

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

**CONVERSÃO DE USO E POTENCIAL DE ESTOQUE DO
CARBONO NOS DIFERENTES USOS DO SOLO E
COBERTURA VEGETAL NA BACIA DO RIBEIRÃO
BOM JARDIM NO TRIÂNGULO MINEIRO (MG)**



THALITA MENDES RESENDE

UBERLÂNDIA/MG

2011

THALITA MENDES RESENDE

**CONVERSÃO DE USO E POTENCIAL DE ESTOQUE DO CARBONO
NOS DIFERENTES USOS DO SOLO E COBERTURA VEGETAL
NA BACIA DO RIBEIRÃO BOM JARDIM
NO TRIÂNGULO MINEIRO (MG)**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de Concentração: Geografia e Gestão do Território.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Vania Silvia Rosolen.

**Uberlândia/MG
INSTITUTO DE GEOGRAFIA**

2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

R433c Resende, Thalita Mendes, 1986-
Conversão de uso e potencial de estoque do carbono nos diferentes usos
do solo e cobertura vegetal na bacia do Ribeirão Bom Jardim no Triângulo
Mineiro (MG) / Thalita Mendes Resende. - 2011.
141 f.: il.

Orientadora: Vania Silvia Rosolen.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa
de Pós-Graduação em Geografia.
Inclui bibliografia.

1. Geografia agrícola - Triângulo Mineiro (MG) - Teses. 2. Solos -
Cerrado - Triângulo Mineiro (MG) - Teses. 3. Solos - Degradação. I.
Rosolen, Vania Silvia. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de
Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

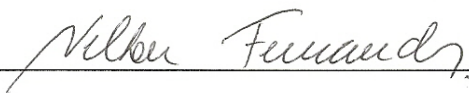
CDU: 911.3:631(815.1)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**Programa de Pós-Graduação em Geografia****THALITA MENDES RESENDE**

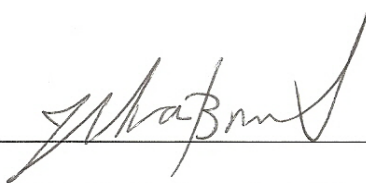
Conversão de uso e potencial de estoque do carbono nos diferentes usos do solo e cobertura vegetal na Bacia do Ribeirão Bom Jardim no Triângulo Mineiro (MG)



Prof(a). Dr(a). Vânia Sílvia Rosolen (Orientadora) - UFU



Prof(a). Dr(a). Nelson Ferreira Fernandes - UFRJ



Prof(a). Dr(a). Jorge Luís Silva Brito - UFU

Data: 11 / 02 de 2011

Resultado: Aprovada com distinção

Aos meus pais, Cleide e Antônio,
pelo amor incondicional e apoio irrestrito
em todos os momentos da minha vida!

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a Deus, autor da vida, por ter aberto caminhos e me revestido de força e sabedoria para atingir mais essa conquista!

À minha amiga e grande orientadora Profa. Dra. Vania Silvia Rosolen, pelo exemplo profissional e pela permanente disponibilidade de auxílio. Agradeço a confiança em mim depositada, o carinho, paciência, apoio, disposição e incentivo durante a realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo concedida. E à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo financiamento do projeto de Pesquisa (SHA-APQ-02901-09).

À Universidade Federal de Uberlândia (UFU), ao Instituto de Geografia (IG) e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia pela oportunidade e apoio recebido para elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Jorge Luís Silva Brito pelo carinho e auxílio ao longo dessa caminhada. Agradeço por disponibilizar o Laboratório de Cartografia e Sensoriamento Remoto tornando-o minha sala de estudo e aprendizagem. Obrigada pelas contribuições cotidianas, pelos dados concedidos e pela participação no exame de qualificação e na banca de defesa final.

Ao Prof. Dr. Nelson Ferreira Fernandes, o qual me deixou honrada pelo aceite e disposição em participar da banca de defesa final.

Ao Prof. Dr. Luiz Nishiyama pela parceria e apoio, pela disposição e acesso aos equipamentos, materiais e espaço do Museu de Minerais e Rochas. Agradeço ainda as importantes contribuições na banca de qualificação. Suas sugestões e assistência colaboraram para conclusão desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Elias Nascentes Borges, ao técnico Marco Aurélio, e aos alunos Felipe Morelli, Diego Frank, José Vieira e Fernando Oliveira do Laboratório de Manejo de Solos (LAMAS) / Instituto de Ciências Agrárias – UFU. Obrigada pela oportunidade, paciência e ajuda durante as realizações das análises granulométricas de inúmeras amostras de solo.

Ao Prof. Dr. Marcelo Zacharias Moreira pela disposição e realização das análises de carbono orgânico total e isotópico no Laboratório de Ecologia Isotópica – CENA/USP.

À Profa. Dra. Ângela Maria Soares pelo carinho e estímulo. Agradeço a disposição em me honrar lendo o trabalho. Obrigada pelas oportunidades; um dia ao seu lado nos faz encantar eternamente pela Geografia.

À Profa. Dra. Beatriz Ribeiro Soares e a todos os petianos pela amizade e carinho. Obrigada por encontrar as portas do PET sempre abertas pra mim.

Agradeço à técnica Maria Beatriz e aos bolsistas do Museu de Minerais e Rochas pela ajuda e paciência ao longo das preparações de inúmeras amostras de solo.

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

A Profa. Eleusa Fátima e a todos meus companheiros do Laboratório de Cartografia e Sensoriamento Remoto, Josimar, Laís, Juliana, Mariana, Henrique, Marcelo, Angélica, Dani, Manoel, Luciano, Kátia, agradeço pela amizade, companheirismo e incentivo.

Ao graduando Eduardo Rafael pelo carinho, apoio e auxílio ao longo de toda a pesquisa. E ao Henrique Amorim Machado pela amizade e ajuda nos dias de coleta das amostras de solo.

As companheiras de Mestrado, Lorena Bittencourt, Hérica Leonel e Dayane Zandonadi que muito me ajudaram ao longo dessa etapa. Obrigada pelo carinho e amizade!

Agradeço também aos meus pais, Cleide e Antônio, verdadeiros exemplos ao longo da vida; minha fortaleza, refúgio e sustento para que eu jamais desanimasse frente aos obstáculos. Sou grata pelo amor, amizade e atenção sempre.

Ao meu irmão Marcelo, sempre presente em minha vida, um dos grandes responsáveis por essa vitória!

Às minhas avós, Margarida e Altair, por todo o carinho, compreensão e apoio.

Ao Antônio José pelo amor, carinho, companheirismo, paciência e estímulo sempre, contribuindo para que eu alcançasse essa vitória. Agradeço ainda a disposição em revisar todo o texto.

A todos meus familiares e amigos. Certamente não chegaria até aqui sem o amor que sempre encontrei no abraço de vocês!

Enfim, agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, prestaram seu apoio na realização deste trabalho.

Todos vocês foram fundamentais ao longo do caminho e jamais serão apagados da minha lembrança!

*“A terra é um bem que apenas tomamos emprestado
d’aqueles que nos sucederão.
Nossa missão é otimizar a fertilidade sustentável
e favorável ao ambiente”.*

