que a argila não influenciou na manutenção do C nos solos desses usos e que os valores elevados de estoque de C apresentados pela CAI (49,64 Mg C ha⁻¹) e PDI (48,48 Mg C ha⁻¹) são consequência do manejo do solo adotado nestas culturas, ou seja, o sistema de plantio direto.

No tocante a utilização do Century, verificou-se que a calibração do modelo alcançou bons resultados, uma vez que os valores de COT mensurados em campo foram muito semelhantes aos estimados pelo Century. Desse momento em diante, tornou-se possível a obtenção de simulações confiáveis de diversos cenários.

O modelo apontou, independente do sistema de manejo, o potencial das pastagens em manter ou melhorar o estoque de C no solo. Em 2009, a PME apresentou 7,48 Mg C ha⁻¹ a mais que o CER, ao passo que a PDE, embora o acúmulo tenha sido baixo, também manteve a tendência em estocar C desde 1986, período de implantação, até 2009, em que 2,06 Mg C ha⁻¹ foi armazenado em um solo que não contou com nenhum tipo de manejo.

O resultado mais expressivo do C estocado, para as simulações até 2100, ocorreu para a PME, que em relação ao CER, armazenou 29,58 Mg C ha⁻¹, a uma taxa de adição anual de C de 0,33 Mg C ha ano⁻¹. Com relação à mudança de uso da terra simulada, a substituição da PDE por PME estocou 28,82 Mg C ha⁻¹ a mais que o CER, a uma taxa de adição anual de 0,32 Mg C ha ano⁻¹. A substituição da PME por CAN obteve acréscimo de 25,54 Mg C ha⁻¹ ao final de 2100 com taxa de adição anual de C de 0,28 Mg C ha ano⁻¹.

Diante dos resultados apresentados a partir da modelagem realizada pelo Century para as áreas sob cana-de-açúcar (CAN), pastagem melhorada (PME) e pastagem degradada (PDE), foi possível concluir que das culturas avaliadas, a que apresentou maior potencial em armazenar C no solo até o ano 2100 foi a PME, tanto na continuidade de manejo da área, que

em 2009 era destinada a PME (66,99 Mg C ha⁻¹), quanto na substituição da PDE por PME a partir de 2010 até 2100, quando passa a armazenar no solo 66,23 Mg C ha⁻¹. Dessa forma, se os cenários vislumbrados pelo Century estiverem corretos, confirmariam o exposto por Embrapa (2004) sobre o potencial das pastagens em acumular mais C no solo do que aquele presente sob vegetação nativa.

A modelagem até o ano 2100 revelou o potencial das pastagens em manter ou melhorar o estoque de C no solo independente do sistema de manejo, pois, em 2009, a PME apresentou 7,48 Mg C ha⁻¹ a mais que o CER, ao passo que a PDE, embora o acúmulo tenha sido baixo, também manteve a tendência em estocar C desde 1986, período de implantação, até 2009, em que 2,06 Mg C ha⁻¹ foi armazenado em um solo que não contou com nenhum tipo de manejo.

A simulação da continuidade do manejo na PME e PDE apresentou resultados dentro do esperado, ou seja, a PME manteve a tendência em acumular C no solo verificada até o ano 2009, apresentando em 2100 um total de 66,99 Mg C ha⁻¹, um incremento total de 29,58 Mg C ha⁻¹ com relação ao estoque de C mensurado em 2009.

Considerando os resultados alcançados a partir da modelagem da PDE, é notório o potencial da gramínea em acumular C no solo, mesmo sem manejo adequado. Ao final do ano 2100, a PDE apresentou 43,89 Mg C ha⁻¹ estocado no solo, 6,48 Mg C ha⁻¹ a mais que no início da simulação, em 2009. A modelagem da CAN simulou um incremento de 20,23 Mg C ha⁻¹ do ano 2009 até 2100, alcançando, ao final do período de 91 anos, um total de 57,64 Mg C ha⁻¹.

A partir do mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal foi possível a quantificação das diferentes categorias de uso presentes na bacia do Rio Araguari-MG. São apresentados adiante os percentuais de área avaliados para os períodos de 1973 e 2009, aos quais foram distribuídos da seguinte forma: Cerradão/Mata (16,89 % em 1973 e 12,70 % em 2009); Cerrado (7,26 % em 1973 e 1,67 % em 2009); Campo Sujo (52,60 % em 1973 e 19,60 % em

2009); Campo Limpo (8,59 % em 1973 e 5,71 % em 2009); Reflorestamento (0,90 % em 1973 e 3,52 % em 2009); Pastagem (10,55 % em 1973 e 29,73 % em 2009); Cultura Anual (2,39 % em 1973 e 19,40 % em 2009); Cana-de-açúcar (2,48 % em 2009); Cultura Anual Irrigada (1,66 % em 2009); Cultura Perene – Café (0,18 % em 2009); Influência Mineral (0,006 % em 2009); Influência Urbana (0,53 em 1973 e 1.02 % em 2009); Água (0,30 % em 1973 e 2,35 % em 2009).

Verificou-se que, em 1973, 85,34% da área apresentava-se coberta por vegetação natural, enquanto apenas 14,66% estava ocupada pela agricultura e pecuária. Já em 2009, constatou-se o oposto, já que 60,41% da área destinava-se à agricultura e pecuária, enquanto 39,60% da área encontrava-se coberta com vegetação natural.

Os dados mais expressivos da modificação do uso da terra desde 1973 até 2009 fazem referência à substituição da vegetação natural de Cerrado e Campo Sujo. Foi analisado que quase 77% da área total ocupada pelo Cerrado foi desmatada, fato notado pela apreciação das cifras que demonstram que, do total de 7,26 % da área ocupada por Cerrado em 1973, restou apenas 1,67 %, em 2009. Com relação ao Campo Sujo, observou-se o desmatamento de mais da metade da área ocupada por esta fitofisionomia, permanecendo preservado, em 2009, pouco mais de 19% do total mensurado em 1973. Conclui-se que quase 63 % da área total de Campo Sujo foi desmatada para dar lugar às áreas agrícolas e pastagens. Estas áreas sofreram uma maior pressão por parte da agricultura e pecuária em virtude da aptidão agrícola (embora possuam solos ácidos com elevado teor de alumínio, são facilmente corrigíveis), principalmente pela sua localização em terrenos planos (especialmente de chapadas), o que facilita a mecanização.

Da área total da bacia (em 2009), mais de 60% são ocupados pelo uso antrópico; destes, quase a metade, ou seja, 29,37 %, destinam-se à pecuária, configurando-se na atividade econômica

predominante na área. No entanto, as culturas anuais (plantio direto) também representam uma parcela significativa da atividade econômica dos municípios presentes na bacia, com um total de 19,40%, ao passo que as culturas anuais irrigadas, 1,66 %. As áreas de reflorestamento de *Pinus* e *Eucaliptus*, juntas, ocupam 3,52 % da área. Já as áreas de cultura perene, mais especificamente, o café, apenas 0,18 %. A cana-de-açúcar apresenta total de 2,48% da área da bacia, em 2009.

Embora recente, a cana-de-açúcar apresenta taxas de crescimento anual elevadas para os municípios inseridos na bacia. Desde a safra 2005/2006 até 2009/2010 foi de 198,41 %, ou seja, a produção de cana-de-açúcar cresceu a uma taxa média de 49,60 % ao ano. Em que houve uma taxa de crescimento de 19,03% da safra 2006/2007 com base na safra 2005/2006, uma taxa de crescimento de 116,12% da safra 2008/2009 com base a safra 2006/2007, e uma taxa de crescimento de 16,00% da safra 2009/2010 com base na safra anterior 2008/2009.

O mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal permitiu a contabilização do impacto no estoque de C, em 1973 e 2009, a partir da multiplicação da área de cada uso por seu estoque de C correspondente. Em 1973, o carbono estocado no solo era oriundo, em sua maior parte, da vegetação natural, sendo que 34,80 Tg C (quase 50% da estimativa total de C) dos mais de 71,00 Tg C, provenientes da vegetação de campo sujo (maior área em percentuais também). O Cerradão/Mata estocavam 14,86 Tg C, enquanto que o Cerrado respondia por 5,58 Tg C e o Campo Limpo, por cerca de 5,7 Tg C.

Em 2009, verifica-se o oposto, ao qual, a maior parte do C armazenado se deu pelas atividades agropecuárias, com maior contribuição das culturas anuais baseadas no sistema de plantio direto, quase 19 Tg C em função da maior área ocupada (391.657.90 ha) e dos 48,48 Mg C ha⁻¹ estocado por hectare.

A hipótese de que o manejo adequado das áreas agrícolas permite o aumento do estoque de carbono do solo foi verificada a partir da aferição dos dados que revelaram que, depois das culturas anuais, as pastagens melhoradas se configuraram como a classe de uso que mais armazenou C no solo, em 2009 (13,18 Tg). Em termos gerais, menos de 40% da área da bacia ainda possuía vegetação natural, esse montante armazenou mais de 29 Tg C (37 % do estoque de C estimado para toda a bacia). O Campo Sujo (19,50 % área) e Cerradão/Mata (17,70 % da área) estocaram, juntos, mais de 24 Tg C.

Dados do CANASAT, programa de mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da Terra, revelaram que, em 2010, a área ocupada pela cana-de-açúcar em Minas Gerais alcançou 706.067,00 ha. A produção de cana-de-açúcar nos municípios inseridos na bacia do Rio Araguari somam, na safra 2009/2010, um total de 97.090,00 ha. Esse valor representa 13,75 % da produção total de Minas Gerais.

A demanda internacional por cana-de-açúcar pode ser suprida se áreas sob pastagens degradadas forem ocupadas pelos canaviais. Para abastecer a necessidade de alimentos, seria imprescindível que houvesse também a recuperação das pastagens degradadas. Estes são os moldes apresentados por Cerri (2008) e, tomando-os como base, realizamos algumas simulações de avanço da cana-de-açúcar em detrimento das pastagens degradadas, além, da conversão das pastagens degradadas em melhoradas para os anos 2020, 2050 e 2100. Para tal, utilizamos os resultados de estoque de C, avaliados pelo Century, para a cana-de-açúcar, pastagens degradada e melhorada, no que diz respeito às taxas de conversão de área diferenciadas para cada período.

Enfatizamos que não se trata de defender uma expansão desenfreada da cana-de-açúcar, e sim, de ocupar as áreas onde há, atualmente (2010), pastagens degradadas e favorecer uma política de melhoria de pastagens, por meio de calagem, adubação e controle de ervas daninhas. Com

isso, aumenta-se a produtividade de carne. Nesse sentido, ao apresentarmos as simulações a seguir, estamos levando em consideração as taxas de expansão da cana-de-açúcar e de pastagem melhorada para a bacia do Rio Araguari.

O objetivo das simulações realizadas é reduzir a quase zero a área de pastagem degradada e, em contrapartida, aumentar a área com pastagens manejadas, em concomitância ao avanço da cana. Sendo assim, estimamos que do total de 600.055,99 ha ocupados pela pastagem na bacia do Rio Araguari-MG, 50 % (300.027,99 ha) são degradadas e os outros 50% são melhoradas. Para a cana-de-açúcar, empregou-se a área avaliada pelo CANASAT (2010): uma soma de 50.130,51 ha na área da bacia. Desse modo, verifica-se que, em 2009 (período base para as simulações), o C estocado no solo pelas três culturas foi estimado em 26 Tg C.

A pastagem melhorada responde por mais de 50% do total de estoque de C na área analisada, seguida da pastagem degradada, com 40%. Cabe destacar que estes quase 40% na soma total do estoque de C, é consequência da grande extensão atribuída à pastagem degradada, 46,14% da área. Era de se esperar a baixa participação da cana-de-açúcar no estoque de C na área (9,39 %), em decorrência da pouca área ocupada.

Ao final do ano 2100, a partir de taxas de expansão diferenciadas, tanto para a cana-de-açúcar, quanto para a pastagem melhorada, foi simulada a eliminação quase que completa da área ocupada pela pastagem degradada na bacia do Rio Araguari. Com isso, houve uma reconfiguração do cenário vislumbrado, em 2009, pois, em 2100, a pastagem degradada ocupa apenas 0,75% da área e representa 0,51 % do estoque de C avaliado (0,21 Tg C). A pastagem melhorada passa a simbolizar mais de 80% do estoque total de C em seus mais de 500.000,00 ha simulados e quase 35,00 Tg C. A cana-de-açúcar atingiu um patamar de ocupação da área em quase 20%, do qual cerca de 17% do estoque de C é atribuído à cultura (7,31 Tg C).

A substituição proposta para usos acarretou, ao final do ano 2100, um montante de mais de 16 Tg C para toda a área da bacia. Contudo, vale ressaltar que esta é apenas uma simulação tendo em vista que não houve modificação nos outros usos, apenas a cana-de-açúcar, pastagem degradada e melhorada e que, caso ocorresse, o impacto da conversão poderia ser outro, principalmente quando se observa o potencial em estocar C das culturas anuais (plantio direto).

Com base no exposto e considerando que cerca de 80% das áreas com pastagens cultivadas apresentam algum grau de degradação, é de extrema importância que o poder público tome iniciativa para recuperação destas. Para isso, deve-se levar em conta, não somente a importância da produção sustentável, visando a adequação entre o suprimento e a demanda de alimentos para abastecer o mercado interno e externo, mas os fatores ambientais que também norteiam essa recuperação.

Assim, seria de fundamental importância o incentivo à melhoria das pastagens associada à diminuição de custos, o que pode ser viabilizado através da mudança no manejo (a partir da adubação e calagem). Também é possível adotar as modernas técnicas de integração lavoura-pecuária, que promovem o uso racional da terra, ao misturar áreas agrícolas e pastagens, e o sistema de semiconfinamento, que implica trazer comida para o animal. Além da *Brachiaria*, podem ser incorporadas outras plantas, como leguminosas, que melhoram a alimentação do gado. Isso reduz o tempo necessário até o abate e permite ampliar o rebanho sem aumentar a área de pastagem.

A metodologia empregada alcançou os objetivos propostos por esta pesquisa. Contudo, há que se mencionar alguns problemas observados. O primeiro deles faz referência à grande diversidade de textura nos solos amostrados, para os diferentes usos. Sabendo-se que a textura

é um dos fatores determinantes do estoque de C, tentou-se reduzir esse falha ao utilizar, para as análises, os valores médios das amostras coletadas.

O emprego do modelo Century para as simulações de carbono orgânico total (COT) estimou o estoque de C, da CAN, PME e PDE, muito similares aos mensurados em campo. A dificuldade observada, neste caso, está no fato de que as culturas modeladas distam, de metros a alguns quilômetros, entre si, tendo, como consequência, a variação da textura analisada. Além disso, as áreas de cana-de-açúcar, relativamente recentes na região, podem ter acrescentado, ao seu estoque de C, o efeito do cultivo recente.

O cálculo do total de C estocado para a bacia do Rio Araguari-MG, em 1973 e 2009, foi possível a partir da utilização de imagens do satélite Landsat. O mapeamento permitiu a separação das classes de uso que foram associadas ao estoque de C determinado para cada uso. Dessa forma foi contabilizado o C estocado em 1973 e em 2009. Vale ressaltar que essas estimativas podem ter sido sub ou superestimadas, ao considerarmos a mencionada diversidade de textura encontrada nas amostras de solo para a bacia. Uma alternativa para solucionar esse problema seria a efetivação de pesquisas em áreas com menor extensão.

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

ADUAN, R. E; VILELA, M. F; KLINK, C. A. **Ciclagem de Carbono em Ecossistemas Terrestres – O Caso do Cerrado Brasileiro**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003, 30 p. Disponível em: < www.cpac.embrapa.br/download/329/t>. Acesso em 15 mar de 2007.

AGÊNCIA FAPESP. **O peso da mão humana**. Disponível em < http://www.agencia.fapesp.br/boletim_dentro.php?id=6682>. Acesso em maio de 2008.

ANDRADE, F. V.; SCHAEFER C. E. G. R.; CORREA, M. L. T.; MENDONÇA, E.S. Carbon Stocks in Brazilian Latosols (Oxisols) from different morphoclimatic regions and management systems. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Volume 35, Issue 15 & 16 January 2005, pages 2125 – 2136. Disponível em: <http://link.periodicos.capes.gov.br/sfxlcl3?url_ver=Z39.88-2004&url_ctx_fmt=infofi/fmt:kev:mtx:ctx&ctx_enc=info:ofi/enc:UTF-8&ctx_ver=Z39.88-2004&rft_id=info:sid/sfxit.com:azlist&sfx.ignore_date_threshold=1&rft.object_id=954925392314&svc.fulltext=yes>. Acesso em: 25 jun. 2008.