Fundação Agrisus

*“Uma geração vai-se, e outra geração vem,
mas a Terra permanece para sempre”.*

Eclesiastes, 1:4

RESUMO

Os ambientes do Cerrado (savana brasileira) vêm se modificando pela conversão do uso e manejo das terras. A ocupação do Cerrado brasileiro iniciou-se na década de 1930 e tornou-se área prioritária para expansão da fronteira agrícola a partir da década de 1970, com o início do período de modernização da agricultura brasileira. Imensas áreas de vegetação original foram e continuam sendo desmatadas para dar espaço a monoculturas de grãos (soja e milho, principalmente), algodão, pastagens manejadas e pastagens degradadas, implantação de florestas homogêneas para produção de carvão e celulose e, nos últimos anos, a expansão da cana-de-açúcar. A taxa anual de conversão do uso do solo entre os anos de 1999 e 2005 foi de 1,55% (JEPSON, 2005), e dentre as várias modificações ambientais relacionadas ao desmatamento do Cerrado destacam-se a erosão, os desequilíbrios nos estoques de carbono, na natureza das fontes de carbono, e na redução do carbono ligado à biomassa. A mesoregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MG), recoberta originalmente pela vegetação de Cerrado, vem sendo fortemente desmatada e substituída por sistemas agropecuários por ser uma área pioneira de expansão do agronegócio no Bioma Cerrado. Esta pesquisa objetivou avaliar o teor e a origem do carbono orgânico do solo na Bacia do Ribeirão Bom Jardim (Triângulo Mineiro/MG), após conversão da vegetação de Cerrado em áreas de cultivo de soja em rotação com milho, e de pastagens manejada e degradada, visando apresentar o potencial de degradação do solo em relação à atividade, ao manejo e ao tempo de uso do mesmo. Resultados das análises de carbono total (C%) e carbono isotópico ($\delta^{13}\text{C}$) representativas de quatro categorias de uso – remanescente de cerrado arbóreo, cultivo de soja em rotação com milho sob sistema de plantio direto, pastagem manejada e pastagem degradada – revelaram que a conversão de uso provocou mudanças importantes no teor e natureza do carbono do solo, sendo que o maior enriquecimento da taxa de carbono foi no sistema de plantio direto e o maior empobrecimento verificado ocorreu na área com pastagem degradada. Embora os resultados apresentados não possam ser considerados como representativos da imensa área das savanas brasileiras, eles poderão servir como indicadores de impactos ambientais importantes quando ecossistemas naturais são convertidos em sistemas agrícolas.

Palavras-chave: Cerrado Brasileiro; Carbono Orgânico do Solo, Teor e Natureza do Carbono, Mudança de uso do solo; Latossolos; Sistemas Agropecuários.

ABSTRACT

The environments of the Cerrado (Brazilian savannah) are being modified by the conversion use and management of the land. The occupation of the Brazilian Cerrado began in the 1930s and became a priority area for expansion of farming frontier and farming business from the 1970s with the beginning of the period known for the modernization of Brazilian agriculture. Large areas of native vegetation have been and are still being cleared to make room for monocultures of grains (soybeans and corn, mostly), cotton, managed and degraded pasturage areas, deployment of homogeneous forests for coal production and cellulose and, in recent years, the expansion of sugar cane. The annual conversion rate of land use between 1999 and 2005 was 1.55% (Jepson, 2005) and, among the many environmental changes related to deforestation of Cerrado, the erosion, the imbalances in carbon stocks and in nature of carbon sources, and the reducing of the carbon connected to biomass stand out. The middle-region of Triangulo Mineiro / Alto Paraíba, originally covered by Cerrado vegetation, has been heavily cleared and replaced by farming systems for being a pioneer area for expansion of farming business in the Cerrado biome. Thus, this study is to analyze the content and origin of soil organic carbon in the Basin of Ribeirão Bom Jardim (Triangulo Mineiro / MG), after converting the Cerrado vegetation in areas of soybean growing, rotating with corn, and in areas of managed and degraded pasturage, aiming to show the soil degradation potential in comparison to the activities, the management and its time of use. Results of the analysis of total carbon (C%) and carbon isotope ($\delta^{13}\text{C}$) representing four categories of use – remaining of Cerrado tree area, rotating soybean and corn growing under no-tillage system, managed pasturage areas and degraded pasturage areas - showed that the use conversion led to important changes in the nature and content of soil carbon, and the furthest enrichment of the carbon tax was in no-tillage system and the furthest impoverishment was found degraded pasturage areas. Although the shown results can not be regarded as representative of the vast area of the Brazilian savannas, they can be used as indicators of significant environmental impacts when natural ecosystems are converted into farming systems.

Keywords: Brazilian Cerrado; Soil organic carbon; Content and Nature of Carbon, Change of land use; Oxisols; Farming systems.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Representação simplificada do ciclo do C e seus principais reservatórios e fluxos.....	12
FIGURA 2: Principais processos no solo que influenciam o teor de carbono no solo	14
FIGURA 3: Representação dos principais estoques e fluxos do ciclo de carbono no solo	22
FIGURA 4: Localização da Bacia do Ribeirão Bom Jardim nos municípios de Uberlândia e Uberaba, Estado de Minas Gerais, Brasil.....	38
FIGURA 5: Bacia do Ribeirão Bom Jardim – Geologia (2000)	43
FIGURA 6: Bacia do Ribeirão Bom Jardim – Mapa Hipsométrico (2000)	45
FIGURA 7: Bacia do Ribeirão Bom Jardim – Mapa Clinográfico (2000)	47
FIGURA 8: Bacia do Ribeirão Bom Jardim – Mapa Geomorfológico (2000)	52
FIGURA 9: Bacia do Ribeirão Bom Jardim – Solos (2000)	55
FIGURA 10: Articulação das Cartas Militares, escala 1:25.000, da Bacia do Ribeirão Bom Jardim	59
FIGURA 11: Carta-Imagem da bacia do Ribeirão Bom Jardim, bandas TM-Landsat 3b4r5g.....	64
FIGURA 12: Mapa de Localização dos pontos amostrais na bacia do Ribeirão Bom Jardim, municípios de Uberlândia (pontos 1, 2 e 3) e município de Uberaba (ponto 4).....	69
FIGURA 13: Bacia do Ribeirão Bom Jardim – Cobertura Vegetal Natural e Uso da Terra (1964).....	82
FIGURA 14: Bacia do Ribeirão Bom Jardim – Cobertura Vegetal Natural e Uso da Terra (1979).....	84
FIGURA 15: Bacia do Ribeirão Bom Jardim – Cobertura Vegetal Natural e Uso da Terra (1989).....	86
FIGURA 16: Bacia do Ribeirão Bom Jardim – Cobertura Vegetal Natural e Uso da Terra (1994).....	88
FIGURA 17: Bacia do Ribeirão Bom Jardim – Cobertura Vegetal Natural e Uso da Terra (1999).....	90
FIGURA 18: Bacia do Ribeirão Bom Jardim–Cobertura vegetal Natural e Uso da terra Atual.....	91

LISTA DE TABELAS E QUADROS

TABELA 1: Estimativa do potencial de seqüestro de carbono por práticas agrícolas (adaptado de RICE & REED, 2007).....	33
TABELA 2: Área ocupada pelas classes de declividade na Bacia do Ribeirão Bom Jardim.....	46
TABELA 3: Área ocupada pelas classes de declividade, definidas de acordo com as fases de relevo	48
TABELA 4: Compartimentação da Bacia do Ribeirão Bom Jardim	49
TABELA 5: Área ocupada pelas Unidades de Relevô na Bacia do Ribeirão Bom Jardim.....	51
Tabela 6: Legenda, descrição e área ocupada pelas seis classes de solo identificadas na Bacia do Ribeirão Bom Jardim, de acordo com o sistema atual de classificação de solos (EMBRAPA/EPAMIG, 1999).....	54
TABELA 7: Chave de interpretação visual da área de estudo para composição colorida TM3b/ TM4r / TM5g da imagem TM/Landsat (órbita 220 / ponto 073 e órbita 221 / ponto 073), obtida em setembro de 2008	66
TABELA 8: Categoria de uso do solo em cada Ponto de Coleta na Bacia do Ribeirão Bom Jardim - MG.....	70
TABELA 9: Histórico do uso referente aos Pontos de Coleta de Solo – Bacia do Ribeirão Bom Jardim (Triângulo Mineiro/MG)	80
TABELA 10: Área ocupada pelas categorias de cobertura vegetal e uso da terra na bacia do Ribeirão Bom Jardim (2010)	94
TABELA 11: Análise Granulométrica do solo sob diferentes usos da terra e cobertura vegetal – Bacia do Ribeirão Bom Jardim (MG)	96
TABELA 12: Análise do Teor e Origem do Carbono sob diferentes usos da terra e cobertura vegetal – Bacia do Ribeirão Bom Jardim	98
QUADRO 1: Fotos das categorias de uso/pontos de coleta na Bacia do Ribeirão Bom Jardim/MG	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BIO – Biomassa Microbiana

C – Carbono

CENA – Centro de Energia Nuclear na Agricultura

CIS (*SIC*) – Carbono Inorgânico do Solo (*Soil Inorganic Carbon*)