BACCARO, C. A. D. et al. Mapeamento geomorfológico da bacia do rio Araguari (MG). In: LIMA, S. do C., SANTOS, R. J. (Org.). **Gestão Ambiental da Bacia do Rio Araguari Rumo ao desenvolvimento sustentável**. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia/Instituto de Geografia; Brasília: CNPq, 2004. p. 1 – 19.

BARCELLOS, A. O.; VILELA, L. **Restabelecimento da capacidade produtiva de pastagens por meio da introdução de *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão**. Comunicado Técnico 65. ISSN1517-1469. Brasília, DF: Dezembro 2001.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.7, p.677-683, jul. 2004.

BERNOUX, M.; VOLKOFF, B. Soil Carbon Stocks in Soil Ecoregions of Latin America. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, E. **Carbon Sequestration in Soils of Latin America**. Haworth Press, 2006, p. 65-77.

BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; OLIVEIRA, O. C. de; URGUIAGA, S. Potencial para Acumulação e Sequestro de Carbono em Pastagens Brachiaria. In: LIMA, M. A.; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. **Mudanças Climáticas Globais e a Agropecuária Brasileira**. EMBRAPA Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, 2001, p. 213-229.

BONATTO, F.; MARTINS, A. K. E.; BARROS, E. K. E. Uso de geotecnologia para a classificação de pastagens em diferentes níveis de degradação da bacia do Ribeirão Matança localizada no Município de Pium – TO. In: **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis**, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 791-798.

BRITO, J. L. S. Adequação das potencialidades do uso da terra na bacia do ribeirão Bom Jardim no triângulo mineiro (MG): ensaio de geoprocessamento. In: LIMA, S. do C., SANTOS, R. J. (Org.). **Gestão Ambiental da Bacia do Rio Araguari Rumo ao desenvolvimento sustentável**. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia/Instituto de Geografia; Brasília: CNPq, 2004. p. 45 – 68.

BUSTAMANTE, M. C. M.; CORBEELS, M.; SCOPEL, E.; ROSCOE, E. Soil Carbon Storage and sequestration Potential in the Cerrado Region of Brazil. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, E. **Carbon Sequestration in Soils of Latin America**. Haworth Press, 2006, p. 285-304.

CANASAT. **Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da Terra.** Aquisição de dados da expansão da cana-de-açúcar em Minas Gerais. Disponível em: <<http://150.163.3.3/canasat/index.php>>. Acesso em: 25 mar 2010.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; CERRI, C. E. P.; LAL, R. Challenges and Opportunities of Soil Carbon Sequestration in Latin America. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, E. **Carbon Sequestration in Soils of Latin America.** Haworth Press, 2006a, p. 41-48

CERRI, C. C.; BERNOUX, M. CARVALHO, M. C, S.; VOLKOFF, B. **Emissões e remoções de dióxido de carbono pelos solos por mudanças de uso da terra e calagem.** Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatórios de Referência. MCT, 2006, 49 p. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0004/4199.pdf>. Acesso em: 17 abr 2007.

CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. **Agricultura e Aquecimento Global.** 2007, 9 p. Disponível em: http://www.aquecimento.cnpm.embrapa.br/bibliografia/agr_e_aquec_Cerri_2007.pdf. Acesso em: 07 ago 2008.

CERRI, C. C. **Alimentos, Biocombustíveis e Efeito Estufa.** Boletim Inovação UNICAMP n° 105, 16 de junho de 2008. Disponível em: <<http://www.inovacao.unicamp.br/report/entrevistas/index.php?cod=285>>. Acesso em: 15 dez 2009.

CHAPUIS, L.; BROSSARD, M.; ASSAD, M.L.L.; LAURENT, J.Y. Carbon and phosphorus stocks of clayey Ferralsols in Cerrado native and agroecosystems, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 92 (2002) 147–158

CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Variabilidade espacial do estoque de carbono nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba: Solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.1, p.20-25, jan.-mar, 2008, Recife, PE, UFRPE. Disponível em: < [http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path\[\]=235&path\[\]=131](http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path[]=235&path[]=131)>. 12 set 2008.

CLEPS JUNIOR, J.; PESSÔA, V. L. S.; GOBBI, W. A. de O. Gestão dos recursos hídricos em minas gerais: o comitê da bacia hidrográfica do rio Araguari. In: LIMA, S. do C., SANTOS, R. J. (Org.). **Gestão Ambiental da Bacia do Rio Araguari Rumo ao desenvolvimento sustentável**. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia/Instituto de Geografia; Brasília: CNPq, 2004. p. 163 – 184.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte de depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 425-432, abr./jun. 1999. Disponível em: < <http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v23n2a25.pdf>>. Acesso em: 15 ago 2007.

CRASWELL, E. T.; LEFROY, R. D. B. The role and function of organic matter in tropical soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 61: 7–18, 2001. Disponível em: <http://www.springerlink.com/content/t203210751r42058/>. Acesso: 29 mar 2008.

D' ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L.R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes

sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.2, p.179-186, fev. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v39n2/19853.pdf>. Acesso: 10 mar 2008.

DIAS FILHO, M. B. **Competição e sucessão vegetal em pastagens**. 2º Simpósio sobre manejo estratégico de pastagem. Viçosa: UFV; 2004 , p. 251-287.

DIECKOW, J.; BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. **Documentos 12. Sistemas conservacionistas de preparo do solo e implicações no ciclo de carbono**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004. 17p. Disponível em <http://www.cnpdia.embrapa.br/_publicacoes.html>. Acesso em: 25 mai 2007.

EEROLA, T. T. **Mudanças Climáticas Globais: passado, presente e futuro**. Trabalho apresentado ao Fórum de Ecologia e evento de Mudanças Climáticas: Passado, Presente e Futuro organizado pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Florianópolis, 2003. Disponível em: <http://www.helsinki.fi/hum/ibero/xaman/articulos/2004_01/mudancas_climaticas_globais.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2006.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2 ed ed, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212pp.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sequestro de Carbono em Solos Sob Sistemas Agropecuários Produtivos**. Embrapa Agrobiologia. Seropédica, RJ, 2004a, 2p. Equipe do projeto BODDEY, R.; ALVES, B. J. R., URQUIAGA, S. S. Disponível em: <http://www.cnpab.embrapa.br/pesquisas/folders/folder_sequestro_carbono.pdf> Acesso em: 27 jul 2008.

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cerrados Informa. Manejo adequado do solo e sequestro de Carbono.** Fev. e Mar. 2005, p. 4 a 6. Planaltina, DF. Disponível em: <<http://www.cnpab.embrapa.br/publicacoes/download/bot013.pdf>>

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Recuperação de pastagens: uma abordagem sistêmica no processo decisório.** Embrapa Gado de Corte, 2010. Disponível em:< <http://www.cnpagc.embrapa.br/publicacoes/ct/ct30/01introducao.html>>. Acesso em: 02 jun 2010.

FAO. Food and Agriculture Organization. **Review of Evidence on Drylands Pastoral Systems and Climate Change: Implications and Opportunities for Mitigation and Adaptation.** Roma, 2009. Disponível em: <<http://ftp.fao.org/docrep/fao/012/i1135e/i1135e00.pdf>>. Acesso em janeiro de 2010.

FAO. **Food and Agriculture Organization.** Pesquisa sobre produção mundial da cana-de-açúcar. 2010. <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=339&lang=en>

FEBRAPDP. **Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha**, 2010. Disponível em: http://www.febrapdp.org.br/dinamica/areaplantada/ev_plantio_brasil.php?arquivo=tabela

FEARNSIDE, P.M. 2009. Estoque e estabilidade do carbono nos solos na Amazônia brasileira. pp. 259–262. In: W. Teixeira, D.C. Kern, B.C. Madari, H.N. Lima & W.I. Woods (eds.) **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas.** Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas. 416 pp. CD-book. ISBN: 978-85-89111-06-5. Disponível em: <http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Preprints/2008/Carbono_nos_solos-atualizado%2003-08-clean.pdf> Acesso em: 23 nov. 2007.

FOLLETT, R. F. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. **Soil & Tillage Research**, 61 (2001), 77-92.

GALDOS, M. V.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P.; PAUSTIAN, K.; ANTEWERPEN, R. V. Simulation of Soil Carbon Dynamics under Sugarcane with the CENTURY Model. In: **Soil Science Society of America**. Volume 73: Number 2. March-April, 2009, 10 p.

GONÇALVES, J. A. **Lei inclui agricultura no comércio de carbono**. Disponível em: < <http://mercadoetico.terra.com.br/arquivo/lei-inclui-agricultura-no-comercio-de-carbono/> >. Acesso em: 12 Dez 2009.

GRACE, J.; JOSÉ, S. J.; MEIR, P.; MIRANDA, H. S.; MONTES, R. A. Productivity and carbon fluxes of tropical Savannas. **Journal of Biogeography (J. Biogeogr.)**, 2006, 33, 387-400.

GREENPEACE. **O protocolo de Kyoto**. 2000. Disponível em: < http://www.greenpeace.org.br/clima/pdf/protocolo_kyoto.pdf >. Acesso em: 14 jan. 2009.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Dados da produção de café. Disponível em: < WWW.ibge.org.br >. Acesso em: 23 abr 2008.

INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Aquisição de imagens de satélite MSS/Landsat2 e TM/Landsat5. Disponível em: < <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/> >. Acesso em: 15 jan 2008

IPCC. 2007. **Cambio Climático 2007: Mitigación del Cambio Climático**. Contribución del Grupo de Trabajo III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. Resumen Técnico. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg3_report_mitigation_of_climate_change.htm>. Acesso em 8 jul 2008.

LOPES, F. **Utilização do Modelo Century para Avaliar a Dinâmica do Carbono no Solo em uma Pequena Bacia Hidrográfica Rural**. Porto Alegre: UFRGS, 2006. 143p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo).

KRUG, T.; FIGUEIREDO, H. B.; SANO, E. E.; ALMEIDA, C. A.; SANTOS, J. R.; MIRANDA, H. S.; SATO, M. N.; ANDRADE, S. M. A. **Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Relatório de Referência das Emissões de Gases de Efeito Estufa da Queima de Biomassa no Cerrado Não-antrópico Utilizando Dados Orbitais**. MCT, 2006, 52 p.

LAL, R. Soil Carbon Sequestration in Latin America. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, E. **Carbon Sequestration in Soils of Latin America**. Haworth Press, 2006, 49-64.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S. Modelo century century de dinâmica da matéria orgânica do solo: Equações e pressupostos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, num. 4, p. 679-686, jul-ago 2003.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, P. L. O. A. Simulação pelo modelo Century da dinâmica da matéria orgânica de um argissolo sob adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:347-358, 2004. Disponível em:

<http://link.periodicos.capes.gov.br/sfxlcl3?url_ver=Z39.88-2004&url_ctx_fmt=infofi/fmt:kev:mtx:ctx&ctx_enc=info:ofi/enc:UTF-8&ctx_ver=Z39.88-2004&rft_id=info:sid/sfxit.com:azlist&sfx.ignore_date_threshold=1&rft.object_id=110978984562017&svc.fulltext=yes>. Acesso em: 12 ago 2009.

LEITE, L. F. C; MENDONÇA, E. S. Perspectivas e Limitações da Modelagem da Dinâmica da Matéria Orgânica dos Solos Tropicais. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. V, 2007. p. 181-218.

LEITE, L. F. C; MENDONÇA, E. S. Modelo century de dinâmica da matéria orgânica do solo: Equações e pressupostos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, num. 4, p. 679-686, jul-ago 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v33n4/16689.pdf>>. Acesso em: 19 mar 2008.

LIMA, M. A.; BOEIRA, R. C.; CASTRO, V. L. S. S.; LIGO, M. A. V.; CABRAL, O. M. R.; VIEIRA, R. F.; LUIZ, A. J. B. Estimativa das Emissões de Gases de Efeito Estufa Provenientes de Atividades Agrícolas no Brasil. In: LIMA, M. A.; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. **Mudanças Climáticas Globais e a Agropecuária Brasileira**. EMBRAPA Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, 2001, p. 169-189. p.193.

LIMA, S. do C; QUEIROZ NETO, J. P. de & LEPCSH, I. F. Os solos da chapada Uberlândia -Uberaba. In: LIMA, S. do C., SANTOS, R. J. (Org.). **Gestão Ambiental da Bacia do Rio Araguari Rumo ao desenvolvimento sustentável**. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia/Instituto de Geografia; Brasília: CNPq, 2004. p. 89 – 124.

MACEDO, I. C. Mitigação das Emissões de Gases de Efeito Estufa: Uso dos resíduos da Cana-de-açúcar como Fonte de Energia: Situação Atual, Tecnologias, Legislação e Cenários. In: LIMA, M. A.; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. **Mudanças Climáticas Globais e a Agropecuária Brasileira**. EMBRAPA Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, 2001, 191-212

MCT. **Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal. Comunicação Inicial do Brasil.** p. 81-162, Sem Data (SD). Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0004/4199.pdf. Acesso em: 05 ago 2008.

METAY, A.; MOREIRA, J. A. A.; BERNOUX, M.; BOYER, T.; DOUZET, J.; FEIGL, B.; FELLER, C.; MARAUX, F.; OLIVER, R.; SCOPEL, E. Storage and forms of organic carbon in a no-tillage under cover crops system on clayey Oxisol in dryland rice production (Cerrados, Brazil). **Soil & Tillage Research**: 94 (2007) 122–132.

METHERELL, A. K., HARDING, C. V., COLE, C.V., PARTON, W.J., 1993. **Century soil organic matter model environment.** Technical Documentation Agroecosystems Version 4.0. Great Plains System Research Report 4 USDA-ARS. Colorado State University, Fort Collins, CO.

MIELNICZUCK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A; SILVA, L. S.; CANNELAS, L. P.; CAMARGO, F. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo.** Ecossistemas Tropicais e Subtropicais. 2ª Ed. Metrópole, Porto Alegre, 2008, p. 1-4.

MILORI, D. M. B. P.; PÉREZ, M. G.; BAGNATO, V. S.; MELO, W. J. DE; NETO, L. M. **Aplicação de fotoluminescência para determinação da humificação da matéria orgânica em solos sob plantio direto e manejo convencional.** EMBRAPA – São Carlos, SP. Pesquisa em Andamento, num. 30, out. 99, p. 1-10. Disponível em <http://www.cnpdia.embrapa.br/_publicacoes.html>. Acesso: 28, nov., 2007.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Cartas elaboradas para o projeto Mapeamento da cobertura vegetal do bioma cerrado.** Disponível em: <
(<http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm?/>>. Acesso: 05 jun 2007.

MOLION, L. C. B. Um século e meio de aquecimento global. **Ciência Hoje**. São Paulo vol. 18, n. 107, p. 20-29, mar.1995.

_____. Aquecimento global, el niños, manchas solares, vulcões e oscilação decadal do pacífico. **Climanálise**, São José dos Campos, v. 3, n. 1, ago. 2005. Disponível em:

< http://www6.cptec.inpe.br/revclima/revista/pdf/Artigo_Aquecimento_0805.pdf>. Acesso em: 25 set. 2007

_____. Aquecimento global é terrorismo climático. **Isto é**, São Paulo, n. 1967, 11 jul. 2007. Entrevista concedida a Rodrigo Rangel. Disponível em: <
<http://www.terra.com.br/istoe/edicoes/1967/artigo55150-2.htm>>. Acesso em: 16 ago. 2007.

NEVES, C. M. N; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MACEDO, R. L. G; TOKURA, A. M. Estoque de carbono em sistemas agrosilvopastoril, pastagem e *eucaliptus* sob cultivo convencional na região noroeste do estado de Minas Gerais. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1038-1046, set.out., 2004

PARTON, W.J.; D.S. SCHIMEL; C.V. COLE; D.S. OJIMA. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. **Soil Science Society America Journal**. 51:1173-1179. 1987

PARTON, W. J.; RASMUSSEN, P. E. Long-term effects of crop management in wheatfallow. II Century Model Simulations. **Soil Science Society America Journal**. 58:530-536, 1994.