CMOV – Carbono da Matéria Orgânica Viva

CMOM – Carbono da Matéria Orgânica Morta

COM – Matéria Orgânica Quimicamente Protegida

COS (*SOC*) – Carbono Orgânico do Solo (*Soil Organic Carbon*)

COT – Carbono Orgânico Total

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

dp – Desvio Padrão

DMAE – Departamento de Água e Esgoto de Uberlândia

DPM – Material Vegetal Decomponível

DSG – Divisão do Serviço Geográfico do Exército

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPAMIG – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente

FVAB – Fundos de Vale Aberto

FVF – Fundos de Vale Fechado

ha – Hectare

GEE – Gases de Efeito Estufa

GPS – *Global Positioning System*

HUM – Matéria Orgânica Humificada

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IMO – Matéria Orgânica Inerte

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

Km² – Quilômetro quadrado

LAB – Lábil

LAC (*Low Activity Clay*) – Argila de Baixa Atividade

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MO – Matéria Orgânica

MOS – Matéria Orgânica do Solo

N – Nitrogênio

P – Fósforo

PDB (*Pee Dee Belemnite*) – formação geológica em que se encontra a rocha calcária dolomítica (Belemnita)

pH – Potencial Hidrogeniônico

POM – Matéria Orgânica Fisicamente Protegida

POLOCENTRO – Programa de Desenvolvimento dos Cerrados

Prof. – Profundidade

RPM – Material Vegetal Resistente

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SISEMA – Sistema Estadual de Meio Ambiente

SNLCS – Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos

SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas

TIFF – *Tagged Image File Format*

TM – *Thematic Mapper*

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

CO₂ – Dióxido de Carbono

CO₂eq – Dióxido de carbono equivalente

Mg – Megagrama (= 10⁶ g)

Gg – Gigagrama (= 10⁹ g)

Tg – Teragrama (= 10¹² g)

Pg – Petagrama (= 10¹⁵ g)

ha – hectare (= 10.000 m²)

Kg C m⁻² – Quilograma de carbono por metro quadrado

Mg ha⁻¹ ano⁻¹ – Megagrama por hectare por ano

% – por cento

‰ – por mil

δ¹³C – Razão / valor isotópico do carbono

U\$ - Moeda / Dólar Americano

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	01
CAPÍTULO I: RESERVATÓRIOS DE CARBONO, MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO E MERCADO DE CARBONO.....	11
1.1 Reservatórios de Carbono e Matéria Orgânica do Solo	11
1.2 Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo no Cerrado	18
1.3 Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo – MO Lábil e MO Estável	21
1.4 Técnica do Isótopo Estável ^{13}C nos Estudos da Dinâmica do Carbono.....	25
1.5 O Solo Agrícola e o Mercado Internacional de Carbono	28
CAPÍTULO II: LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: BACIA DO RIBEIRÃO BOM JARDIM – TRIÂNGULO MINEIRO/MG	37
2.1 Clima	38
2.2 Geologia Local	41
2.3 Altimetria	44
2.4 Declividade do terreno	46
2.5 Formas de Relevo	48
2.6 Solos	53
2.7 Vegetação original	56
CAPÍTULO III: MÉTODO E TÉCNICAS DA PESQUISA	58
3.1 Mapeamento do uso atual da bacia do Ribeirão Bom Jardim	58
3.2 Coleta das amostras no campo	67
3.3 Análises de laboratório	73
3.3.1 Análise Granulométrica	73
3.3.2 Análise do Carbono Orgânico Total (C%) e Carbono Isotópico ($\delta^{13}\text{C}$)	75
CAPÍTULO IV: RESULTADOS E DISCUSSÕES	79
4.1 Histórico de Conversão do Uso da Terra na Área de Estudo	79
4.2 Análise Granulométrica do Solo sob Diferentes Usos da Terra e Cobertura Vegetal.....	94

4.3 Textura, Manejo, Teor (C%) e Natureza ($\delta^{13}\text{C}$) do Carbono Orgânico nas Diferentes Categorias de Uso da Terra	97
CAPÍTULO V: CONCLUSÕES	105
REFERÊNCIAS	109

INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado (savana brasileira) vem se modificando pela conversão do uso e manejo das terras. Imensas áreas de vegetação original foram e continuam sendo desmatadas para dar espaço aos sistemas agropecuários. A rápida degradação do solo que pode acompanhar a exploração agropecuária no mundo e, mais acentuadamente nos países tropicais e em desenvolvimento despertou, nas últimas décadas, a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade da exploração agrícola (LAL; PIRCE, 1991). Entende-se por qualidade do solo a sua capacidade de manter a produtividade biológica, a qualidade ambiental e a vida vegetal e animal saudáveis (DORAN; PARKIN, 1994). Segundo as proposições de Larson e Pirce (1994), a qualidade do solo pode ser monitorada por meio de um conjunto mínimo de variáveis químicas, físicas e biológicas que são capazes de detectar as alterações da qualidade do solo em função do manejo. Dentre estas variáveis, encontra-se o carbono orgânico total (COT) ou matéria orgânica do solo (MOS).

A matéria orgânica do solo é composta por resíduos vegetais em estados variados de decomposição, pela biomassa microbiana, raízes e pela fração mais estável denominada húmus (THENG; TATE; SOLLINS, 1989). Assim, o teor de matéria orgânica (MO) no solo é muito sensível às práticas de manejo, principalmente nas regiões tropicais, onde nos primeiros anos de cultivo, mais de 50% da MO previamente acumulada pode ser perdida por diversos processos, como a decomposição microbiana e a erosão (ANDREUX, 1996). A temperatura elevada e as condições de umidade dos trópicos aceleram os processos bioquímicos do solo e, quando associados a sistemas convencionais de preparo do solo, diminuem a proteção física da MO (CONCEIÇÃO, 2006). Nestas condições, as taxas de mineralização são maiores que as taxas de adição de resíduos orgânicos, diminuindo, portanto, o estoque de MO e

contribuindo para a emissão de CO₂ à atmosfera. Inicia-se assim, um processo de degradação física, química e biológica do solo com redução da produtividade e aumento da erosão que retroalimentam o processo de degradação (MIELNICZUK, 1988).

Sabe-se que os solos são importantes reservatórios de carbono e armazenam aproximadamente 1.500 Gt C, ou seja, cerca de duas vezes o estoque da atmosfera e três vezes a quantidade estocada na biomassa terrestre (CERRI et al., 2007). Particularmente os solos do Cerrado brasileiro estocam aproximadamente entre 4 e 5 kg C m⁻², apresentando áreas cujos estoques diminuem e variam entre 1,5 e 4 kg C m⁻² (BERNOUX et al., 2002). Mudanças no uso do solo e no manejo podem induzir à diminuição do estoque de carbono e ao aumento da quantidade dos gases do efeito estufa liberados para a atmosfera. No Brasil, 75% do CO₂ vêm da agricultura e da mudança do uso da terra e a variação dos teores de carbono do solo é uma função do uso (CERRI et al., 2007). Em síntese, mudança do uso da terra no país, devido à agricultura, representa mais de dois terços do total das emissões nacionais de CO₂ (CERRI et al., 2007).

Estima-se que aproximadamente um quarto da superfície terrestre foi convertido em sistemas agrícolas que, associado com o crescimento populacional, intensifica a demanda por comida, água potável, madeira, fibra e combustível, evidenciando a necessidade de que haja um maior controle e monitoramento dessas áreas (MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005).

O avanço das áreas agrícolas indica uma diminuição das áreas florestais (RUTTAN, 1993 *apud* EMBRAPA / PROJETO CARBONO RJ, 2009). Enquanto que na América do Norte e Europa áreas agrícolas estão em declínio em benefício das áreas florestais, na América Latina e África as áreas agrícolas ainda estão em expansão (RICHARDS, 1999 *apud* EMBRAPA /

PROJETO CARBONO RJ, 2009). Nesse contexto, vale destacar que os países em desenvolvimento, de maneira geral, são produtores de alimentos, enquanto que os países desenvolvidos, geralmente industrializados, são grandes importadores desses produtos. A diferença nos padrões de ocupação, em escala global, é um importante elemento de análise para determinação da influência dos solos das áreas tropicais para as mudanças globais, pois há marcantes diferenças na cobertura vegetal, tipos de solos e de dinâmica da matéria orgânica.