PAIVA, A. O.; FARIA, G. E. Estoque de carbono do solo sob cerrado sensu stricto no Distrito Federal. Brasil. **Revista Tropic – Ciencias Agrarias e Biológicas**. V.1, n. 1, p. 59, 2007

POST, W. M.; KWON, K. C. Soil carbon sequestration and land-use change: process and potential. **Global Change Biology** (2000) 6, 317-327.

PORTUGAL, A. F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; WENDLING, B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em argissolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 32:2091-2100, 2008

PROBIO. **Mapeamento da Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado: Relatório Final**. Brasília/DF. Junho 2007, 93 p.

RESENDE, A. S., SANTOS, A. O., GONDIM, A. O., XAVIER, R. P., COELHO, C. H. M., OLIVEIRA, O. C., ALVES, B. J. R., BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. **Efeito estufa e o sequestro de carbono em sistemas de cultivo com espécies florestais e na cultura de cana-de-açúcar**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, mar. 2001. 23p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 133), ISSN 1517-8498. Disponível em: <<http://www.cnpab.embrapa.br/servicos/download/doc133.pdf>>. Acesso em: 13 jun 2008.

RODRIGUES, S. C. et al. Cartografia geomofológica e os condicionantes hidrogeomorfológicos de erosão em áreas amostrais na bacia hidrográfica do rio Araguari. In: LIMA, S. do C., SANTOS, R. J. (Org.). **Gestão Ambiental da Bacia do Rio Araguari Rumo ao desenvolvimento sustentável**. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia/Instituto de Geografia; Brasília: CNPq, 2004. p. 21 – 43.

ROSA, R. et al. Elaboração de uma base cartográfica e criação de um banco de dados georreferenciados da bacia do rio Araguari - MG. In: LIMA, S. do C., SANTOS, R. J. (Org.). **Gestão Ambiental da Bacia do Rio Araguari Rumo ao desenvolvimento sustentável**. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia/Instituto de Geografia; Brasília: CNPq, 2004. p. 69 – 87.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**, Uberlândia: EDUFU, 2007, 248 p.

RUDORFF B.F.T., AGUIAR D.A., SILVA W.F., SUGAWARA L.M., ADAMI M., MOREIRA M.A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sensing**. 2010; 2(4):1057-1076. doi: <10.3390/rs2041057>.

SANQUETA, C. R. **Fixação de Carbono em Florestas com Araucária**. 2007. Disponível em: < <http://www.nossofuturoroubado.com.br/old/0606te%20carbono.htm>>. Acesso em: 25 abr. 2007.

SCURLOCK, J. M. O.; HALL, D. O. The global carbon sink: a grassland perspective. **Global Change Biology** (1998), 4, 229-233.

SEGNINI, A.; MARTIN-NETO, L.; MILORI, D. M. B. P.; SILVA, W. T. L. da.; BOLONHEZI, D.; CERDEIRA, A. L. **Uso de métodos espectroscópicos para avaliar o sequestro de carbono em área de rotação de culturas cana-de-açúcar / amendoim sob diferentes sistemas de plantio**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004. 5 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Comunicado Técnico, 62). Disponível em <http://www.cnpdia.embrapa.br/_publicacoes.html>. Acesso: 28, nov., 2007.

SILVA, C. A., RANGEL, O. J. P., GUILHERME, L. R. G. Sistema de plantio direto e o sequestro de carbono. **Revista DBO Agrotecnologia**. São Paulo, v.3, p.18 - 19, 2006.

SILVA, J. E.; RESCK, D. C. S.; CORAZZA, E. J.; VIVALDI, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the “Cerrado” region, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 103 (2004) 357–36.

SINGH, B. R.; LAL, R. The potential of soil carbon sequestration through improves management practices in Norway. **Environment, Development and Sustainability** (2005) 7:161–184.

SIQUEIRA NETO, M. **Estoque de Carbono e Nitrogênio do solo com diferentes usos no cerrado em Rio Verde-GO**. 200, 162 f. CENA-USP: Piracicaba, SP. Tese (Ciências).

SOARES, B. R. Dinâmica urbana – na bacia do rio Araguari (MG) – 1970 – 2000. In: LIMA, S. do C., SANTOS, R. J. (Org.). **Gestão Ambiental da Bacia do Rio Araguari Rumo ao desenvolvimento sustentável**. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia/Instituto de Geografia; Brasília: CNPq, 2004. p. 125 – 161.

TEBEAUD, M. O aquecimento contemporâneo entre a certeza, controvérsia e dúvida. **Ciência & Ambiente**, Mudanças climáticas. Santa Maria: UFSM, n. 34, p. 35-47, jan./ jul. 2007.

TRUMBORE, S. E.; TORN, M. S. Soils and the Global Carbon Cycle. In: **Soils and Global Change**, EA Holland, ed. NATO Advanced Study Institute; LBNL-44910, 2003, p. 1-34.

VOLKOFF, B.; BERNOUX, M. Soil Ecoregions in Latin America. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, E. **Carbon Sequestration in Soils of Latin America**. Haworth Press, 2006, p. 3-40.

VOLP. **Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa**. Academia Brasileira de Letras. 5ª edição, SP: Global, 2009.

YEOMANS, J.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Commun. **Soil. Sci. Plant Anal.**, 19: 1467-1476, 1988.

WENDLING, BENO. **Carbono e nitrogênio no solo sob diferentes usos e manejos e sua modelagem pelo Century**. Viçosa: UFV, 2007. 122p. Tese (Doutorado).

ANEXOS

Anexo 2: Questionário aplicado aos produtores com intuito de conhecer o histórico de uso da área.

Nome: _____ Função: _____

Localização Geográfica: _____

Tipo de Uso: _____

Adubação:

Química () produto: _____ ton/ha

Orgânica () produto: _____ ton/ ha _____

Faz uso de fogo?

Sim (), época do ano _____ Não ()

Faz uso de Calagem?

() Sim, produto _____ ton/ha

_____ frequência _____

Como é o pastejo?

() Rotacionado () Contínuo

Lotação de gado no pasto, número de cabeça por ha: _____

Realiza algum dos tratos culturais?

Aração (), frequência: _____ Gradagem: () _____

Qual a produtividade da cultura (ton/ha): _____

Faz uso de irrigação:

() Sim, frequência _____ () Não

Tem conhecimento de quando a área foi desmatada?

Foi utilizado fogo para limpeza da área?

Após o desmate e limpeza da área o que foi plantado nos anos seguintes?

Anexo 3: Arquivo de dados locais do modelo Century (SITE.100)

SITE1 (Pastagem degradada) PDE EXPERIMENTO 0 A 20

*** Climate parameters

31.25000 'PRECIP(1)'
20.11000 'PRECIP(2)'
21.73000 'PRECIP(3)'
8.470000 'PRECIP(4)'
3.890000 'PRECIP(5)'
1.590000 'PRECIP(6)'
0.930000 'PRECIP(7)'
1.410000 'PRECIP(8)'
5.200000 'PRECIP(9)'
11.18000 'PRECIP(10)'
20.30000 'PRECIP(11)'
32.42000 'PRECIP(12)'
0.000 'PRCSTD(1)'
0.000 'PRCSTD(2)'
0.00 'PRCSTD(3)'
0.000 'PRCSTD(4)'
0.000 'PRCSTD(5)'
0.000 'PRCSTD(6)'
0.000 'PRCSTD(7)'
0.000 'PRCSTD(8)'
0.000 'PRCSTD(9)'
0.000 'PRCSTD(10)'
0.000 'PRCSTD(11)'
0.000 'PRCSTD(12)'
0.00000 'PRCSKW(1)'
0.00000 'PRCSKW(2)'
0.00000 'PRCSKW(3)'
0.00000 'PRCSKW(4)'
0.00000 'PRCSKW(5)'
0.00000 'PRCSKW(6)'
0.00000 'PRCSKW(7)'
0.00000 'PRCSKW(8)'
0.00000 'PRCSKW(9)'
0.00000 'PRCSKW(10)'
0.00000 'PRCSKW(11)'
0.00000 'PRCSKW(12)'
19.7000 'TMN2M(1)'
19.5000 'TMN2M(2)'
19.5000 'TMN2M(3)'
18.5000 'TMN2M(4)'
15.7000 'TMN2M(5)'
14.4000 'TMN2M(6)'
14.1000 'TMN2M(7)'
15.5000 'TMN2M(8)'
17.4000 'TMN2M(9)'
19.0000 'TMN2M(10)'
19.2000 'TMN2M(11)'
19.4000 'TMN2M(12)'
29.1000 'TMX2M(1)'
29.7000 'TMX2M(2)'
0.0000 'EPNFA(2)'

29.3000 'TMX2M(3)'
29.1000 'TMX2M(4)'
27.4000 'TMX2M(5)'
26.6000 'TMX2M(6)'
27.0000 'TMX2M(7)'
29.0000 'TMX2M(8)'
30.1000 'TMX2M(9)'
30.6000 'TMX2M(10)'
29.5000 'TMX2M(11)'
28.9000 'TMX2M(12)'

*** Site and control parameters

0.00000 'IVAUTO'
1.00000 'NELEM'
19.120000 'SITLAT'
48.080000 'SITLNG'
0.530000 'SAND'
0.09000 'SILT'
0.38000 'CLAY'
0.00000 'ROCK'
1.28000 'BULKD'
9.00000 'NLAYER'
9.00000 'NLAYPG'
1.00000 'DRAIN'
0.10000 'BASEF'
0.10000 'STORMF'
8.00000 'PRECRO'
0.15000 'FRACRO'
0.00000 'SWFLAG'
0.10000 'AWILT(1)'
0.10000 'AWILT(2)'
0.10000 'AWILT(3)'
0.10000 'AWILT(4)'
0.10000 'AWILT(5)'
0.10000 'AWILT(6)'
0.10000 'AWILT(7)'
0.10000 'AWILT(8)'
0.10000 'AWILT(9)'
0.10000 'AWILT(10)'
0.230000 'AFIEL(1)'
0.230000 'AFIEL(2)'
0.230000 'AFIEL(3)'
0.230000 'AFIEL(4)'
0.230000 'AFIEL(5)'
0.230000 'AFIEL(6)'
0.230000 'AFIEL(7)'
0.230000 'AFIEL(8)'
0.230000 'AFIEL(9)'
0.23000 'AFIEL(10)'
4.50000 'PH'
0.90000 'PSLSRB'
200.000 'SORPMX'
*** External nutrient input parameters
0.21000 'EPNFA(1)'
20.0000 'EPNFS(1)'

0.00230	'EPNFS(2)'	0.00100	0.00000	'FBRCIS(1)'
0.00000	'SATMOS(1)'		0.00000	'FBRCIS(2)'
0.00000	'SATMOS(2)'		0.00000	'FBRCHE(1)'
0.00000	'SIRRI'		0.00000	'FBRCHE(2)'
*** Organic matter initial values				
52.94000	'SOM1CI(1,1)'		0.00000	'FBRCHE(3)'
49.52000			0.00000	'RLWCIS(1)'
0.00000	'SOM1CI(1,2)'		0.00000	'RLWCIS(2)'
97.86000	'SOM1CI(2,1)'		0.50000	'RLWODE(1)'
0.00000	'SOM1CI(2,2)'		0.00000	'RLWODE(2)'
389.530	'SOM2CI(1)'		0.00000	'RLWODE(3)'
0.00000	'SOM2CI(2)'		0.00000	'FRTCIS(1)'
4807.13	'SOM3CI(1)'		0.00000	'FRTCIS(2)'
0.00000	'SOM3CI(2)'		0.00000	'FROOTE(1)'
12.50000	'RCES1(1,1)'		0.00000	'FROOTE(2)'
0.00000	'RCES1(1,2)'		0.00000	'FROOTE(3)'
0.00000	'RCES1(1,3)'		0.00000	'CRTCIS(1)'
8.87000	'RCES1(2,1)'		0.00000	'CRTCIS(2)'
0.00000	'RCES1(2,2)'		0.00000	'CROOTE(1)'
0.00000	'RCES1(2,3)'		0.00000	'CROOTE(2)'
15.2900	'RCES2(1)'		0.00000	'CROOTE(3)'
0.00000	'RCES2(2)'		0.00000	'WD1CIS(1)'
0.00000	'RCES2(3)'		0.00000	'WD1CIS(2)'
12.1900	'RCES3(1)'		0.00000	'WD2CIS(1)'
0.00000	'RCES3(2)'		0.00000	'WD2CIS(2)'
0.00000	'RCES3(3)'		0.00000	'WD3CIS(1)'
107.00000	'CLITTR(1,1)'		0.00000	'WD3CIS(2)'
0.00000	'CLITTR(1,2)'		*** Mineral initial parameters	
107.00000	'CLITTR(2,1)'		0.25000	'MINERL(1,1)'
0.00000	'CLITTR(2,2)'		0.00000	'MINERL(2,1)'
75.00000	'RCELIT(1,1)'		0.00000	'MINERL(3,1)'
0.00000	'RCELIT(1,2)'		0.00000	'MINERL(4,1)'
0.00000	'RCELIT(1,3)'		0.00000	'MINERL(5,1)'
75.00000	'RCELIT(2,1)'		0.00000	'MINERL(6,1)'
0.00000	'RCELIT(2,2)'		0.00000	'MINERL(7,1)'
0.00000	'RCELIT(2,3)'		0.00000	'MINERL(8,1)'
2500.00000	'AGLCIS(1)'		0.00000	'MINERL(9,1)'
0.00000	'AGLCIS(2)'		0.00000	'MINERL(10,1)'
100.00000	'AGLIVE(1)'		0.50000	'MINERL(1,2)'
0.00000	'AGLIVE(2)'		0.000	'MINERL(2,2)'
0.00000	'AGLIVE(3)'		0.000	'MINERL(3,2)'
500.00000	'BGLCIS(1)'		0.000	'MINERL(4,2)'
0.00000	'BGLCIS(2)'		0.00000	'MINERL(5,2)'
10.00000	'BGLIVE(1)'		0.00000	'MINERL(6,2)'
0.00000	'BGLIVE(2)'		0.00000	'MINERL(7,2)'
0.00000	'BGLIVE(3)'		0.00000	'MINERL(8,2)'
17.00000	'STDCIS(1)'		0.00000	'MINERL(9,2)'
0.00000	'STDCIS(2)'		0.00000	'MINERL(10,2)'
0.29000	'STDEDE(1)'		0.50000	'MINERL(1,3)'
0.00000	'STDEDE(2)'		0.00000	'MINERL(2,3)'
0.00000	'STDEDE(3)'		0.00000	'MINERL(3,3)'
*** Forest organic matter initial parameters				
0.00000	'RLVCIS(1)'		0.00000	'MINERL(4,3)'
0.00000	'RLVCIS(2)'		0.00000	'MINERL(5,3)'
0.00000	'RLEAVE(1)'		0.00000	'MINERL(6,3)'
0.00000	'RLEAVE(2)'		0.00000	'MINERL(7,3)'
0.00000	'RLEAVE(3)'		0.00000	'MINERL(8,3)'
			0.00000	'MINERL(9,3)'
			0.00000	'MINERL(10,3)'

0.00000	'PARENT(1)'	0.00000	'RWCF(6)'
0.00000	'PARENT(2)'	0.00000	'RWCF(7)'
0.00000	'PARENT(3)'	0.00000	'RWCF(8)'
0.00000	'SECNDY(1)'	0.00000	'RWCF(9)'
0.00000	'SECNDY(2)'	0.00000	'RWCF(10)'
0.00000	'SECNDY(3)'	0.00000	'SNLQ'
0.00000	'OCCLUD'	0.00000	'SNOW'

*** Water initial parameters

0.00000	'RWCF(1)'
0.00000	'RWCF(2)'
0.00000	'RWCF(3)'
0.00000	'RWCF(4)'
0.00000	'RWCF(5)'

SITE2 (Pastagem melhorada)
PME EXPERIMENTO 0 A 20

*** Climate parameters

31.25000	'PRECIP(1)'
20.11000	'PRECIP(2)'
21.73000	'PRECIP(3)'
8.470000	'PRECIP(4)'
3.890000	'PRECIP(5)'
1.590000	'PRECIP(6)'
0.930000	'PRECIP(7)'
1.410000	'PRECIP(8)'
5.200000	'PRECIP(9)'
11.18000	'PRECIP(10)'
20.30000	'PRECIP(11)'
32.42000	'PRECIP(12)'
0.000	'PRCSTD(1)'
0.000	'PRCSTD(2)'
0.00	'PRCSTD(3)'
0.000	'PRCSTD(4)'
0.000	'PRCSTD(5)'
0.000	'PRCSTD(6)'
0.000	'PRCSTD(7)'
0.000	'PRCSTD(8)'
0.000	'PRCSTD(9)'
0.000	'PRCSTD(10)'
0.000	'PRCSTD(11)'
0.000	'PRCSTD(12)'
0.00000	'PRCSKW(1)'
0.00000	'PRCSKW(2)'
0.00000	'PRCSKW(3)'
0.00000	'PRCSKW(4)'
0.00000	'PRCSKW(5)'
0.00000	'PRCSKW(6)'
0.00000	'PRCSKW(7)'
0.00000	'PRCSKW(8)'
0.00000	'PRCSKW(9)'
0.00000	'PRCSKW(10)'
0.00000	'PRCSKW(11)'
0.00000	'PRCSKW(12)'
19.7000	'TMN2M(1)'
19.5000	'TMN2M(2)'
19.5000	'TMN2M(3)'
18.5000	'TMN2M(4)'
15.7000	'TMN2M(5)'
14.4000	'TMN2M(6)'
14.1000	'TMN2M(7)'
15.5000	'TMN2M(8)'
17.4000	'TMN2M(9)'
19.0000	'TMN2M(10)'
19.2000	'TMN2M(11)'
19.4000	'TMN2M(12)'
29.1000	'TMX2M(1)'
29.7000	'TMX2M(2)'
29.3000	'TMX2M(3)'
29.1000	'TMX2M(4)'
27.4000	'TMX2M(5)'
26.6000	'TMX2M(6)'

27.0000	'TMX2M(7)'
29.0000	'TMX2M(8)'
30.1000	'TMX2M(9)'
30.6000	'TMX2M(10)'
29.5000	'TMX2M(11)'
28.9000	'TMX2M(12)'

*** Site and control parameters

0.00000	'TVAUTO'
1.00000	'NELEM'
19.010000	'SITLAT'
48.120000	'SITLNG'
0.410000	'SAND'
0.10000	'SILT'
0.49000	'CLAY'
0.00000	'ROCK'
1.33000	'BULKD'
9.00000	'NLAYER'
9.00000	'NLAYPG'
1.00000	'DRAIN'
0.10000	'BASEF'
0.10000	'STORMF'
8.00000	'PRECRO'
0.15000	'FRACRO'
0.00000	'SWFLAG'
0.10000	'AWILT(1)'
0.10000	'AWILT(2)'
0.10000	'AWILT(3)'
0.10000	'AWILT(4)'
0.10000	'AWILT(5)'
0.10000	'AWILT(6)'
0.10000	'AWILT(7)'
0.10000	'AWILT(8)'
0.10000	'AWILT(9)'
0.10000	'AWILT(10)'
0.230000	'AFIEL(1)'
0.230000	'AFIEL(2)'
0.230000	'AFIEL(3)'
0.230000	'AFIEL(4)'
0.230000	'AFIEL(5)'
0.230000	'AFIEL(6)'
0.230000	'AFIEL(7)'
0.230000	'AFIEL(8)'
0.230000	'AFIEL(9)'
0.23000	'AFIEL(10)'
5.94000	'PH'
0.90000	'PSLSRB'
200.000	'SORPMX'

*** External nutrient input parameters

0.21000	'EPNFA(1)'
0.0000	'EPNFA(2)'
20.0000	'EPNFS(1)'
0.00230	'EPNFS(2)'
0.00000	'SATMOS(1)'
0.00000	'SATMOS(2)'
0.00000	'SIRRI'

*** Organic matter initial values

52.94000	'SOM1CI(1,1)'
----------	---------------

0.00000	'SOM1CI(1,2)'	0.50000	'RLWODE(1)'
97.86000	'SOM1CI(2,1)'	0.00000	'RLWODE(2)'
0.00000	'SOM1CI(2,2)'	0.00000	'RLWODE(3)'
389.530	'SOM2CI(1)'	0.00000	'FRTCIS(1)'
0.00000	'SOM2CI(2)'	0.00000	'FRTCIS(2)'
4807.13	'SOM3CI(1)'	0.00000	'FROOTE(1)'
0.00000	'SOM3CI(2)'	0.00000	'FROOTE(2)'
12.50000	'RCES1(1,1)'	0.00000	'FROOTE(3)'
0.00000	'RCES1(1,2)'	0.00000	'CRTCIS(1)'
0.00000	'RCES1(1,3)'	0.00000	'CRTCIS(2)'
8.87000	'RCES1(2,1)'	0.00000	'CROOTE(1)'
0.00000	'RCES1(2,2)'	0.00000	'CROOTE(2)'
0.00000	'RCES1(2,3)'	0.00000	'CROOTE(3)'
15.2900	'RCES2(1)'	0.00000	'WD1CIS(1)'
0.00000	'RCES2(2)'	0.00000	'WD1CIS(2)'
0.00000	'RCES2(3)'	0.00000	'WD2CIS(1)'
12.1900	'RCES3(1)'	0.00000	'WD2CIS(2)'
0.00000	'RCES3(2)'	0.00000	'WD3CIS(1)'
0.00000	'RCES3(3)'	0.00000	'WD3CIS(2)'
107.00000	'CLITTR(1,1)'	*** Mineral initial parameters	
0.00000	'CLITTR(1,2)'	0.25000	'MINERL(1,1)'
107.00000	'CLITTR(2,1)'	0.00000	'MINERL(2,1)'
0.00000	'CLITTR(2,2)'	0.00000	'MINERL(3,1)'
75.00000	'RCELIT(1,1)'	0.00000	'MINERL(4,1)'
0.00000	'RCELIT(1,2)'	0.00000	'MINERL(5,1)'
0.00000	'RCELIT(1,3)'	0.00000	'MINERL(6,1)'
75.00000	'RCELIT(2,1)'	0.00000	'MINERL(7,1)'
0.00000	'RCELIT(2,2)'	0.00000	'MINERL(8,1)'
0.00000	'RCELIT(2,3)'	0.00000	'MINERL(9,1)'
2500.00000	'AGLCIS(1)'	0.00000	'MINERL(10,1)'
0.00000	'AGLCIS(2)'	0.50000	'MINERL(1,2)'
100.00000	'AGLIVE(1)'	0.000	'MINERL(2,2)'
0.00000	'AGLIVE(2)'	0.000	'MINERL(3,2)'
0.00000	'AGLIVE(3)'	0.000	'MINERL(4,2)'
500.00000	'BGLCIS(1)'	0.0000	'MINERL(5,2)'
0.00000	'BGLCIS(2)'	0.00000	'MINERL(6,2)'
10.00000	'BGLIVE(1)'	0.00000	'MINERL(7,2)'
0.00000	'BGLIVE(2)'	0.00000	'MINERL(8,2)'
0.00000	'BGLIVE(3)'	0.00000	'MINERL(9,2)'
17.00000	'STDCIS(1)'	0.00000	'MINERL(10,2)'
0.00000	'STDCIS(2)'	0.50000	'MINERL(1,3)'
0.29000	'STDEDE(1)'	0.00000	'MINERL(2,3)'
0.00000	'STDEDE(2)'	0.00000	'MINERL(3,3)'
0.00000	'STDEDE(3)'	0.00000	'MINERL(4,3)'
*** Forest organic matter initial parameters		0.00000	'MINERL(5,3)'
0.00000	'RLVCIS(1)'	0.00000	'MINERL(6,3)'
0.00000	'RLVCIS(2)'	0.00000	'MINERL(7,3)'
0.00000	'RLEAVE(1)'	0.00000	'MINERL(8,3)'
0.00000	'RLEAVE(2)'	0.00000	'MINERL(9,3)'
0.00000	'RLEAVE(3)'	0.00000	'MINERL(10,3)'
0.00000	'FBRCS(1)'	0.00000	'PARENT(1)'
0.00000	'FBRCS(2)'	0.00000	'PARENT(2)'
0.00000	'FBRCS(3)'	0.00000	'PARENT(3)'
0.00000	'FBRCS(4)'	0.00000	'SECNDY(1)'
0.00000	'FBRCS(5)'	0.00000	'SECNDY(2)'
0.00000	'FBRCS(6)'	0.00000	'SECNDY(3)'
0.00000	'FBRCS(7)'	0.00000	'OCCLUD'

*** Water initial parameters

0.00000	'RWCF(1)'
0.00000	'RWCF(2)'
0.00000	'RWCF(3)'
0.00000	'RWCF(4)'
0.00000	'RWCF(5)'
0.00000	'RWCF(6)'
0.00000	'RWCF(7)'
0.00000	'RWCF(8)'
0.00000	'RWCF(9)'
0.00000	'RWCF(10)'
0.00000	'SNLQ'
0.00000	'SNOW'

SITE3 (Cana-de-açúcar)**CA EXPERIMENTO 0 A 20**

*** Climate parameters

31.25000	'PRECIP(1)'
20.11000	'PRECIP(2)'
21.73000	'PRECIP(3)'
8.470000	'PRECIP(4)'
3.890000	'PRECIP(5)'
1.590000	'PRECIP(6)'
0.930000	'PRECIP(7)'
1.410000	'PRECIP(8)'
5.200000	'PRECIP(9)'
11.18000	'PRECIP(10)'
20.30000	'PRECIP(11)'
32.42000	'PRECIP(12)'
0.000	'PRCSTD(1)'
0.000	'PRCSTD(2)'
0.00	'PRCSTD(3)'
0.000	'PRCSTD(4)'
0.000	'PRCSTD(5)'
0.000	'PRCSTD(6)'
0.000	'PRCSTD(7)'
0.000	'PRCSTD(8)'
0.000	'PRCSTD(9)'
0.000	'PRCSTD(10)'
0.000	'PRCSTD(11)'
0.000	'PRCSTD(12)'
0.00000	'PRCSKW(1)'
0.00000	'PRCSKW(2)'
0.00000	'PRCSKW(3)'
0.00000	'PRCSKW(4)'
0.00000	'PRCSKW(5)'
0.00000	'PRCSKW(6)'
0.00000	'PRCSKW(7)'
0.00000	'PRCSKW(8)'
0.00000	'PRCSKW(9)'
0.00000	'PRCSKW(10)'
0.00000	'PRCSKW(11)'
0.00000	'PRCSKW(12)'
19.7000	'TMN2M(1)'
19.5000	'TMN2M(2)'
19.5000	'TMN2M(3)'
18.5000	'TMN2M(4)'
15.7000	'TMN2M(5)'
14.4000	'TMN2M(6)'
14.1000	'TMN2M(7)'
15.5000	'TMN2M(8)'
17.4000	'TMN2M(9)'
19.0000	'TMN2M(10)'
19.2000	'TMN2M(11)'
19.4000	'TMN2M(12)'
29.1000	'TMX2M(1)'
29.7000	'TMX2M(2)'
29.3000	'TMX2M(3)'
29.1000	'TMX2M(4)'
27.4000	'TMX2M(5)'
26.6000	'TMX2M(6)'

27.0000	'TMX2M(7)'
29.0000	'TMX2M(8)'
30.1000	'TMX2M(9)'
30.6000	'TMX2M(10)'
29.5000	'TMX2M(11)'
28.9000	'TMX2M(12)'

*** Site and control parameters

0.00000	'TVAUTO'
1.00000	'NELEM'
19.120000	'SITLAT'
48.080000	'SITLNG'
0.640000	'SAND'
0.04000	'SILT'
0.32000	'CLAY'
0.00000	'ROCK'
1.70000	'BULKD'
9.00000	'NLAYER'
9.00000	'NLAYPG'
1.00000	'DRAIN'
0.10000	'BASEF'
0.10000	'STORMF'
8.00000	'PRECRO'
0.15000	'FRACRO'
0.00000	'SWFLAG'
0.10000	'AWILT(1)'
0.10000	'AWILT(2)'
0.10000	'AWILT(3)'
0.10000	'AWILT(4)'
0.10000	'AWILT(5)'
0.10000	'AWILT(6)'
0.10000	'AWILT(7)'
0.10000	'AWILT(8)'
0.10000	'AWILT(9)'
0.10000	'AWILT(10)'
0.230000	'AFIEL(1)'
0.230000	'AFIEL(2)'
0.230000	'AFIEL(3)'
0.230000	'AFIEL(4)'
0.230000	'AFIEL(5)'
0.230000	'AFIEL(6)'
0.230000	'AFIEL(7)'
0.230000	'AFIEL(8)'
0.230000	'AFIEL(9)'
0.23000	'AFIEL(10)'
5.850000	'PH'
0.90000	'PSLSRB'
200.000	'SORPMX'

*** External nutrient input parameters

0.21000	'EPNFA(1)'
0.0000	'EPNFA(2)'
20.0000	'EPNFS(1)'
0.00230	'EPNFS(2)'
0.00000	'SATMOS(1)'
0.00000	'SATMOS(2)'
0.00000	'SIRRI'

*** Organic matter initial values

52.94000	'SOM1CI(1,1)'
----------	---------------

0.00000	'SOM1CI(1,2)'	0.50000	'RLWODE(1)'
97.86000	'SOM1CI(2,1)'	0.00000	'RLWODE(2)'
0.00000	'SOM1CI(2,2)'	0.00000	'RLWODE(3)'
389.530	'SOM2CI(1)'	0.00000	'FRTCIS(1)'
0.00000	'SOM2CI(2)'	0.00000	'FRTCIS(2)'
4807.13	'SOM3CI(1)'	0.00000	'FROOTE(1)'
0.00000	'SOM3CI(2)'	0.00000	'FROOTE(2)'
12.50000	'RCES1(1,1)'	0.00000	'FROOTE(3)'
0.00000	'RCES1(1,2)'	0.00000	'CRTCIS(1)'
0.00000	'RCES1(1,3)'	0.00000	'CRTCIS(2)'
8.87000	'RCES1(2,1)'	0.00000	'CROOTE(1)'
0.00000	'RCES1(2,2)'	0.00000	'CROOTE(2)'
0.00000	'RCES1(2,3)'	0.00000	'CROOTE(3)'
15.2900	'RCES2(1)'	0.00000	'WD1CIS(1)'
0.00000	'RCES2(2)'	0.00000	'WD1CIS(2)'
0.00000	'RCES2(3)'	0.00000	'WD2CIS(1)'
12.1900	'RCES3(1)'	0.00000	'WD2CIS(2)'
0.00000	'RCES3(2)'	0.00000	'WD3CIS(1)'
0.00000	'RCES3(3)'	0.00000	'WD3CIS(2)'
107.00000	'CLITTR(1,1)'	*** Mineral initial parameters	
0.00000	'CLITTR(1,2)'	0.25000	'MINERL(1,1)'
107.00000	'CLITTR(2,1)'	0.00000	'MINERL(2,1)'
0.00000	'CLITTR(2,2)'	0.00000	'MINERL(3,1)'
75.00000	'RCELIT(1,1)'	0.00000	'MINERL(4,1)'
0.00000	'RCELIT(1,2)'	0.00000	'MINERL(5,1)'
0.00000	'RCELIT(1,3)'	0.00000	'MINERL(6,1)'
75.00000	'RCELIT(2,1)'	0.00000	'MINERL(7,1)'
0.00000	'RCELIT(2,2)'	0.00000	'MINERL(8,1)'
0.00000	'RCELIT(2,3)'	0.00000	'MINERL(9,1)'
2500.00000	'AGLCIS(1)'	0.00000	'MINERL(10,1)'
0.00000	'AGLCIS(2)'	0.50000	'MINERL(1,2)'
100.00000	'AGLIVE(1)'	0.000	'MINERL(2,2)'
0.00000	'AGLIVE(2)'	0.000	'MINERL(3,2)'
0.00000	'AGLIVE(3)'	0.000	'MINERL(4,2)'
500.00000	'BGLCIS(1)'	0.0000	'MINERL(5,2)'
0.00000	'BGLCIS(2)'	0.00000	'MINERL(6,2)'
10.00000	'BGLIVE(1)'	0.00000	'MINERL(7,2)'
0.00000	'BGLIVE(2)'	0.00000	'MINERL(8,2)'
0.00000	'BGLIVE(3)'	0.00000	'MINERL(9,2)'
17.00000	'STDCIS(1)'	0.00000	'MINERL(10,2)'
0.00000	'STDCIS(2)'	0.50000	'MINERL(1,3)'
0.29000	'STDEDE(1)'	0.00000	'MINERL(2,3)'
0.00000	'STDEDE(2)'	0.00000	'MINERL(3,3)'
0.00000	'STDEDE(3)'	0.00000	'MINERL(4,3)'
*** Forest organic matter initial parameters		0.00000	'MINERL(5,3)'
0.00000	'RLVCIS(1)'	0.00000	'MINERL(6,3)'
0.00000	'RLVCIS(2)'	0.00000	'MINERL(7,3)'
0.00000	'RLEAVE(1)'	0.00000	'MINERL(8,3)'
0.00000	'RLEAVE(2)'	0.00000	'MINERL(9,3)'
0.00000	'RLEAVE(3)'	0.00000	'MINERL(10,3)'
0.00000	'FBR CIS(1)'	0.00000	'PARENT(1)'
0.00000	'FBR CIS(2)'	0.00000	'PARENT(2)'
0.00000	'FBR CHE(1)'	0.00000	'PARENT(3)'
0.00000	'FBR CHE(2)'	0.00000	'SECNDY(1)'
0.00000	'FBR CHE(3)'	0.00000	'SECNDY(2)'
0.00000	'RLWCIS(1)'	0.00000	'SECNDY(3)'
0.00000	'RLWCIS(2)'	0.00000	'OCCLUD'