Na maior parte dos países industrializados, há um aumento da emissão de gases como resultado da utilização de processos agrícolas intensivos em insumos energéticos como fertilizantes, mecanização (aração e gradagem), irrigação e pesticidas. Porém, a maior contribuição dos países desenvolvidos ainda refere-se a queima de combustíveis fósseis em indústrias, transporte e urbanização. Por outro lado, nos países em desenvolvimento, a principal causa das emissões continua sendo os processos de transformação do uso e cobertura vegetal (CERRI et al., 2007).

No Brasil, o estado de Minas Gerais é pioneiro na inserção da variável ambiental na formulação de suas políticas públicas, embora não especifique o papel isolado do carbono dentro destas variáveis. O Sistema Estadual de Meio Ambiente (Sisema), por meio da Fundação Estadual do Meio Ambiente (Feam), lançou em 2008 (Ano base 2005) o 1º Inventário Emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) de Minas Gerais.

O Inventário identifica o perfil do Estado quanto às emissões de gases de efeito estufa gerado pelas atividades socioeconômicas em 2005, sendo, portanto, fundamental para que se conheça o nível de emissões e suas principais fontes. É um documento indispensável para a análise das

questões relacionadas à intensificação do efeito estufa causado pelas atividades humanas, disponibilizando informações para a proposição de uma Política Estadual de Mudanças Climáticas e de um Plano de Ação que contemple medidas objetivas a serem adotadas para a mitigação das emissões dos GEE em Minas Gerais.

Utilizando a metodologia para elaboração de inventários do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (Guia IPCC/2006), adaptada para a escala estadual, foram quantificadas as emissões dos gases de efeito estufa mais significativas, como o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O), além do perfluormetano (CF_4) e o perfluoretano (C_2F_6), emitidos em menores quantidades.

Foram calculadas as emissões das principais atividades econômicas do Estado: os setores de energia; processos industriais e uso de produtos; agricultura, florestas e outros usos do solo; e resíduos. O inventário contém as emissões, por fonte de energia, setor socioeconômico e tipo de gás, expressas em gigagramas de dióxido de carbono equivalente ($\text{Gg CO}_2\text{eq}$), representando o somatório de todos os gases transformados em seu equivalente em CO_2 , considerando-se seus respectivos potenciais de aquecimento global.

De acordo com esse Inventário, as emissões totais de gases de efeito estufa em Minas Gerais em 2005 foram de 122.950 $\text{Gg CO}_2\text{eq}$. O CO_2 foi o gás de efeito estufa emitido em maior quantidade, tendo sido responsável por 60,6% das emissões totais. As maiores parcelas das emissões líquidas de CO_2 foram provenientes dos setores Energia (57,2%) seguido pela Agricultura, Florestas e Outros Uso do Solo (33,9%). No setor Agricultura, Florestas e Outros Usos do Solo a conversão de florestas para outros usos foi responsável pela maior parcela da emissão total de CO_2 que representou 96,3%.

Portanto, mudanças no uso do solo, sobretudo quando florestas nativas são transformadas em áreas agrícolas ou em pastagens, ou o processo inverso, quando áreas agrícolas são convertidas em florestas, ocorrem mudanças no conteúdo de carbono nos solos. Essa alteração depende do tipo de uso e das práticas de manejo. Em relação ao manejo, por exemplo, a comum aplicação de calcário para redução da acidez e aumento da fertilidade ocasiona, também, emissão de CO₂. A conversão de solos orgânicos para agricultura é normalmente acompanhada por drenagem artificial, cultivo e calagem, resultando em rápida oxidação de matéria orgânica e estabilização do solo e conseqüente emissão de CO₂.

Naturalmente, o solo comporta-se como um sistema aberto, trocando matéria e energia com o meio. O sistema atinge um estado estável quando as taxas de adição e perdas se equivalem (ADDISCOT, 1992). Portanto, a adição de matéria orgânica ocorre via adição de carbono pela síntese de compostos orgânicos no processo de fotossíntese. A incorporação de carbono em determinadas condições edafoclimáticas depende das espécies e dos cultivos utilizados, enquanto que as perdas de carbono ocorrem principalmente 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 depende direta ou indiretamente do manejo do solo.

O homem, através da perturbação do sistema estável (solo + cobertura vegetal) normalmente causa mais perdas do que ganhos de carbono, implicando na redução do seu teor ao longo do tempo e a degradação da qualidade do solo (DORAN, 1997). A degradação do solo é definida em Siqueira et al. (1994) como o “declínio da qualidade e da capacidade produtiva do solo causada pelo mau uso”. A degradação ocorre quando a vegetação nativa e a fauna são destruídas, a camada fértil do solo é perdida, removida ou enterrada e a qualidade e regime de

vazão do sistema hídrico são alterados causando profundas mudanças no ecossistema, tornando-se inviável a exploração sócio-econômica e ambiental da área (IBAMA, 1990). Dentre os principais processos causadores da degradação do solo tem-se a perda da matéria orgânica.

Em termos de abrangência geográfica, a área global ocupada pelos solos degradados representa cerca de 2 bilhões de hectares. Tal magnitude, segundo Tilman, Fargione e Wolff (2001) deve-se as interferências intensas nos ecossistemas que, juntamente com o crescimento populacional, resulta em redução da área cultivada per capita. Estima-se que, atualmente, cerca de 40% da área com potencial de uso agrícola encontra-se com algum nível de degradação e os fatores que atuam na degradação do solo tendem a se agravar, pois para atender as demandas do crescimento populacional, há necessidade de se triplicar a produção de alimentos até 2050 quando comparado com a produção do ano 2000. Tal incremento poderá aumentar de 2 a 3 vezes os impactos ambientais.

A contribuição para a degradação dos solos do Cerrado brasileiro deve-se em parte ao avanço dos sistemas agropecuários que causam grande destruição de habitat e impacto na biodiversidade. Originalmente a área recoberta com Cerrado ocupava cerca de 2 milhões de Km², se caracterizando como o segundo maior bioma brasileiro em extensão, posicionado após a Floresta amazônica (floresta tropical úmida) com mais de 4 milhões de Km². Levantamentos realizados pelo Ministério do Meio Ambiente (1999) indicaram a ocorrência de pelo menos 6.000 espécies de plantas lenhosas, com elevado grau de endemismo, e mais de 800 espécies de aves, agregadas a uma variedade de peixes, abelhas e outros invertebrados. Possui mais de 500 espécies de gramíneas, na maioria endêmicas, que atualmente perdem

espaço para os capins exóticos utilizados na expansão de pastagens. A biodiversidade do Cerrado Brasileiro representa em torno de 5% da biodiversidade do planeta.

A ocupação do Cerrado brasileiro iniciou-se na década de 1930 inserido em um projeto de integração nacional e, a partir da década de 1970, com o início do período da modernização da agricultura brasileira, fruto de política governamental, pautada no uso intensivo do solo, máquinas e insumos agrícolas, tornou-se área prioritária para expansão da fronteira agrícola e do agronegócio (WANIEZ, 1992; BALBINO et al., 2002; BROSSARD; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, 2005). Imensas áreas de vegetação original foram e continuam sendo desmatadas para dar espaço as monoculturas de grãos (soja e milho, principalmente), algodão, pastagens degradadas e manejadas, implantação de florestas homogêneas para produção de carvão e celulose e, nos últimos anos, a expansão da cana-de-açúcar.

Estima-se que 50% do Cerrado é composto por terras potencialmente aráveis e dois terços podem ser incorporados como sistemas agrícolas (LOPES, 1996). Desse modo, o Cerrado tem sido visto como uma região apropriada para a agricultura mecanizada em função, principalmente, de sua geomorfologia (ao longo de um platô), do potencial de terras aráveis disponíveis para utilização e dos avanços tecnológicos no solo e manejo da cultura (LOPES, 1996). As políticas governamentais, programas de incentivo e criação do Centro Nacional de Investigação Agrícola (Embrapa) também têm incentivado a expansão agropecuária na região. Sano et al. (2000), utilizando dados do censo de 1995-1996 e do Sistema de Informação Geográfica (SIG), estimaram que 20% do Cerrado brasileiro estão sob pastagens cultivadas e, segundo Barcellos (1996), 80% da área total de pastagens cultivadas estão degradadas.