*** Water initial parameters

0.00000	'RWCF(1)'
0.00000	'RWCF(2)'
0.00000	'RWCF(3)'
0.00000	'RWCF(4)'
0.00000	'RWCF(5)'
0.00000	'RWCF(6)'
0.00000	'RWCF(7)'
0.00000	'RWCF(8)'
0.00000	'RWCF(9)'
0.00000	'RWCF(10)'
0.00000	'SNLQ'
0.00000	'SNOW'

SITE5 (Cerrado)**CE Cerrado**

*** Climate parameters

31.25000	'PRECIP(1)'
20.11000	'PRECIP(2)'
21.73000	'PRECIP(3)'
8.470000	'PRECIP(4)'
3.890000	'PRECIP(5)'
1.590000	'PRECIP(6)'
0.930000	'PRECIP(7)'
1.410000	'PRECIP(8)'
5.200000	'PRECIP(9)'
11.18000	'PRECIP(10)'
20.30000	'PRECIP(11)'
32.42000	'PRECIP(12)'
0.000	'PRCSTD(1)'
0.000	'PRCSTD(2)'
0.00	'PRCSTD(3)'
0.000	'PRCSTD(4)'
0.000	'PRCSTD(5)'
0.000	'PRCSTD(6)'
0.000	'PRCSTD(7)'
0.000	'PRCSTD(8)'
0.000	'PRCSTD(9)'
0.000	'PRCSTD(10)'
0.000	'PRCSTD(11)'
0.000	'PRCSTD(12)'
0.00000	'PRCSKW(1)'
0.00000	'PRCSKW(2)'
0.00000	'PRCSKW(3)'
0.00000	'PRCSKW(4)'
0.00000	'PRCSKW(5)'
0.00000	'PRCSKW(6)'
0.00000	'PRCSKW(7)'
0.00000	'PRCSKW(8)'
0.00000	'PRCSKW(9)'
0.00000	'PRCSKW(10)'
0.00000	'PRCSKW(11)'
0.00000	'PRCSKW(12)'
19.7000	'TMN2M(1)'
19.5000	'TMN2M(2)'
19.5000	'TMN2M(3)'
18.5000	'TMN2M(4)'
15.7000	'TMN2M(5)'
14.4000	'TMN2M(6)'
14.1000	'TMN2M(7)'
15.5000	'TMN2M(8)'
17.4000	'TMN2M(9)'
19.0000	'TMN2M(10)'
19.2000	'TMN2M(11)'
19.4000	'TMN2M(12)'
29.1000	'TMX2M(1)'
29.7000	'TMX2M(2)'
29.3000	'TMX2M(3)'
29.1000	'TMX2M(4)'
27.4000	'TMX2M(5)'

26.6000	'TMX2M(6)'
27.0000	'TMX2M(7)'
29.0000	'TMX2M(8)'
30.1000	'TMX2M(9)'
30.6000	'TMX2M(10)'
29.5000	'TMX2M(11)'
28.9000	'TMX2M(12)'

*** Site and control parameters

0.00000	'IVAUTO'
1.00000	'NELEM'
18.450000	'SITLAT'
48.220000	'SITLNG'
0.73000	'SAND'
0.03000	'SILT'
0.24000	'CLAY'
0.00000	'ROCK'
1.27000	'BULKD'
9.00000	'NLAYER'
9.00000	'NLAYPG'
1.00000	'DRAIN'
0.10000	'BASEF'
0.10000	'STORMF'
8.00000	'PRECRO'
0.15000	'FRACRO'
0.00000	'SWFLAG'
0.10000	'AWILT(1)'
0.10000	'AWILT(2)'
0.10000	'AWILT(3)'
0.10000	'AWILT(4)'
0.10000	'AWILT(5)'
0.10000	'AWILT(6)'
0.10000	'AWILT(7)'
0.10000	'AWILT(8)'
0.10000	'AWILT(9)'
0.10000	'AWILT(10)'
0.230000	'AFIEL(1)'
0.230000	'AFIEL(2)'
0.230000	'AFIEL(3)'
0.230000	'AFIEL(4)'
0.230000	'AFIEL(5)'
0.230000	'AFIEL(6)'
0.230000	'AFIEL(7)'
0.230000	'AFIEL(8)'
0.230000	'AFIEL(9)'
0.230000	'AFIEL(10)'
4.48000	'PH'
0.90000	'PSLSRB'
200.000	'SORPMX'

*** External nutrient input parameters

0.21000	'EPNFA(1)'
0.0000	'EPNFA(2)'
30.0000	'EPNFS(1)'
0.00210	'EPNFS(2)'
0.00000	'SATMOS(1)'
0.00000	'SATMOS(2)'
0.00000	'SIRRI'

*** Organic matter initial values

0.000000	'SOM1CI(1,1)'	0.00000	'RLWCIS(2)'
0.00000	'SOM1CI(1,2)'	0.50000	'RLWODE(1)'
0.000000	'SOM1CI(2,1)'	0.00000	'RLWODE(2)'
0.00000	'SOM1CI(2,2)'	0.00000	'RLWODE(3)'
0.00000	'SOM2CI(1)'	0.00000	'FRTCIS(1)'
0.00000	'SOM2CI(2)'	0.00000	'FRTCIS(2)'
0.00000	'SOM3CI(1)'	0.00000	'FROOTE(1)'
0.00000	'SOM3CI(2)'	0.00000	'FROOTE(2)'
0.00000	'RCES1(1,1)'	0.00000	'FROOTE(3)'
0.00000	'RCES1(1,2)'	0.00000	'CRTCIS(1)'
0.00000	'RCES1(1,3)'	0.00000	'CRTCIS(2)'
0.00000	'RCES1(2,1)'	0.00000	'CROOTE(1)'
0.00000	'RCES1(2,2)'	0.00000	'CROOTE(2)'
0.00000	'RCES1(2,3)'	0.00000	'CROOTE(3)'
0.00000	'RCES2(1)'	0.00000	'WD1CIS(1)'
0.00000	'RCES2(2)'	0.00000	'WD1CIS(2)'
0.00000	'RCES2(3)'	0.00000	'WD2CIS(1)'
0.00000	'RCES3(1)'	0.00000	'WD2CIS(2)'
0.00000	'RCES3(2)'	0.00000	'WD3CIS(1)'
0.00000	'RCES3(3)'	0.00000	'WD3CIS(2)'
100.00000	'CLITTR(1,1)'	*** Mineral initial parameters	
0.00000	'CLITTR(1,2)'	0.25000	'MINERL(1,1)'
100.00000	'CLITTR(2,1)'	0.00000	'MINERL(2,1)'
0.00000	'CLITTR(2,2)'	0.00000	'MINERL(3,1)'
75.00000	'RCELIT(1,1)'	0.00000	'MINERL(4,1)'
0.00000	'RCELIT(1,2)'	0.00000	'MINERL(5,1)'
0.00000	'RCELIT(1,3)'	0.00000	'MINERL(6,1)'
0.000000	'RCELIT(2,1)'	0.00000	'MINERL(7,1)'
0.00000	'RCELIT(2,2)'	0.00000	'MINERL(8,1)'
0.00000	'RCELIT(2,3)'	0.00000	'MINERL(9,1)'
0.00000000	'AGLCIS(1)'	0.00000	'MINERL(10,1)'
0.00000	'AGLCIS(2)'	0.50000	'MINERL(1,2)'
0.0000000	'AGLIVE(1)'	0.000	'MINERL(2,2)'
0.00000	'AGLIVE(2)'	0.000	'MINERL(3,2)'
0.00000	'AGLIVE(3)'	0.000	'MINERL(4,2)'
0.0000000	'BGLCIS(1)'	0.0000	'MINERL(5,2)'
0.00000	'BGLCIS(2)'	0.00000	'MINERL(6,2)'
10.00000	'BGLIVE(1)'	0.00000	'MINERL(7,2)'
0.00000	'BGLIVE(2)'	0.00000	'MINERL(8,2)'
0.00000	'BGLIVE(3)'	0.00000	'MINERL(9,2)'
0.000000	'STDCIS(1)'	0.00000	'MINERL(10,2)'
0.00000	'STDCIS(2)'	0.50000	'MINERL(1,3)'
0.00000	'STDEDE(1)'	0.00000	'MINERL(2,3)'
0.00000	'STDEDE(2)'	0.00000	'MINERL(3,3)'
0.00000	'STDEDE(3)'	0.00000	'MINERL(4,3)'
*** Forest organic matter initial parameters		0.00000	'MINERL(5,3)'
0.00000	'RLVCIS(1)'	0.00000	'MINERL(6,3)'
0.00000	'RLVCIS(2)'	0.00000	'MINERL(7,3)'
0.00000	'RLEAVE(1)'	0.00000	'MINERL(8,3)'
0.00000	'RLEAVE(2)'	0.00000	'MINERL(9,3)'
0.00000	'RLEAVE(3)'	0.00000	'MINERL(10,3)'
0.00000	'FBR CIS(1)'	0.00000	'PARENT(1)'
0.00000	'FBR CIS(2)'	0.00000	'PARENT(2)'
0.00000	'FBR CHE(1)'	0.00000	'PARENT(3)'
0.00000	'FBR CHE(2)'	0.00000	'SECNDY(1)'
0.00000	'FBR CHE(3)'	0.00000	'SECNDY(2)'
0.00000	'RLWCIS(1)'	0.00000	'SECNDY(3)'

```
0.00000      'OCCLUD'  
*** Water initial parameters  
0.00000      'RWCF(1)'  
0.00000      'RWCF(2)'  
0.00000      'RWCF(3)'  
0.00000      'RWCF(4)'  
0.00000      'RWCF(5)'  
0.00000      'RWCF(6)'  
0.00000      'RWCF(7)'  
0.00000      'RWCF(8)'  
0.00000      'RWCF(9)'  
0.00000      'RWCF(10)'  
0.00000      'SNLQ'  
0.00000      'SNOW'
```

Anexo 4: Dados do arquivo utilizado para equilíbrio do cerrado (TREE.100)

CN1 Cerrado1		0.50000	'DECW2'
0.00000	'DECID'	0.60000	'DECW3'
0.50000	'PRDX(2)'	0.25000	'FCFRAC(1,1)'
30.00000	'PPDF(1)'	0.25000	'FCFRAC(2,1)'
45.00000	'PPDF(2)'	0.10000	'FCFRAC(3,1)'
1.00000	'PPDF(3)'	0.30000	'FCFRAC(4,1)'
3.50000	'PPDF(4)'	0.10000	'FCFRAC(5,1)'
14.90000	'CERFOR(1,1,1)'	0.34000	'FCFRAC(1,2)'
225.00000	'CERFOR(1,1,2)'	0.25000	'FCFRAC(2,2)'
100.00000	'CERFOR(1,1,3)'	0.11000	'FCFRAC(3,2)'
25.00000	'CERFOR(1,2,1)'	0.22000	'FCFRAC(4,2)'
465.00000	'CERFOR(1,2,2)'	0.08000	'FCFRAC(5,2)'
129.00000	'CERFOR(1,2,3)'	0.40000	'TFRTCN(1)'
43.000000	'CERFOR(1,3,1)'	0.25000	'TFRTCN(2)'
850.00000	'CERFOR(1,3,2)'	0.36000	'TFRTCW(1)'
92.00000	'CERFOR(1,3,3)'	0.30000	'TFRTCW(2)'
100.00000	'CERFOR(1,4,1)'	0.05000	'LEAFDR(1)'
1260.00000	'CERFOR(1,4,2)'	0.005000	'LEAFDR(2)'
183.00000	'CERFOR(1,4,3)'	0.005000	'LEAFDR(3)'
150.00000	'CERFOR(1,5,1)'	0.005000	'LEAFDR(4)'
1478.00000	'CERFOR(1,5,2)'	0.005000	'LEAFDR(5)'
175.00000	'CERFOR(1,5,3)'	0.005000	'LEAFDR(6)'
25.00000	'CERFOR(2,1,1)'	0.005000	'LEAFDR(7)'
520.00000	'CERFOR(2,1,2)'	0.005000	'LEAFDR(8)'
100.00000	'CERFOR(2,1,3)'	0.005000	'LEAFDR(9)'
60.00000	'CERFOR(2,2,1)'	0.005000	'LEAFDR(10)'
765.00000	'CERFOR(2,2,2)'	0.005000	'LEAFDR(11)'
129.00000	'CERFOR(2,2,3)'	0.005000	'LEAFDR(12)'
69.00000	'CERFOR(2,3,1)'	0.00700	'BTOLAI'
2550.00000	'CERFOR(2,3,2)'	1.00000	'KLAI'
92.00000	'CERFOR(2,3,3)'	-0.47000	'LAITOP'
300.00000	'CERFOR(2,4,1)'	20.00000	'MAXLAI'
2660.00000	'CERFOR(2,4,2)'	1.00000	'MAXLDR'
183.00000	'CERFOR(2,4,3)'	0.20000	'FORRTF(1)'
300.00000	'CERFOR(2,5,1)'	0.50000	'FORRTF(2)'
2778.00000	'CERFOR(2,5,2)'	0.50000	'FORRTF(3)'
175.00000	'CERFOR(2,5,3)'	1.00000	'SAPK'
17.20000	'CERFOR(3,1,1)'	0.00000	'SWOLD'
520.00000	'CERFOR(3,1,2)'	0.09000	'WDLIG(1)'
100.00000	'CERFOR(3,1,3)'	0.20000	'WDLIG(2)'
60.00000	'CERFOR(3,2,1)'	0.16000	'WDLIG(3)'
765.00000	'CERFOR(3,2,2)'	0.30000	'WDLIG(4)'
129.00000	'CERFOR(3,2,3)'	0.30000	'WDLIG(5)'
69.00000	'CERFOR(3,3,1)'	1.00000	'WOODDR(1)'
2550.0000	'CERFOR(3,3,2)'	0.03000	'WOODDR(2)'
92.00000	'CERFOR(3,3,3)'	0.01000	'WOODDR(3)'
300.00000	'CERFOR(3,4,1)'	0.00200	'WOODDR(4)'
2660.00000	'CERFOR(3,4,2)'	0.00400	'WOODDR(5)'
183.00000	'CERFOR(3,4,3)'	0.00000	'SNFXMX(2)'
300.00000	'CERFOR(3,5,1)'	0.00000	'DEL13C'
2778.00000	'CERFOR(3,5,2)'	1.00000	'CO2IPR'
175.00000	'CERFOR(3,5,3)'	1.00000	'CO2ITR'
1.50000	'DECW1'	1.00000	'CO2ICE(1,1,1)'

1.00000	'CO2ICE(1,1,2)'
1.00000	'CO2ICE(1,1,3)'
1.20000	'CO2ICE(1,2,1)'
1.00000	'CO2ICE(1,2,2)'
1.00000	'CO2ICE(1,2,3)'
1.00000	'CO2IRS'
1.00000	'BASFC2'
1.00000	'BASFCT'
1.00000	'SITPOT'
13.5000	'MAXNP'
0.00000	'KMRSP(2)'
0.00000	'FKMRSPMX(1)'
0.00000	'FKMRSPMX(2)'
0.00000	'FKMRSPMX(3)'
0.00000	'FKMRSPMX(4)'
0.00000	'FKMRSPMX(5)'
0.50000	'NO3PREF(2)'
6.00000	'TLAYPG'
7.00000	'TMPLFF'
10.0000	'TMPLFS'

Anexo 5: Esquema do arquivo utilizados para realizar equilíbrio do Cerrado (.sch)

```

1      Starting year
10001      Last year
site5.100  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
CN1      Initial tree

Year Month Option
1      Block #  equilibrio usando CN1
10000      Last year
1      Repeats # years
1      Output starting year
6      Output month
1200      Output interval
M      Weather choice
  1  1 TREE
CN1
  1  4 TLST
  1  8 TFST
-999 -999 X
2      Block #  desmatamento
10001      Last year
1      Repeats # years
10001      Output starting year
1      Output month
1      Output interval
M      Weather choice
  1  1 TREE
CN1
  1  4 TLST
  1  5 TFST
  1  7 TREM
CC
  1  7 TLST
  1  8 FIRE
H
  1  8 TREM
BURN
-999 -999 X

```

Anexo 6: Esquema de arquivo utilizado para realizar a modelagem da pastagem melhorada (PME), desde o ano em que houve a derrubada do cerrado até o ano 2100. Arquivos “.sch”

1977	Starting year	GH	
2100	Last year	1	5 SENM
SITE2.100	Site file name	1	6 LAST
0	Labeling type	1	7 FIRE
-1	Labeling year	H	
-1.00	Microcosm	1	9 FRST
-1	CO2 Systems	1	11 GRAZ
-1	pH effect	GH	
-1	Soil warming	1	12 GRAZ
0	N input scalar option	GH	
0	OMAD scalar option	-999	-999 X
1	Initial system	3	Block # Experimento (soja)
MLH	Initial crop	2005	Last year
	Initial tree	1	Repeats # years
		2002	Output starting year
Year Month Option		6	Output month
1	Block # Após o desmatamento do cerrado (arroz)	12	Output interval
1977	Last year	M	Weather choice
1	Repeats # years	1	3 SENM
1977	Output starting year	1	3 HARV
6	Output month	G	
12	Output interval	1	3 LAST
M	Weather choice	1	9 CULT
1	1 FERT	AP	
N5		1	10 CULT
1	4 SENM	AP	
1	4 HARV	1	11 FERT
G		A175	
1	4 LAST	1	11 CROP
1	9 CULT	SJ	
AP		1	11 PLTM
1	10 CULT	1	12 FRST
AP		-999	-999 X
1	11 FERT	4	Block # Experimento (pastagem)
A200		2009	Last year
1	11 CROP	1	Repeats # years
MLH		2006	Output starting year
1	11 PLTM	6	Output month
1	12 FRST	12	Output interval
-999 -999 X		M	Weather choice
2	Block # Experimento(Pastagem Braquiária)	1	1 CROP
2001	Last year	PBM	
1	Repeats # years	1	1 GRAZ
1978	Output starting year	GH	
6	Output month	1	2 GRAZ
12	Output interval	GH	
M	Weather choice	1	3 GRAZ
1	1 CROP	GH	
PBQ		1	5 SENM
1	1 GRAZ	1	6 LAST
GH		1	9 FRST
1	2 GRAZ	1	11 GRAZ
GH		GH	
1	3 GRAZ	1	12 GRAZ
		GH	
		-999	-999 X

5 Block # Experimento (pastagem)
 2100 Last year
 1 Repeats # years
 2010 Output starting year
 6 Output month
 12 Output interval
 M Weather choice
 1 1 CROP
 PBM
 1 1 GRAZ
 GH
 1 2 GRAZ
 GH
 1 3 GRAZ
 GH
 1 5 SENM
 1 6 LAST
 1 9 FRST
 1 10 FERT
 BE5
 1 11 GRAZ
 GH
 1 12 GRAZ
 GH
 -999 -999 X

Anexo 7: Esquema de arquivo utilizado para realizar a modelagem da pastagem degradada (PDE), desde o ano em que houve a derrubada do cerrado até o ano 2100. Arquivos “.sch”.

1985	Starting year	1986	Output starting year
2100	Last year	6	Output month
SITE1.100	Site file name	12	Output interval
0	Labeling type	M	Weather choice
-1	Labeling year	1	1 CROP
-1.00	Microcosm	PBQ	
-1	CO2 Systems	1	1 GRAZ
-1	pH effect	GH	
-1	Soil warming	1	2 GRAZ
0	N input scalar option	GH	
0	OMAD scalar option	1	3 GRAZ
1	Initial system	GH	
MLH	Initial crop	1	5 SENM
	Initial tree	1	6 LAST
		1	7 FIRE
Year Month Option		H	
1	Block # Após o desmatamento do cerrado (arroz)	1	9 FRST
1985	Last year	1	11 GRAZ
1	Repeats # years	GH	
1985	Output starting year	1	12 GRAZ
6	Output month	GH	
12	Output interval	-999	-999 X
M	Weather choice		
1	1 FERT		
N5			
1	4 SENM		
1	4 HARV		
G			
1	4 LAST		
1	9 CULT		
AP			
1	10 CULT		
AP			
1	11 FERT		
A200			
1	11 CROP		
MLH			
1	11 PLTM		
1	12 FRST		
-999	-999 X		
2	Block # Após o desmatamento do cerrado (braquiária)		
2100	Last year		
1	Repeats # years		

Anexo 8: Esquema de arquivo utilizado para realizar a modelagem da cana-de-açúcar (CAN), desde o ano em que houve a derrubada do cerrado até o ano 2100. Arquivos “.sch”

1984	Starting year	1	11 CROP
2100	Last year	SJ	
SITE5.100	Site file name	1	11 PLTM
0	Labeling type	1	12 FRST
-1	Labeling year	2	1 FERT
-1.00	Microcosm	N5	
-1	CO2 Systems	2	4 SENM
-1	pH effect	2	4 HARV
-1	Soil warming	G	
0	N input scalar option	2	4 LAST
0	OMAD scalar option	2	10 CULT
1	Initial system	H	
MLH	Initial crop	2	11 FERT
	Initial tree	A200	
		2	11 CROP
		MRM	
Year Month Option		2	11 PLTM
1	Block # ARROZ	2	12 FRST
1984	Last year	-999	-999 X
1	Repeats # years	3	Block # CANA PRIMEIRO ANO - Udia
1984	Output starting year	2009	Last year
6	Output month	1	Repeats # years
12	Output interval	2007	Output starting year
M	Weather choice	6	Output month
1	1 FERT	12	Output interval
N5		M	Weather choice
1	4 SENM	1	1 CROP
1	4 HARV	CANA	
G		1	7 HARV
1	4 LAST	CC	
1	9 CULT	1	7 LAST
AP		1	7 CULT
1	10 CULT	AP	
AP		1	7 CULT
1	11 FERT	AP	
A200		1	8 PLTM
1	11 CROP	1	8 FERT
MLH		NP1	
1	11 PLTM	1	9 FRST
1	12 FRST	-999	-999 X
-999	-999 X	4	Block # CANA PRIMEIRO ANO -
2	Block # ROTAÇÃO MILHO SOJA	2100	Last year
2006	Last year	5	Repeats # years
2	Repeats # years	2010	Output starting year
1985	Output starting year	6	Output month
6	Output month	12	Output interval
12	Output interval	M	Weather choice
M	Weather choice	1	1 CROP
1	3 SENM	CANA	
1	3 HARV	1	7 HARV
G		CC	
1	3 LAST	1	7 LAST
1	10 CULT	1	8 PLTM
H		1	8 FERT
1	11 FERT	NP1	
A175		1	9 FRST

2 1 CROP
 CANA
 2 7 HARV
 CC
 2 7 LAST
 2 8 PLTM
 2 8 FERT
 NP1
 2 9 FRST
 3 1 CROP
 CANA
 3 7 HARV
 CC
 3 7 LAST
 3 8 PLTM
 3 8 FERT
 NP1
 3 9 FRST
 4 1 CROP
 CANA
 4 7 HARV
 CC
 4 7 LAST
 4 8 PLTM
 4 8 FERT
 NP1
 4 9 FRST
 5 1 CROP
 CANA
 5 7 HARV
 CC
 5 7 LAST
 5 7 CULT
 AP
 5 7 CULT

AP
 5 8 PLTM
 5 8 FERT
 NP1
 5 9 FRST
 -999 -999 X

Anexo 9: Esquema de arquivo utilizado para substituição da PDE por PME do ano 2009 até 2100. Arquivos “.sch”

1985	Starting year	1	3 GRAZ
2100	Last year	GH	
SITE1.100	Site file name	1	5 SENM
0	Labeling type	1	6 LAST
-1	Labeling year	1	7 FIRE
-1.00	Microcosm	H	
-1	CO2 Systems	1	9 FRST
-1	pH effect	1	11 GRAZ
-1	Soil warming	GH	
0	N input scalar option	1	12 GRAZ
0	OMAD scalar option	GH	
1	Initial system	-999	-999 X
MLH	Initial crop	3	Block # braquiária COM
	Initial tree		FERTILIZANTE BE5
		2100	Last year
Year Month Option		1	Repeats # years
1	Block # Após o desmatamento do	2010	Output starting year
cerrado (arroz)		6	Output month
1985	Last year	12	Output interval
1	Repeats # years	M	Weather choice
1985	Output starting year	1	1 CROP
6	Output month	PBM	
12	Output interval	1	1 GRAZ
M	Weather choice	GH	
1	1 FERT	1	2 GRAZ
N5		GH	
1	4 SENM	1	3 GRAZ
1	4 HARV	GH	
G		1	5 SENM
1	4 LAST	1	6 LAST
1	9 CULT	1	9 FRST
AP		1	10 FERT
1	10 CULT	NP1	
AP		1	11 GRAZ
1	11 FERT	GH	
A200		1	12 GRAZ
1	11 CROP	GH	
MLH		-999	-999 X
1	11 PLTM		
1	12 FRST		
-999	-999 X		
2	Block # Após o desmatamento do		
cerrado (braquiária)			
2009	Last year		
1	Repeats # years		
1986	Output starting year		
6	Output month		
12	Output interval		
M	Weather choice		
1	1 CROP		
PBQ			
1	1 GRAZ		
GH			
1	2 GRAZ		
GH			

Anexo 10: Esquema de arquivo utilizado para substituição da PDE por CAN do ano 2009 até 2100. Arquivos “.sch”

1985	Starting year	GH	
2100	Last year	1	3 GRAZ
SITE1.100	Site file name	GH	
0	Labeling type	1	5 SENM
-1	Labeling year	1	6 LAST
-1.00	Microcosm	1	7 FIRE
-1	CO2 Systems	H	
-1	pH effect	1	9 FRST
-1	Soil warming	1	11 GRAZ
0	N input scalar option	GH	
0	OMAD scalar option	1	12 GRAZ
1	Initial system	GH	
MLH	Initial crop	-999	-999 X
	Initial tree	3	Block # CANA PRIMEIRO ANO - Coronel Pacheco
Year Month Option		2010	Last year
1	Block # Após o desmatamento do cerrado (arroz)	1	Repeats # years
1985	Last year	2010	Output starting year
1	Repeats # years	6	Output month
1985	Output starting year	12	Output interval
6	Output month	M	Weather choice
12	Output interval	1	1 CROP
M	Weather choice	CANA	
1	1 FERT	1	7 HARV
N5		CC	
1	4 SENM	1	7 LAST
1	4 HARV	1	7 CULT
G		AP	
1	4 LAST	1	7 CULT
1	9 CULT	AP	
AP		1	8 PLTM
1	10 CULT	1	8 FERT
AP		NP1	
1	11 FERT	1	9 FRST
A200		-999	-999 X
1	11 CROP	4	Block # CANA PRIMEIRO ANO - Coronel Pacheco
MLH		2100	Last year
1	11 PLTM	6	Repeats # years
1	12 FRST	2011	Output starting year
-999 -999 X		6	Output month
2	Block # Após o desmatamento do cerrado (braquiária)	12	Output interval
2009	Last year	M	Weather choice
1	Repeats # years	1	1 CROP
1986	Output starting year	CANA	
6	Output month	1	7 HARV
12	Output interval	CC	
M	Weather choice	1	7 LAST
1	1 CROP	1	8 FERT
PBQ		NP2	
1	1 GRAZ	1	9 FRST
GH		2	1 CROP
1	2 GRAZ	CANA	
		2	7 HARV

CC
 2 7 LAST
 2 8 FERT
 NP2
 2 9 FRST
 3 1 CROP
 CANA
 3 7 HARV
 CC
 3 7 LAST
 3 8 FERT
 NP2
 3 9 FRST
 4 1 CROP
 CANA
 4 7 HARV
 CC
 4 7 LAST
 4 8 FERT
 NP2
 4 9 FRST
 5 1 CROP
 CANA
 5 7 HARV

CC
 5 7 LAST
 5 8 FERT
 NP2
 5 9 FRST
 6 1 CROP
 CANA
 6 7 HARV
 CC
 6 7 LAST
 6 7 CULT
 AP
 6 7 CULT
 AP
 6 8 PLTM
 6 8 FERT
 NP2
 6 9 FRST
 -999 -999 X

Anexo 11: Esquema de arquivo utilizado para substituição da PME por CAN do ano 2009 até 2100. Arquivos “.sch”

1977	Starting year	PBQ
2100	Last year	1 1 GRAZ
SITE2.100	Site file name	GH
0	Labeling type	1 2 GRAZ
-1	Labeling year	GH
-1.00	Microcosm	1 3 GRAZ
-1	CO2 Systems	GH
-1	pH effect	1 5 SENM
-1	Soil warming	1 6 LAST
0	N input scalar option	1 7 FIRE
0	OMAD scalar option	H
1	Initial system	1 9 FRST
MLH	Initial crop	1 11 GRAZ
	Initial tree	GH
		1 12 GRAZ
Year Month Option		GH
1	Block # Após o desmatamento do cerrado (arroz)	-999 -999 X
1977	Last year	3 Block # Experimento (soja)
1	Repeats # years	2005 Last year
1977	Output starting year	1 Repeats # years
6	Output month	2002 Output starting year
12	Output interval	6 Output month
M	Weather choice	12 Output interval
1	1 FERT	M Weather choice
N5		1 3 SENM
1	4 SENM	1 3 HARV
1	4 HARV	G
G		1 3 LAST
1	4 LAST	1 9 CULT
1	9 CULT	AP
AP		1 10 CULT
1	10 CULT	AP
AP		1 11 FERT
1	11 FERT	A175
A200		1 11 CROP
1	11 CROP	SJ
MLH		1 11 PLTM
1	11 PLTM	1 12 FRST
1	12 FRST	-999 -999 X
-999 -999 X		4 Block # Experimento (pastagem)
2	Block # Experimento(Pastagem Braquiária)	2009 Last year
2001	Last year	1 Repeats # years
1	Repeats # years	2006 Output starting year
1978	Output starting year	6 Output month
6	Output month	12 Output interval
12	Output interval	M Weather choice
M	Weather choice	1 1 CROP
1	1 CROP	PBM
		1 1 GRAZ
		GH

1 2 GRAZ	NP2
GH	1 9 FRST
1 3 GRAZ	2 1 CROP
GH	CANA
1 5 SENM	2 7 HARV
1 6 LAST	CC
1 9 FRST	2 7 LAST
1 11 GRAZ	2 8 FERT
GH	NP2
1 12 GRAZ	2 9 FRST
GH	3 1 CROP
-999 -999 X	CANA
5 Block # CANA PRIMEIRO ANO -	3 7 HARV
Coronel Pacheco	CC
2010 Last year	3 7 LAST
1 Repeats # years	3 8 FERT
2010 Output starting year	NP2
6 Output month	3 9 FRST
12 Output interval	4 1 CROP
M Weather choice	CANA
1 1 CROP	4 7 HARV
CANA	CC
1 7 HARV	4 7 LAST
CC	4 8 FERT
1 7 LAST	NP2
1 7 CULT	4 9 FRST
AP	5 1 CROP
1 7 CULT	CANA
AP	5 7 HARV
1 8 PLTM	CC
1 8 FERT	5 7 LAST
NP1	5 8 FERT
1 9 FRST	NP2
-999 -999 X	5 9 FRST
6 Block # CANA PRIMEIRO ANO -	6 1 CROP
Coronel Pacheco	CANA
2100 Last year	6 7 HARV
6 Repeats # years	CC
2011 Output starting year	6 7 LAST
6 Output month	6 7 CULT
12 Output interval	AP
M Weather choice	6 7 CULT
1 1 CROP	AP
CANA	6 8 PLTM
1 7 HARV	6 8 FERT
CC	NP2
1 7 LAST	6 9 FRST
1 8 FERT	-999 -999 X