O Cerrado se desenvolve em condições de clima tropical. Suas formações são constituídas por um contínuo e importante extrato de gramíneas, ocasionalmente interrompido por árvores e arbustos, com fogo freqüente e com padrão de crescimento intimamente relacionado com a

alternância de estações seca e úmida (BOURLIÈRE; HADLEY, 1983). Os solos tropicais lateríticos recobrem aproximadamente 75% do Bioma (REATTO et al., 2008).

Em virtude da rápida conversão da vegetação original em sistemas agrícolas, atualmente apenas 51,54 % ou 1.051.182 km² compõem as áreas de remanescentes da vegetação original do bioma e, apenas 5,2% da área total está protegida sob a forma de alguma política de conservação (MMA, 2010). A taxa anual de conversão do uso do solo entre os anos de 1999 e 2005 foi de 1,55% (JEPSON, 2005). Dentre as várias modificações ambientais relacionadas ao desmatamento do Cerrado destacam-se a erosão, os desequilíbrios nos estoques de carbono (KLINK; MACHADO, 2005), na natureza das fontes de carbono (BALESDENT; CHENU; BALABANE, 2000) e na redução do carbono ligado à biomassa e a MOS (LAL, 2003; EGOH et al., 2009).

O cenário atual reflete em grande parte a expansão agrícola pautada na produção em larga escala de monoculturas nas formas de plantio convencional e, após 1990, a substituição parcial desta prática de manejo em sistema de plantio direto. Estima-se que hoje a área cultivada por este sistema no Cerrado seja de aproximadamente 8 milhões de hectares (JANTÁLIA et al., 2007). Estudos focando aumento ou diminuição da MOS como resultado desta prática de manejo em relação ao Cerrado nativo apontaram tanto para a conservação do carbono do solo (SILVA; LEMAINSKI; RESCK, 1994; LAL, 2002; SILVA et al., 2004; JANTÁLIA et al., 2007) quanto para diferenças pouco expressivas uma vez que fatores como a textura e mineralogia interferiram diretamente no acúmulo de carbono (FREITAS et al., 2000; BAYER et al., 2006; MARCHÃO et al., 2009).

Em relação à conversão do uso do solo em pastagens, devido à baixa produtividade das pastagens naturais, ou seja, aquelas formadas após o corte e a queima do Cerrado que, em virtude de limitações climáticas e edáficas são de baixa qualidade e quantidade, estimulou a introdução de pastagens com espécies vegetais africanas (*Brachiária*, *Panicum* e *Andropogon*) mais produtivas e com maior potencial de aumento do estoque de carbono no solo (SAVIDAN et al., 1985; BALBINO et al., 2002; CERRI et al., 2003; MARCHÃO et al., 2009). Quando não manejadas adequadamente as pastagens do cerrado formam uma cobertura vegetal descontínua que expõe a superfície do solo. Nestes casos, especialmente quando se trata de solos arenosos, há perceptível perda da fase argilosa e aumento relativo da fração areia na forma de grãos de quartzo lavados e soltos.

Diante do exposto, o principal objetivo desta pesquisa foi avaliar as mudanças no teor e natureza do carbono orgânico do solo após aproximadamente 30 anos de histórico de conversão da vegetação de Cerrado denso em áreas de pastagens degradada e manejada, e agricultura – área de cultivo de soja em rotação com milho em sistema de plantio direto há cerca de 10 anos, utilizando técnicas para determinação do carbono total (C%) e isotópico ($\delta^{13}\text{C}$). A pesquisa foi realizada na Bacia do Ribeirão Bom Jardim / MG, cujos resultados refletiram a comparação da influência do uso do solo na dinâmica da matéria orgânica, e a avaliação do potencial de degradação do solo em relação à atividade, ao manejo e ao tempo de uso. A bacia em estudo, situada entre os municípios de Uberlândia e Uberaba – Minas Gerais, é representativa da paisagem regional. Trata-se de uma área que originalmente era toda coberta por Cerrado e que foi pioneira de desmatamento na região. Desde a década de 1970, a vegetação original do Cerrado que recobria toda a bacia foi substituída por extensas áreas de monoculturas (milho, soja, cana, etc.), pastagens e reflorestamento (BRITO, 2001).

Para atingir ao objetivo geral, estabeleceram-se os seguintes objetivos específicos:

- ✓ identificar e avaliar o histórico do uso do solo e cobertura vegetal da Bacia do Ribeirão Bom Jardim (1964 até uso atual em 2010);
- ✓ caracterizar os solos amostrados nos diferentes usos e cobertura vegetal da área de pesquisa;
- ✓ determinar o teor (C%) e a natureza ($\delta^{13}\text{C}$) do carbono orgânico do solo nos diferentes usos estabelecidos na bacia estudada;
- ✓ relacionar os diferentes usos e o manejo do solo com o potencial de estoque ou perda de carbono e degradação do solo.

O tema tem relevância científica e prática tendo em vista a ausência de estudos acerca da relação entre mudanças no uso da terra e a potencialidade de estoque de carbono, bem como a necessidade de produção agropecuária em conformidade com as preocupações ambientais com o intuito de elevar o aproveitamento das terras já destinadas à agricultura, assim como promover a preservação das áreas de remanescentes da vegetação nativa e a conservação dos solos e das águas.

CAPÍTULO I

RESERVATÓRIOS DE CARBONO, MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS) E MERCADO DE CARBONO

1.1 Reservatórios de Carbono e Matéria Orgânica do Solo

O carbono da Terra está estocado em cinco grandes reservatórios (MACHADO, 2005; LAL, 2006; IPCC, 2007):

- ✓ Oceanos, estimados em 38.000 Pg;
- ✓ 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 carbono do solo, composta por 1.550 Pg de carbono orgânico no solo (SOC) e 950 Pg de carbono inorgânico no solo (SIC);
- ✓ Atmosfera, estimada em 750 Pg com aumento anual em torno de 3,3 Pg/ano;
- ✓ Reserva biótica, com 620 Pg incluindo 60 Pg por detritos materiais.

Os valores das reservas de C 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 1).

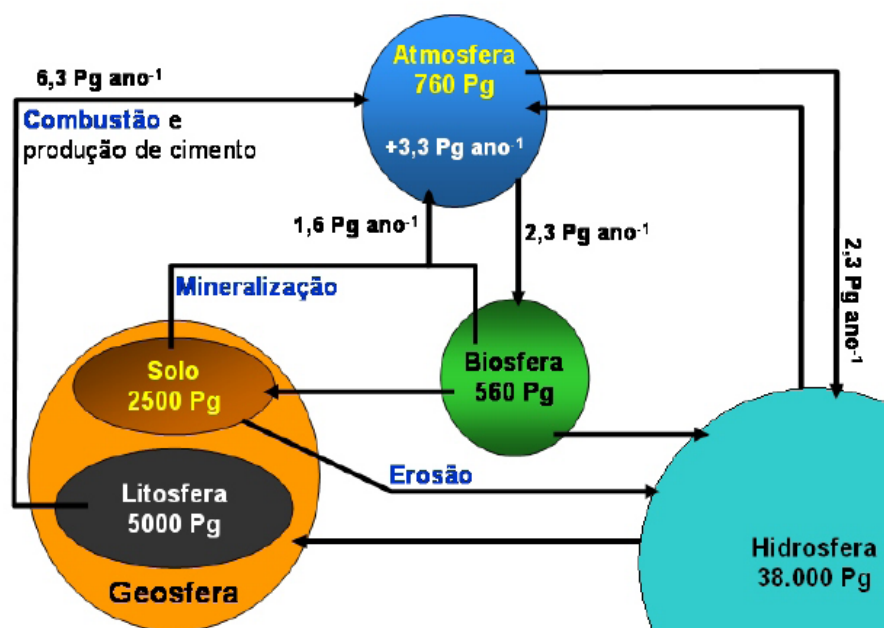


Figura 1: Representação simplificada do ciclo do C e seus principais reservatórios e fluxos.
Fonte: Dieckow et al. (2004, p.8)

Nos solos estão estocados de duas a três vezes mais carbono do que na vegetação e cerca de duas vezes mais quando comparado com a atmosfera. O estoque de C no solo, na camada entre 0-30 cm, é de cerca de 800 Pg C (CERRI et al., 2006). Entretanto, é pertinente salientar que os solos são ecossistemas frágeis e manejos inadequados podem mineralizar a matéria orgânica e transferir grandes quantidades de gases do efeito estufa para a atmosfera (CERRI; CERRI, 2007).