Anexo 12: Valores do arquivo “FIX.100”

X	Fixed_values	0.20000	'EDEPTH'
15.00000	'ADEP(1)'	0.40000	'ELITST'
15.00000	'ADEP(2)'	2.00000	'ENRICH'
15.00000	'ADEP(3)'	0.90000	'FAVAIL(1)'
15.00000	'ADEP(4)'	0.50000	'FAVAIL(3)'
30.00000	'ADEP(5)'	0.20000	'FAVAIL(4)'
30.00000	'ADEP(6)'	0.40000	'FAVAIL(5)'
30.00000	'ADEP(7)'	2.00000	'FAVAIL(6)'
30.00000	'ADEP(8)'	0.20000	'FLEACH(1)'
0.00000	'ADEP(9)'	0.70000	'FLEACH(2)'
0.00000	'ADEP(10)'	1.00000	'FLEACH(3)'
-40.00000	'AGPPA'	0.00000	'FLEACH(4)'
7.70000	'AGPPB'	0.10000	'FLEACH(5)'
1.50000	'ANEREF(1)'	0.80000	'FWLOSS(1)'
3.00000	'ANEREF(2)'	0.80000	'FWLOSS(2)'
0.30000	'ANEREF(3)'	0.65000	'FWLOSS(3)'
5.00000	'ANIMPT'	0.80000	'FWLOSS(4)'
0.80000	'AWTL(1)'	-0.12500	'FXMCA'
0.60000	'AWTL(2)'	0.00500	'FXMCB'
0.40000	'AWTL(3)'	0.35000	'FXMXS'
0.30000	'AWTL(4)'	7.00000	'FXNPB'
0.20000	'AWTL(5)'	0.00000	'GREMB'
0.20000	'AWTL(6)'	2.00000	'IDEF'
0.20000	'AWTL(7)'	0.20000	'LHZF(1)'
0.20000	'AWTL(8)'	0.40000	'LHZF(2)'
0.00000	'AWTL(9)'	0.80000	'LHZF(3)'
0.00000	'AWTL(10)'	18.00000	'MINLCH'
100.00000	'BGPPA'	0.00000	'NSNFIX'
7.00000	'BGPPB'	4.00000	'NTSPM'
350.00000	'CO2PPM(1)'	0.03000	'OMLECH(1)'
700.00000	'CO2PPM(2)'	0.12000	'OMLECH(2)'
0.00000	'CO2RMP'	60.00000	'OMLECH(3)'
0.00000	'DAMR(1,1)'	0.60000	'P1CO2A(1)'
0.00000	'DAMR(1,2)'	0.17000	'P1CO2A(2)'
0.01000	'DAMR(1,3)'	0.00000	'P1CO2B(1)'
0.02000	'DAMR(2,1)'	0.68000	'P1CO2B(2)'
0.02000	'DAMR(2,2)'	0.55000	'P2CO2'
0.04000	'DAMR(2,3)'	0.55000	'P3CO2'
15.00000	'DAMRMN(1)'	100.00000	'PABRES'
150.00000	'DAMRMN(2)'	16.00000	'PCEMIC(1,1)'
150.00000	'DAMRMN(3)'	200.00000	'PCEMIC(1,2)'
3.90000	'DEC1(1)'	150.00000	'PCEMIC(1,3)'
4.90000	'DEC1(2)'	10.00000	'PCEMIC(2,1)'
14.80000	'DEC2(1)'	99.00000	'PCEMIC(2,2)'
18.50000	'DEC2(2)'	50.00000	'PCEMIC(2,3)'
6.00000	'DEC3(1)'	0.02000	'PCEMIC(3,1)'
30.30	'DEC3(2)'	0.00150	'PCEMIC(3,2)'
0.005580	'DEC4'	0.00150	'PCEMIC(3,3)'
1.15000	'DEC5'	0.25000	'PEFTXA'
5.00000	'DECK5'	0.75000	'PEFTXB'
-4.00000	'DLIGDF'	6.00000	'PHESP(1)'
0.99900	'DRESP'	0.00080	'PHESP(2)'

7.60000	'PHESP(3)'	0.01300	'SPL(2)'
0.01500	'PHESP(4)'	5000.00000	'STRMAX(1)'
3.00000	'PLIGST(1)'	5000.00000	'STRMAX(2)'
3.00000	'PLIGST(2)'	1.00000	'TEXEPP(1)'
0.55000	'PMCO2(1)'	0.70000	'TEXEPP(2)'
0.55000	'PMCO2(2)'	0.00010	'TEXEPP(3)'
0.00000	'PMNSEC(1)'	0.00016	'TEXEPP(4)'
0.00000	'PMNSEC(2)'	2.00000	'TEXEPP(5)'
2.00000	'PMNSEC(3)'	1.00000	'TEXESP(1)'
0.00400	'PMNTMP'	0.00400	'TEXESP(3)'
600.00000	'PMXBIO'	15.4000	'TEFF(1)'
-0.00350	'PMXTMP'	11.7500	'TEFF(2)'
0.00000	'PPARMN(1)'	29.7000	'TEFF(3)'
0.00010	'PPARMN(2)'	0.03100	'TEFF(4)'
0.00050	'PPARMN(3)'	0.00000	'TMELT(1)'
0.00000	'PPRPTS(1)'	0.00200	'TMELT(2)'
1.00000	'PPRPTS(2)'	14.00000	'VARAT1(1,1)'
0.80000	'PPRPTS(3)'	3.00000	'VARAT1(2,1)'
0.45000	'PS1CO2(1)'	2.00000	'VARAT1(3,1)'
0.55000	'PS1CO2(2)'	150.0000	'VARAT1(1,2)'
0.00300	'PS1S3(1)'	30.00000	'VARAT1(2,2)'
0.03200	'PS1S3(2)'	2.00000	'VARAT1(3,2)'
0.0405	'PS2S3(1)'	200.0000	'VARAT1(1,3)'
0.00900	'PS2S3(2)'	50.00000	'VARAT1(2,3)'
0.00000	'PSECMN(1)'	2.00000	'VARAT1(3,3)'
0.00220	'PSECMN(2)'	20.00000	'VARAT2(1,1)'
0.20000	'PSECMN(3)'	22.00000	'VARAT2(2,1)'
0.00000	'PSECOC1'	2.00000	'VARAT2(3,1)'
0.00000	'PSECOC2'	400.00000	'VARAT2(1,2)'
12.00000	'RAD1P(1,1)'	100.0000	'VARAT2(2,2)'
3.00000	'RAD1P(2,1)'	2.00000	'VARAT2(3,2)'
5.00000	'RAD1P(3,1)'	400.00000	'VARAT2(1,3)'
220.000000	'RAD1P(1,2)'	100.0000	'VARAT2(2,3)'
5.00000	'RAD1P(2,2)'	2.00000	'VARAT2(3,3)'
100.00000	'RAD1P(3,2)'	8.00000	'VARAT3(1,1)'
220.000000	'RAD1P(1,3)'	35.000000	'VARAT3(2,1)'
5.00000	'RAD1P(2,3)'	2.00000	'VARAT3(3,1)'
100.00000	'RAD1P(3,3)'	200.00000	'VARAT3(1,2)'
200.00000	'RCESTR(1)'	50.00000	'VARAT3(2,2)'
500.00000	'RCESTR(2)'	2.00000	'VARAT3(3,2)'
500.00000	'RCESTR(3)'	200.00000	'VARAT3(1,3)'
0.01500	'RICTRL'	50.00000	'VARAT3(2,3)'
0.80000	'RIINT'	2.00000	'VARAT3(3,3)'
0.30000	'RSPLIG'	0.02000	'VLOSSE'
-1.00000	'SEED'	1.00000	'VLOSSG'
0.85000	'SPL(1)'		

Anexo 13: Valores do arquivo “FIX.100”

Dados gentilmente cedidos por Wendling (2007)

CANA

2.100 'PRDX(1)' 0.480 30.0

'PPDF(1)'

40.0 'PPDF(2)'

1.0 'PPDF(3)'

3.0 'PPDF(4)'

0.0 'BIOFLG'

1800.0 'BIOK5'

1.0 'PLTMRF'

150.0 'FULCAN'

1.00000 'FRTCINDEX'

0.42 'FRTC(1)'

0.18 'FRTC(2)'

4.0 'FRTC(3)'

0.20000 'FRTC(4)'

0.10000 'FRTC(5)'

0.30000 'CFRTCN(1)' 0.4

0.20000 'CFRTCN(2)' 0.25

0.350000 'CFRTCW(1)' 0.5

0.10000 'CFRTCW(2)'

100.0 'BIOMAX'

40.0 'PRAMN(1,1)'

100.0 'PRAMN(2,1)'

100.0 'PRAMN(3,1)'

100.0 'PRAMN(1,2)'

160.0 'PRAMN(2,2)'

200.0 'PRAMN(3,2)'

80.0 'PRAMX(1,1)'

200.0 'PRAMX(2,1)'

230.0 'PRAMX(3,1)'

200.0 'PRAMX(1,2)'

260.0 'PRAMX(2,2)'

270.0 'PRAMX(3,2)'

45.0 'PRBMN(1,1)'

390.0 'PRBMN(2,1)'

340.0 'PRBMN(3,1)'

0.0 'PRBMN(1,2)'

0.0 'PRBMN(2,2)'

0.0 'PRBMN(3,2)'

60.0 'PRBMX(1,1)'

420.0 'PRBMX(2,1)'

420.0 'PRBMX(3,1)'

0.0 'PRBMX(1,2)'

0.0 'PRBMX(2,2)'

0.0 'PRBMX(3,2)'

0.07 'FLIGNI(1,1)'

0.0 'FLIGNI(2,1)'

0.10 'FLIGNI(1,2)'

0.0 'FLIGNI(2,2)'

0.001 'HIMAX'

0.3 'HIWSF'

1.0 'HIMON(1)'

0.0 'HIMON(2)'

0.0 'EFRGRN(1)'

0.6 'EFRGRN(2)'

0.6 'EFRGRN(3)'

0.04 'VLOSSP'

0.0 'FSDETH(1)'

0.0 'FSDETH(2)'

0.0 'FSDETH(3)'

800.0 'FSDETH(4)'

0.1 'FALLRT'

0.05 'RDR'

2.0 'RTDTMP'

0.0 'CRPRTF(1)'

0.0 'CRPRTF(2)'

0.0 'CRPRTF(3)'

0.006 'SNFXMX(1)' 0.006

-15.0 'DEL13C'

1.0 'CO2IPR(1)'

0.77 'CO2ITR(1)'

1.0 'CO2ICE(1,1,1)'

1.0 'CO2ICE(1,1,2)'

1.0 'CO2ICE(1,1,3)'

1.0 'CO2ICE(1,2,1)'

1.0 'CO2ICE(1,2,2)'

1.0 'CO2ICE(1,2,3)'

1.0 'CO2IRS(1)'

0.00000 'KMRSP(1)'

0.00000 'CKMRSPMX(1)'

0.00000 'CKMRSPMX(2)'

0.25000 'NO3PREF(1)'

4.00000 'CLAYPG'

10.0000 'TMPGERM'

900.000 'DDHARV'

7.00000 'TMPKILL'

CAN1

0.450 'PRDX(1)'

30.0 'PPDF(1)'

40.0 'PPDF(2)'

1.0 'PPDF(3)'

3.0 'PPDF(4)'

0.0 'BIOFLG'

1800.0 'BIOK5'

1.0 'PLTMRF'

150.0 'FULCAN'

1.00000 'FRTCINDEX'

0.42 'FRTC(1)'

0.18 'FRTC(2)'

4.0 'FRTC(3)'

0.20000 'FRTC(4)'

0.10000 'FRTC(5)'

0.30000 'CFRTCN(1)' 0.4

0.20000 'CFRTCN(2)' 0.25

0.350000 'CFRTCW(1)' 0.5

0.10000 'CFRTCW(2)'

100.0 'BIOMAX'

40.0 'PRAMN(1,1)'

100.0 'PRAMN(2,1)'

100.0	'PRAMN(3,1)'	10.0000	'TMPGERM'
100.0	'PRAMN(1,2)'	900.000	'DDHARV'
160.0	'PRAMN(2,2)'	7.00000	'TMPKILL'
200.0	'PRAMN(3,2)'		
80.0	'PRAMX(1,1)'	CAN2	
200.0	'PRAMX(2,1)'	0.400	'PRDX(1)'
230.0	'PRAMX(3,1)'	30.0	'PPDF(1)'
200.0	'PRAMX(1,2)'	40.0	'PPDF(2)'
260.0	'PRAMX(2,2)'	1.0	'PPDF(3)'
270.0	'PRAMX(3,2)'	3.0	'PPDF(4)'
45.0	'PRBMN(1,1)'	0.0	'BIOFLG'
390.0	'PRBMN(2,1)'	1800.0	'BIOK5'
340.0	'PRBMN(3,1)'	1.0	'PLTMRF'
0.0	'PRBMN(1,2)'	150.0	'FULCAN'
0.0	'PRBMN(2,2)'	1.00000	'FRTCINDX'
0.0	'PRBMN(3,2)'	0.42	'FRTC(1)'
60.0	'PRBMX(1,1)'	0.18	'FRTC(2)'
420.0	'PRBMX(2,1)'	4.0	'FRTC(3)'
420.0	'PRBMX(3,1)'	0.20000	'FRTC(4)'
0.0	'PRBMX(1,2)'	0.10000	'FRTC(5)'
0.0	'PRBMX(2,2)'	0.30000	'CFRTC(1)' 0.4
0.0	'PRBMX(3,2)'	0.20000	'CFRTC(2)' 0.25
0.07	'FLIGNI(1,1)'	0.350000	'CFRTCW(1)' 0.5
0.0	'FLIGNI(2,1)'	0.10000	'CFRTCW(2)'
0.10	'FLIGNI(1,2)'	100.0	'BIOMAX'
0.0	'FLIGNI(2,2)'	40.0	'PRAMN(1,1)'
0.001	'HIMAX'	100.0	'PRAMN(2,1)'
0.3	'HIWSF'	100.0	'PRAMN(3,1)'
1.0	'HIMON(1)'	100.0	'PRAMN(1,2)'
0.0	'HIMON(2)'	160.0	'PRAMN(2,2)'
0.0	'EFRGRN(1)'	200.0	'PRAMN(3,2)'
0.6	'EFRGRN(2)'	80.0	'PRAMX(1,1)'
0.6	'EFRGRN(3)'	200.0	'PRAMX(2,1)'
0.04	'VLOSSP'	230.0	'PRAMX(3,1)'
0.0	'FSDETH(1)'	200.0	'PRAMX(1,2)'
0.0	'FSDETH(2)'	260.0	'PRAMX(2,2)'
0.0	'FSDETH(3)'	270.0	'PRAMX(3,2)'
800.0	'FSDETH(4)'	45.0	'PRBMN(1,1)'
0.1	'FALLRT'	390.0	'PRBMN(2,1)'
0.05	'RDR'	340.0	'PRBMN(3,1)'
2.0	'RTDTMP'	0.0	'PRBMN(1,2)'
0.0	'CRPRTF(1)'	0.0	'PRBMN(2,2)'
0.0	'CRPRTF(2)'	0.0	'PRBMN(3,2)'
0.0	'CRPRTF(3)'	60.0	'PRBMX(1,1)'
0.006	'SNFXMX(1)'	420.0	'PRBMX(2,1)'
-15.0	'DEL13C'	420.0	'PRBMX(3,1)'
1.0	'CO2IPR(1)'	0.0	'PRBMX(1,2)'
0.77	'CO2ITR(1)'	0.0	'PRBMX(2,2)'
1.0	'CO2ICE(1,1,1)'	0.0	'PRBMX(3,2)'
1.0	'CO2ICE(1,1,2)'	0.07	'FLIGNI(1,1)'
1.0	'CO2ICE(1,1,3)'	0.0	'FLIGNI(2,1)'
1.0	'CO2ICE(1,2,1)'	0.10	'FLIGNI(1,2)'
1.0	'CO2ICE(1,2,2)'	0.0	'FLIGNI(2,2)'
1.0	'CO2ICE(1,2,3)'	0.001	'HIMAX'
1.0	'CO2IRS(1)'	0.3	'HIWSF'
0.00000	'KMRSP(1)'	1.0	'HIMON(1)'
0.00000	'CKMRSPMX(1)'	0.0	'HIMON(2)'
0.00000	'CKMRSPMX(2)'	0.0	'EFRGRN(1)'
0.25000	'NO3PREF(1)'	0.6	'EFRGRN(2)'
4.00000	'CLAYPG'	0.6	'EFRGRN(3)'

45.0	'PRBMN(1,1)'	2.5	'PPDF(4)'
390.0	'PRBMN(2,1)'	0.0	'BIOFLG'
340.0	'PRBMN(3,1)'	1800.0	'BIOK5'
0.0	'PRBMN(1,2)'	0.5	'PLTMRF'
0.0	'PRBMN(2,2)'	150.0	'FULCAN'
0.0	'PRBMN(3,2)'	2.000	'FRTCINDX'
60.0	'PRBMX(1,1)'	0.5	'FRTC(1)'
420.0	'PRBMX(2,1)'	0.1	'FRTC(2)'
420.0	'PRBMX(3,1)'	3.0	'FRTC(3)'
0.0	'PRBMX(1,2)'	0.2	'FRTC(4)'
0.0	'PRBMX(2,2)'	0.1	'FRTC(5)'
0.0	'PRBMX(3,2)'	0.40000	'CFRTC(1)'
0.12	'FLIGNI(1,1)'	0.25000	'CFRTC(2)'
0.0	'FLIGNI(2,1)'	0.50000	'CFRTCW(1)'
0.06	'FLIGNI(1,2)'	0.10000	'CFRTCW(2)'
0.0	'FLIGNI(2,2)'	700.0	'BIOMAX'
0.50000	'HIMAX'	10.0	'PRAMN(1,1)'
0.00	'HIWSF'	150.0	'PRAMN(2,1)'
2.0	'HIMON(1)'	190.0	'PRAMN(3,1)'
1.0	'HIMON(2)'	62.5	'PRAMN(1,2)'
0.75	'EFRGRN(1)'	150.0	'PRAMN(2,2)'
0.6	'EFRGRN(2)'	150.0	'PRAMN(3,2)'
0.6	'EFRGRN(3)'	20.0	'PRAMX(1,1)'
0.04	'VLOSSP'	230.0	'PRAMX(2,1)'
0.0	'FSDETH(1)'	230.0	'PRAMX(3,1)'
0.0	'FSDETH(2)'	125.0	'PRAMX(1,2)'
0.0	'FSDETH(3)'	230.0	'PRAMX(2,2)'
500.0	'FSDETH(4)'	230.0	'PRAMX(3,2)'
0.1	'FALLRT'	45.0	'PRBMN(1,1)'
0.05	'RDR'	390.0	'PRBMN(2,1)'
2.0	'RTDTMP'	340.0	'PRBMN(3,1)'
0.0	'CRPRTF(1)'	0.0	'PRBMN(1,2)'
0.0	'CRPRTF(2)'	0.0	'PRBMN(2,2)'
0.0	'CRPRTF(3)'	0.0	'PRBMN(3,2)'
0.015	'SNFXMX(1)'	60.0	'PRBMX(1,1)'
-15.0	'DEL13C'	420.0	'PRBMX(2,1)'
1.0	'CO2IPR(1)'	420.0	'PRBMX(3,1)'
0.77	'CO2ITR(1)'	0.0	'PRBMX(1,2)'
1.0	'CO2ICE(1,1,1)'	0.0	'PRBMX(2,2)'
1.0	'CO2ICE(1,1,2)'	0.0	'PRBMX(3,2)'
1.0	'CO2ICE(1,1,3)'	0.12	'FLIGNI(1,1)'
1.0	'CO2ICE(1,2,1)'	0.0	'FLIGNI(2,1)'
1.0	'CO2ICE(1,2,2)'	0.06	'FLIGNI(1,2)'
1.0	'CO2ICE(1,2,3)'	0.0	'FLIGNI(2,2)'
1.0	'CO2IRS(1)'	0.550000	'HIMAX'
0.00000	'KMRSP(1)'	0.00	'HIWSF'
0.00000	'CKMRSPMX(1)'	2.0	'HIMON(1)'
0.00000	'CKMRSPMX(2)'	1.0	'HIMON(2)'
0.25000	'NO3PREF(1)'	0.75	'EFRGRN(1)'
4.00000	'CLAYPG'	0.6	'EFRGRN(2)'
10.0000	'TMPGERM'	0.6	'EFRGRN(3)'
900.000	'DDHARV'	0.04	'VLOSSP'
7.00000	'TMPKILL'	0.0	'FSDETH(1)'
		0.0	'FSDETH(2)'
		0.0	'FSDETH(3)'
		500.0	'FSDETH(4)'
		0.1	'FALLRT'
		0.05	'RDR'
		2.0	'RTDTMP'
		0.0	'CRPRTF(1)'
MRA			
1.8	'PRDX(1)'		
30.0	'PPDF(1)'		
45.0	'PPDF(2)'		
1.0	'PPDF(3)'		

0.0	'CRPRTF(2)'
0.0	'CRPRTF(3)'
0.015	'SNFXMX(1)'
-15.0	'DEL13C'
1.0	'CO2IPR(1)'
0.77	'CO2ITR(1)'
1.0	'CO2ICE(1,1,1)'
1.0	'CO2ICE(1,1,2)'
1.0	'CO2ICE(1,1,3)'
1.0	'CO2ICE(1,2,1)'
1.0	'CO2ICE(1,2,2)'
1.0	'CO2ICE(1,2,3)'
1.0	'CO2IRS(1)'
0.00000	'KMRSP(1)'
0.00000	'CKMRSPMX(1)'
0.00000	'CKMRSPMX(2)'
0.25000	'NO3PREF(1)'
4.00000	'CLAYPG'
10.0000	'TMPGERM'
900.000	'DDHARV'
7.00000	'TMPKILL'

PBQ Brachiaria-Degradada-Uberlândia

1.4300000	'PRDX(1)'
30.00000	'PPDF(1)'
45.00000	'PPDF(2)'
1.00000	'PPDF(3)'
2.50000	'PPDF(4)'
1.00000	'BIOFLG'
60.00000	'BIOK5'
1.00000	'PLTMRF'
100.00000	'FULCAN'
2.00000	'FRTCINDX'
0.50000	'FRTC(1)'
0.10000	'FRTC(2)'
3.00000	'FRTC(3)'
0.20000	'FRTC(4)'
0.10000	'FRTC(5)'
0.40000	'CFRTC(1)'
0.25000	'CFRTC(2)'
0.50000	'CFRTCW(1)'
0.10000	'CFRTCW(2)'
400.00000	'BIOMAX'
10.00000	'PRAMN(1,1)'
390.00000	'PRAMN(2,1)'
340.00000	'PRAMN(3,1)'
40.00000	'PRAMN(1,2)'
390.00000	'PRAMN(2,2)'
340.00000	'PRAMN(3,2)'
20.00000	'PRAMX(1,1)'
440.00000	'PRAMX(2,1)'
440.00000	'PRAMX(3,1)'
120.00000	'PRAMX(1,2)'
440.00000	'PRAMX(2,2)'
440.00000	'PRAMX(3,2)'
60.00000	'PRBMN(1,1)'
390.00000	'PRBMN(2,1)'
340.00000	'PRBMN(3,1)'

0.00000	'PRBMN(1,2)'
0.00000	'PRBMN(2,2)'
0.00000	'PRBMN(3,2)'
80.00000	'PRBMX(1,1)'
420.00000	'PRBMX(2,1)'
420.00000	'PRBMX(3,1)'
0.00000	'PRBMX(1,2)'
0.00000	'PRBMX(2,2)'
0.00000	'PRBMX(3,2)'
0.12000	'FLIGNI(1,1)'
0.00000	'FLIGNI(2,1)'
0.06000	'FLIGNI(1,2)'
0.00000	'FLIGNI(2,2)'
0.00001	'HIMAX'
0.00000	'HIWSF'
0.00000	'HIMON(1)'
0.00000	'HIMON(2)'
0.0000	'EFRGRN(1)'
0.0000	'EFRGRN(2)'
0.0000	'EFRGRN(3)'
0.04000	'VLOSSP'
0.00000	'FSDETH(1)'
0.00000	'FSDETH(2)'
0.00000	'FSDETH(3)'
500.00000	'FSDETH(4)'
0.10000	'FALLRT'
0.10000	'RDR'
2.00000	'RTDTMP'
0.40000	'CRPRTF(1)'
0.00000	'CRPRTF(2)'
0.00000	'CRPRTF(3)'
0.05000	'SNFXMX(1)'
27.00000	'DEL13C'
1.20000	'CO2IPR(1)'
0.80000	'CO2ITR(1)'
1.20000	'CO2ICE(1,1,1)'
1.00000	'CO2ICE(1,1,2)'
1.00000	'CO2ICE(1,1,3)'
1.20000	'CO2ICE(1,2,1)'
1.00000	'CO2ICE(1,2,2)'
1.00000	'CO2ICE(1,2,3)'
1.00000	'CO2IRS(1)'
0.00000	'KMRSP(1)'
0.00000	'CKMRSPMX(1)'
0.00000	'CKMRSPMX(2)'
0.25000	'NO3PREF(1)'
4.00000	'CLAYPG'
10.0000	'TMPGERM'
900.000	'DDHARV'
7.00000	'TMPKILL'

PBM Brachiaria-Melhorada-Uberlândia

2.5000000	'PRDX(1)'
30.00000	'PPDF(1)'
45.00000	'PPDF(2)'
1.00000	'PPDF(3)'
2.50000	'PPDF(4)'
1.00000	'BIOFLG'
60.00000	'BIOK5'

1.00000	'PLTMRF'
100.00000	'FULCAN'
2.00000	'FRTCINDX'
0.50000	'FRTC(1)'
0.10000	'FRTC(2)'
3.00000	'FRTC(3)'
0.20000	'FRTC(4)'
0.10000	'FRTC(5)'
0.40000	'CFRTC(1)'
0.25000	'CFRTC(2)'
0.50000	'CFRTCW(1)'
0.10000	'CFRTCW(2)'
400.00000	'BIOMAX'
10.00000	'PRAMN(1,1)'
390.00000	'PRAMN(2,1)'
340.00000	'PRAMN(3,1)'
40.00000	'PRAMN(1,2)'
390.00000	'PRAMN(2,2)'
340.00000	'PRAMN(3,2)'
20.00000	'PRAMX(1,1)'
440.00000	'PRAMX(2,1)'
440.00000	'PRAMX(3,1)'
120.00000	'PRAMX(1,2)'
440.00000	'PRAMX(2,2)'
440.00000	'PRAMX(3,2)'
60.00000	'PRBMN(1,1)'
390.00000	'PRBMN(2,1)'
340.00000	'PRBMN(3,1)'
0.00000	'PRBMN(1,2)'
0.00000	'PRBMN(2,2)'
0.00000	'PRBMN(3,2)'
80.00000	'PRBMX(1,1)'
420.00000	'PRBMX(2,1)'
420.00000	'PRBMX(3,1)'
0.00000	'PRBMX(1,2)'
0.00000	'PRBMX(2,2)'
0.00000	'PRBMX(3,2)'
0.12000	'FLIGNI(1,1)'
0.00000	'FLIGNI(2,1)'
0.06000	'FLIGNI(1,2)'
0.00000	'FLIGNI(2,2)'
0.00001	'HIMAX'
0.00000	'HIWSF'
0.00000	'HIMON(1)'
0.00000	'HIMON(2)'
0.0000	'EFRGRN(1)'
0.0000	'EFRGRN(2)'
0.0000	'EFRGRN(3)'
0.04000	'VLOSSP'
0.00000	'FSDETH(1)'
0.00000	'FSDETH(2)'
0.00000	'FSDETH(3)'
500.00000	'FSDETH(4)'
0.10000	'FALLRT'
0.10000	'RDR'
2.00000	'RTDTMP'
0.40000	'CRPRTF(1)'
0.00000	'CRPRTF(2)'
0.00000	'CRPRTF(3)'
0.05000	'SNFXMX(1)'

27.00000	'DEL13C'
1.20000	'CO2IPR(1)'
0.80000	'CO2ITR(1)'
1.20000	'CO2ICE(1,1,1)'
1.00000	'CO2ICE(1,1,2)'
1.00000	'CO2ICE(1,1,3)'
1.20000	'CO2ICE(1,2,1)'
1.00000	'CO2ICE(1,2,2)'
1.00000	'CO2ICE(1,2,3)'
1.00000	'CO2IRS(1)'
0.00000	'KMRSP(1)'
0.00000	'CKMRSPMX(1)'
0.00000	'CKMRSPMX(2)'
0.25000	'NO3PREF(1)'
4.00000	'CLAYPG'
10.0000	'TMPGERM'
900.000	'DDHARV'
7.00000	'TMPKILL'

MLH MILHETO

1.000	'PRDX(1)'
30.0	'PPDF(1)'
45.0	'PPDF(2)'
1.0	'PPDF(3)'
2.5	'PPDF(4)'
0.0	'BIOFLG'
1800.0	'BIOK5'
0.5	'PLTMRF'
150.0	'FULCAN'
2.00000	'FRTCINDX'
0.50000	'FRTC(1)'
0.10000	'FRTC(2)'
3.00000	'FRTC(3)'
0.20000	'FRTC(4)'
0.10000	'FRTC(5)'
0.40000	'CFRTC(1)'
0.25000	'CFRTC(2)'
0.50000	'CFRTCW(1)'
0.10000	'CFRTCW(2)'
500.0	'BIOMAX'
10.0	'PRAMN(1,1)'
150.0	'PRAMN(2,1)'
190.0	'PRAMN(3,1)'
72.5	'PRAMN(1,2)'
150.0	'PRAMN(2,2)'
190.0	'PRAMN(3,2)'
20.0	'PRAMX(1,1)'
230.0	'PRAMX(2,1)'
230.0	'PRAMX(3,1)'
95.0	'PRAMX(1,2)'
230.0	'PRAMX(2,2)'
230.0	'PRAMX(3,2)'
45.0	'PRBMN(1,1)'
390.0	'PRBMN(2,1)'
340.0	'PRBMN(3,1)'
0.0	'PRBMN(1,2)'
0.0	'PRBMN(2,2)'
0.0	'PRBMN(3,2)'
60.0	'PRBMX(1,1)'

0.0	'CO2ICE(1,1,2)'
0.0	'CO2ICE(1,1,3)'
0.0	'CO2ICE(1,2,1)'
0.0	'CO2ICE(1,2,2)'
0.0	'CO2ICE(1,2,3)'
0.0	'CO2IRS(1)'
0.00000	'KMRSP(1)'
0.00000	'CKMRSPMX(1)'
0.00000	'CKMRSPMX(2)'
0.25000	'NO3PREF(1)'
4.00000	'CLAYPG'
10.0000	'TMPGERM'
900.000	'DDHARV'
7.00000	'TMPKILL'
CANE4	revised sugarcane

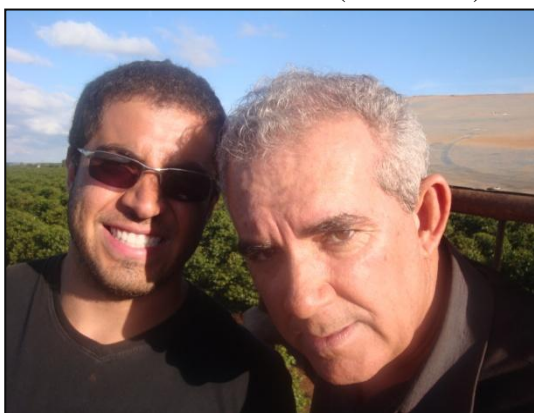
Anexo 14: Equipes de campo (extras)



Prof. Dr. Roberto Rosa (Orientador)



Emerson e Gustavo (Equipe 1)



Allan e Prof. Dr. Washington (Equipe 2)



Jussara (“coletando” amostra de solo)



O orientador teve que trabalhar todos os dias!



Orientador e “mecânico” nas horas “vagas”



Sentindo o peso do trabalho das equipes.



Pagamento das equipes (para todos os gostos)!