De acordo com o 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%. São duas as principais opções para reduzir a taxa de enriquecimento da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera: (1) redução das emissões e (2) sequestro do carbono (SINGH; LAL, 2005).

As fontes potenciais de emissão de carbono do solo, de acordo com o IPCC (1997) *apud* Cerri et al. (2006), são três: (1) mudanças líquidas no estoque de carbono orgânico de solos minerais, associadas às mudanças no uso da terra e manejo; (2) emissões por calagem de solos agrícolas; (3) emissões provenientes de solos orgânicos cultivados.

Em geral, a conversão de ecossistemas naturais em ecossistemas agrícolas leva à perdas do carbono orgânico do solo (COS). A diminuição é causada pelo uso inadequado de práticas de manejo agrícola, como aração, retorno do resíduo mínimo e aceleração da erosão (CERRI et al., 2006). Com a mudança no uso da terra ocorre um rápido declínio da matéria orgânica do solo (POST; KWON, 2000). Nos últimos anos o COS vem sendo sistematicamente quantificado tanto na forma de teores totais quanto na concentração encontrada nos diferentes compartimentos do solo (LEITE; MENDONÇA; MACHADO, 2004). Tal quantificação é possível devido à elevada capacidade que o solo tem, por meio do seu manejo, de reter ou transferir C para a atmosfera.

De acordo com Machado (2005) os três principais processos responsáveis pelo sequestro de carbono nos solos são a humificação, a agregação e a sedimentação. Ao mesmo tempo, os processos responsáveis pelas perdas de carbono no solo são a erosão, a decomposição, a volatilização e a lixiviação (Figura 2).

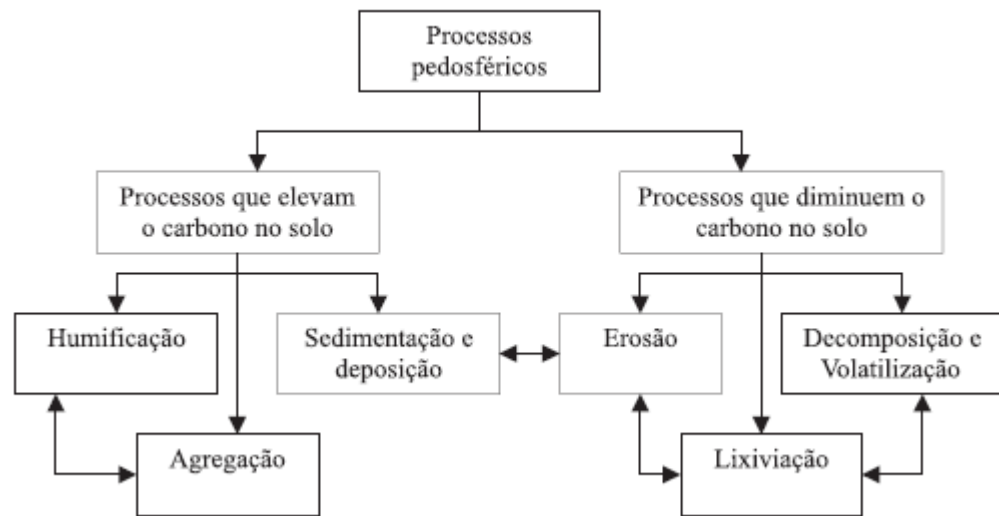


Figura 2: Principais processos no solo que influenciam o teor de carbono no solo

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).

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

Já o carbono da matéria orgânica morta (CMOM) subdivide-se na matéria macrorrgânica, 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 (ex. ácido cítrico, ftálico e malônico) e substâncias húmicas (70% do carbono do húmus), representadas pelos ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas (MACHADO, 2005).

Nos solos tropicais a matéria orgânica tem grande importância como fonte de nutrientes para as espécies vegetais, para a retenção de cátions, complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, estabilidade da estrutura, infiltração e retenção de água, aeração, e serve como fonte de C e energia aos organismos heterotróficos. Trata-se, portanto, de um componente fundamental do potencial produtivo destes solos.

Sob vegetação natural, o conteúdo de matéria orgânica do solo encontra-se estável. A conversão de ecossistemas naturais em sistemas agrícolas altera este conteúdo ocasionando, geralmente, uma redução acentuada quando se utiliza métodos de preparo com intenso revolvimento do solo e sistemas de cultura com baixa adição de resíduos vegetais.

Inicialmente, a temperatura e umidade elevadas são fatores importantes a considerar quando o objetivo é discutir o acúmulo e a dinâmica da matéria orgânica em solos tropicais. Temperatura e umidade elevadas resultam na intensificação dos processos químicos e bioquímicos e em elevadas taxas de decomposição. Contrabalanceando as elevadas taxas de decomposição, as regiões tropicais contribuem com elevadas taxas de produção de resíduos vegetais que retornam ao solo. E, sob estas condições naturais, o estoque do carbono do solo é garantido.

As quantidades de carbono (dC) adicionadas (K_1A) e perdas ($-K_2C$) tem variação total expressa pela equação 1.

Equação 1:
$$\frac{dC}{dt} = K_1.A - K_2.C$$

Em que,

dC = quantidade de carbono;

dt = tempo;

K_1 = coeficiente da fração de carbono adicionado efetivamente retido no solo na forma de matéria orgânica;

A = carbono fotossintetizado adicionado ao solo na forma de resíduos exsudados radiculares e raízes;

K_2 = coeficiente da fração do carbono na matéria orgânica do solo perdido pela decomposição microbiana, erosão e lixiviação;

C = carbono da matéria orgânica do solo.

Utilizam-se as unidades de $Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ para o A , e $Mg\ ha^{-1}$ para o C contido em uma determinada camada de solo. Os coeficientes K_1 e K_2 representam, em base anual, a fração de carbono adicionado (A) efetivamente retido no solo na forma de matéria orgânica, e a fração do carbono na matéria orgânica do solo perdido pela decomposição microbiana, erosão e lixiviação, respectivamente (DALAL; MAYER, 1986).

Os coeficientes K_1 e K_2 são afetados pela temperatura, umidade, textura e mineralogia do solo, bem como práticas de manejo, em especial o grau de revolvimento do solo. Em regiões tropicais, a perda do carbono na matéria orgânica é maior; portanto o coeficiente K_2 é mais elevado, podendo alcançar valores de até 10% ($0,10\ ano^{-1}$) (CERRI; ANDREUX, 1990; BAYER; MIELNICZUK; MARTIN-NETO, 2000).

Já os valores de K_1 do C adicionado pela parte aérea das culturas variam entre 7,7 e 23% (BOLINDER et al., 1999). O C adicionado pelo sistema radicular apresenta maiores valores de K_1 , o que tem sido relacionado aos maiores teores de lignina nas raízes, ou ainda ao fato de que ao promover a agregação do solo, intensifica-se a proteção física do C adicionado diretamente na matriz do solo (BALESDENT; BALABANE, 1992, 1996). Bolinder et al.

(1999) apresenta a faixa de variação de K_1 para C derivado de raízes de 14,4 a 30%.

Geralmente, os coeficientes K_1 e K_2 são determinados utilizando-se técnicas isotópicas de C marcado (^{14}C) ou a abundância natural do ^{13}C e sua discriminação relativa ao ^{12}C pelas plantas da rota metabólica C_3 em relação a rota C_4 , aplicando-se a técnica da relação $\delta^{13}\text{C}$ (CERRI, 1986; BALESIDENT; MARIOTTI; BOISGONTIER, 1990; GREGORICH; ELLERT; MONTREAL, 1995). De posse desses coeficientes e dos valores de A, cenários de manejo do solo podem ser simulados. Neste sentido, o conhecimento da dinâmica da matéria orgânica em regiões tropicais auxilia no entendimento da importância em adotar práticas de manejo do solo que determinem altas adições de C ao solo, bem como a diminuição das taxas de decomposição buscando o desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis.

Outro fator a ser considerado é a capacidade de proteção da matéria orgânica à ação decompositora dos microorganismos. Nos Latossolos, a proteção física da matéria orgânica se dá nos microagregados ou pela ligação com as superfícies minerais dos óxidos de ferro que possuem alta estabilidade química e são pouco afetadas pelos preparos do solo (OADES; GILLMAN; UEHARA, 1989). Nestes tipos de solo, o revolvimento e a exposição dos agregados do solo aos ciclos de umedecimento e dessecação e ao impacto das gotas de chuva disponibiliza à ação dos microorganismos e de suas enzimas a matéria orgânica anteriormente protegida (BALESIDENT; CHENU; BALABANE, 2000). A proteção física da matéria orgânica no interior de agregados de solo (FELLER; BEARE, 1997) e a estabilidade química da matéria orgânica associada a superfícies oxídicas em solos de carga variável são importantes fatores determinantes dos estoques de matéria orgânica em solos tropicais (PARFITT et al., 1997).

Quando os solos de constituição laterítica são convertidos em sistemas agrícolas baseados em práticas convencionais de manejo, apresentam rapidamente um declínio no estoque de matéria orgânica. Tal empobrecimento está associado às condições climáticas mais favoráveis à decomposição microbiana, a quantidade de resíduos vegetais necessárias para manutenção dos estoques de matéria orgânica do solo e as técnicas de que rompem a agregação do solo. A recuperação dos estoques de C e N dos solos pode ser garantida por meio da proteção química e física da matéria orgânica que é, em última análise, um reflexo das técnicas de manejo.

Assim, a compreensão da dinâmica do carbono nos solos tropicais é fundamental para a adoção de sistemas de uso e manejo. Em tais regiões a degradação da fração orgânica do solo em condições inadequadas de manejo é rápida e vem acompanhada de um processo global de degradação das condições químicas, físicas e biológicas dos solos.

1.2 Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo no Cerrado

Dentre os vários biomas tropicais, as Savanas recobrem cerca de 15% da área total terrestre, armazenando cerca de 15% do total de carbono (vegetação e profundidade de 1 metro de solo) sendo que o Cerrado brasileiro representa cerca de 9% da área total das Savanas Tropicais do mundo (BUSTAMANTE et al., 2006).

Definida como Savana 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 [...]. O tipo de fisionomia é usualmente dependente das condições climáticas locais (chuvas), 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 *habitats*, principalmente devido a expansão das atividades agrícolas (BUSTAMANTE et al., 2006, p.286).

No Cerrado brasileiro foram determinadas taxas médias de acúmulo de C orgânico nos solos de $0,35 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (BAYER et al., 2006). Os solos do Cerrado são representados quase que exclusivamente por Latossolos, Neossolos Quartzarênicos e Argissolos que, em conjunto, recobrem aproximadamente 75% do Bioma (REATTO et al., 2008). São solos fortemente lixiviados, dessaturados, ácidos (pH entre 4,0-5,5), com alta concentração de Al trocável e constituído por argila de baixa atividade (LAC). A composição mineralógica comum associa caolinita, gibbsita, hematita e goethita e quartzo residual (MACEDO; BRYANT, 1987) cujos teores variam de acordo com a litologia e posição topográfica (VOLKOFF, 1985; CURI; FRANZMEIER, 1984).

Os solos do Cerrado são extremamente frágeis e a erosão superficial ou em sulcos se constituem em um dos maiores problemas ambientais. A maior porção da capacidade de troca catiônica (CTC) desses solos é proveniente da contribuição da MOS por ionização de grupos carboxílicos, enólicos e fenólicos. Neste bioma, a MOS desempenha um papel importante na reciclagem de nutrientes via ação dos organismos do solo, como fonte de energia e de substrato, no tamponamento do solo em relação às alterações de pH, na construção e na manutenção de sua estrutura, na adsorção e armazenamento de água (SILVA; RESCK, 1997). Assim, por ser o componente mais importante dos principais solos no Cerrado utilizados para a exploração agropecuária, a matéria orgânica deve ser discutida e compreendida sob uma perspectiva dinâmica, considerando o sequestro de carbono, os processos de formação e acúmulo, os fluxos de CO_2 , e a influência dos sistemas de manejo.

Se as condições naturais tropicais são determinantes para o comportamento do carbono orgânico levando quase sempre à rápida mineralização e diminuição dos teores quando a vegetação original é retirada, as opções de técnicas de manejo podem interferir neste

processo. As transformações de uso da terra no Cerrado sofreram processo de aceleração após a implementação de diversos programas de incentivo do governo federal na década de 1970, com destaque para o Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (Polocentro). Devido aos altos investimentos em corretivos, fertilizantes e variedades adaptadas de diversas culturas para as condições edafo-climáticas desse Bioma, houve uma ocupação desordenada da terra, com o aumento do desmatamento que contribuiu para a perda da biodiversidade de espécies nativas arbóreas, arbustivas e herbáceas. Simultaneamente, algumas técnicas inadequadas de manejo do solo propiciaram a rápida degradação desse recurso com a perda da matéria orgânica e dos nutrientes minerais.

Segundo Bayer et al. (2004) uma área superior a 12 milhões de hectares do Cerrado era 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 lavoura comercial e a formação de pastagens plantadas são as principais atividades econômicas na região (ADUAN; VILELA; KLINK, 2003). As maiores culturas são soja (exportação), milho, arroz, feijão, cana e algodão (mercado interno). As fazendas da região são caracterizadas por grandes unidades monocultoras com entradas externas e mecanização pesada (CADAVID GARCIA, 1995; KLINK et al., 1995 *apud* BUSTAMANTE et al., 2006).

As técnicas de cultivo da denominada ‘Revolução Verde’ estão pautadas na limpeza do solo, aração e uso de agroquímicos, deixando a superfície do solo exposta. Já a técnica do plantio direto, na qual restos vegetais e da palhada são incorporados nas camadas superficiais do solo e recobrem parcialmente a superfície, é uma opção viável para a preservação e aumento do carbono no solo.

Portanto, as taxas de acúmulo de C em solos tropicais sob sistema de plantio direto podem ser inclusive superiores às verificadas em solos de regiões de clima temperado e isso pode representar um importante aspecto quanto ao potencial de melhoria da qualidade química, física e biológica de solos tropicais sob cultivo. Este acúmulo de C orgânico no solo representa uma retenção do CO₂ atmosférico no solo, o qual tem implicações positivas quanto à mitigação das taxas de crescimento das concentrações deste gás de efeito estufa na atmosfera. Portanto, como decorrência do efeito diferenciado dos sistemas de preparo sobre a dinâmica da matéria orgânica em função da textura e mineralogia do solo, das condições climáticas e das quantidades de resíduos vegetais que os sistemas de cultura adicionam ao solo, ocorrem taxas variadas de acúmulo líquido de C nos solos em plantio direto.

1.3 Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo – MO Lábil e MO Estável

A gênese da matéria orgânica do solo está relacionada com a capacidade de sequestro de carbono pelo solo que consiste na remoção líquida do dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera para os reservatórios tais como vegetação e solo (LAL, 2003). O CO₂ é assimilado pelas plantas no processo de fotossíntese que transforma esse gás, na presença de água e de minerais, em biomassa vegetal. Em média, 58% desta biomassa é carbono (C) que compõem as folhas, caules, frutos e raízes. Os resíduos de plantas e animais constituem os precursores da matéria orgânica do solo (MOS). A decomposição de resíduos de plantas e animais no solo constitui o processo biológico básico no qual o C é reciclado para a atmosfera como CO₂, o nitrogênio torna-se disponível como amônio e nitrato, e outros elementos associados aparecem em formas assimiláveis pelas plantas.

Nesse processo, parte dos 4% do carbono orgânico total que constitui o componente vivo da MOS é incorporado à biomassa microbiana do solo (de 2,4% a 3,2% do C orgânico total do substrato pode ser utilizado pelos microorganismos para a síntese de células) e parte é convertida em húmus estável. Ao mesmo tempo, parte do húmus nativo é mineralizada. Em consequência, o conteúdo total de MOS é mantido em estado de equilíbrio característico do solo e do sistema de manejo aplicado (RESCK, 2005) (Figura 3).

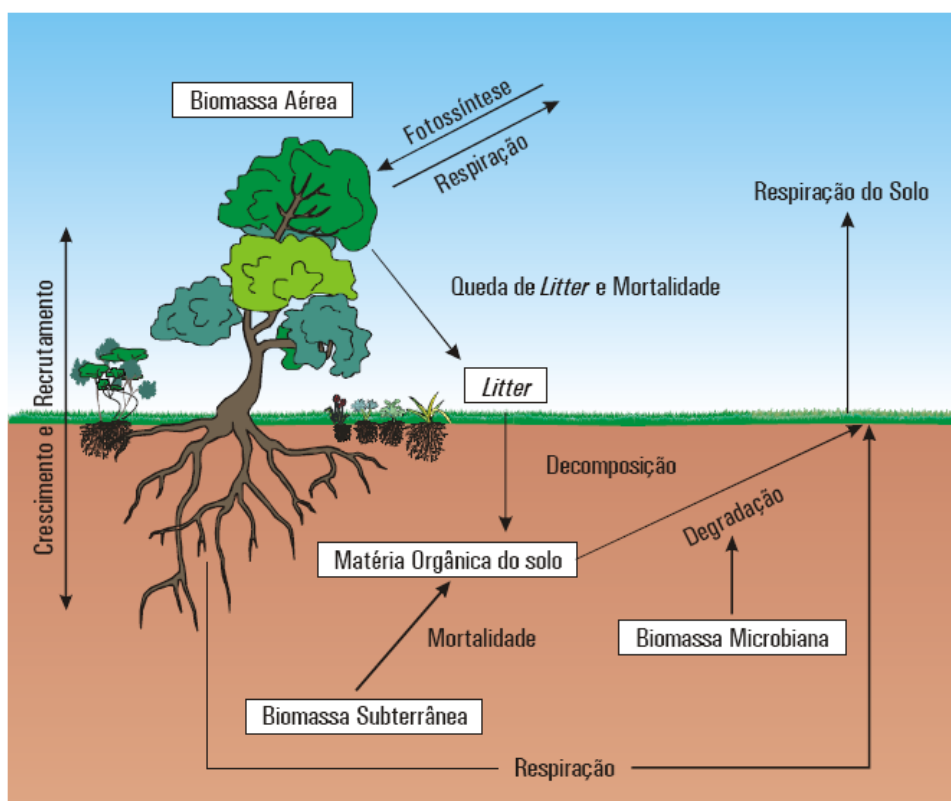


Figura 3: Representação dos principais estoques e fluxos do ciclo de carbono no solo
Fonte: Aduan; Vilela; Klink (2003, p. 11).

A estabilização do C no solo depende de vários fatores incluindo o clima, a quantidade e qualidade de resíduos de plantas, os fatores que afetam a atividade microbiana e os atributos do solo que protegem a MOS, como a estrutura, textura e composição mineralógica do solo. Apesar da importância desses fatores, ainda são necessárias, para estimar o sequestro de C no solo, informações quantitativas sobre o tamanho dos vários reservatórios e taxas de *turnover* (LUDWIG et al., 2003).

Para descrever a localização da MOS no solo, Duxbury, Smith e Doran (1989) apresentaram um modelo com quatro compartimentos: (1) o reservatório BIO (biomassa microbiana), constituído pela fauna e flora microbiana do solo sendo a sua persistência em solos tropicais é curta (0,25 anos); (2) o reservatório LAB (lábil), formado de materiais lábeis, ou seja, aqueles imediatamente disponíveis para a decomposição por ataque microbiano, como folhas, caules, raízes, frutos, resto de animais sendo o tempo de residência nos solos tropicais de 5 anos; os reservatórios (3) POM que é a MO fisicamente protegida pela estrutura do solo; e (4) COM que corresponde a MO quimicamente protegida pois possuem mecanismos de proteção contra a decomposição microbiana, o que acarreta, conseqüentemente, um tempo de residência no solo maior que os anteriores – entre 25 e 100 anos e 100 e 3.500 anos, respectivamente.

Segundo os autores, as interações estruturais ou intra-agregados como, por exemplo, o alojamento dos constituintes orgânicos dentro dos pequenos poros dos agregados do solo, produz uma estabilidade intermediária, criando condições para o estabelecimento da fração física ou estruturalmente protegida (POM). Concomitantemente, a natureza dos compostos orgânicos e as interações coloidais ou moleculares entre compostos orgânicos e minerais estabilizam os componentes orgânicos mais antigos, tornando-os mais protegidos (COM). O tamanho desses reservatórios é controlado por diferentes fatores: o POM é controlado pela ação mecânica de preparo e perturbação do solo enquanto que o COM pela adsorção às argilas do solo.

Esse modelo fornece a descrição dos compartimentos (estrutura) onde está localizada a MOS. No entanto, Jenkinson e Rayner (1977) desenvolveram um modelo funcional que descreve quatro compartimentos ativos onde o carbono orgânico do solo (COS) é distribuído e uma pequena quantidade de matéria orgânica permanece inerte (IMO). Os quatro compartimentos

ativos são: Material Vegetal Decomponível (DPM; meia-vida de 0,165 anos); Material Vegetal Resistente (RPM; 2,31 anos); Biomassa Microbiana (BIO; 1,69 anos) e Matéria Orgânica Humificada (HUM), que pode ser dividida em MOS fisicamente protegida e estabilizada (POM; 49,5 anos) e MOS quimicamente protegida e estabilizada (COM; 1.980 anos).

A conversão de sistemas naturais para o agrícola envolve um elenco de atividades que afetam as taxas de adição e decomposição da MOS que é especialmente acelerada pela perturbação física com implementos no preparo do solo, a qual quebra os macroagregados ($>0,25$ mm) e expõe o solo antes protegido do processo de decomposição microbiana (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992; TISDALL, 1996). A MOS livre, ou não oclusa nos agregados, é facilmente oxidada pelos microorganismos com o cultivo do solo (BESNARD et al., 1996). A contínua perturbação da MOS é refletida no aumento da emissão de CO_2 ; por outro lado, a conversão de preparo de solo com arados para um preparo mínimo como o escarificador ou plantio direto pode resultar em seqüestro de COS e melhoria da qualidade do solo (LAL et al., 1998).

O estudo da dinâmica da MOS em sistemas agrícolas é especialmente importante para encontrar subsídios para a sustentabilidade agrícola, sendo que a manutenção ou até mesmo o aumento do estoque de carbono orgânico do solo (COS), conhecido como seqüestro de carbono no solo (SISTI et al., 2004; URQUIAGA et al., 2005), contribui para a manutenção da fertilidade, reduzindo a pressão do desmatamento de áreas para a expansão agrícola, que acarreta significativas emissões de CO_2 derivado da biomassa florestal para a atmosfera.

Nos solos tropicais, a MOS tem uma importância extremamente relevante, visto que é responsável por diversas propriedades químicas, físicas e biológicas, que em seu conjunto

determinam o grau de fertilidade ou a capacidade do solo de fornecer as condições necessárias para o adequado crescimento das culturas agrícolas. Assim, o teor e a qualidade da MOS são considerados como componentes chaves para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. O carbono é o principal componente da MOS, por isso o conhecimento da sua dinâmica no sistema solo-planta contribui para o entendimento de como os sistemas agrícolas podem afetar a quantidade e qualidade da MOS.

O conteúdo da MOS é basicamente o resultado da adição e decomposição de resíduos vegetais que chegam ao solo, sendo que a taxa de decomposição dos resíduos no solo é resultado tanto das características intrínsecas destes materiais, como extrínsecas a estes, como a interação com a fração mineral e biológica do solo. Assim, a soma destes fatores implicará em maior ou menor acumulação de MOS.

1.4 Técnica do Isótopo Estável ^{13}C nos Estudos da Dinâmica do Carbono

O emprego do isótopo estável ^{13}C nos estudos da dinâmica do C é uma importante técnica, permitindo uma melhor avaliação do impacto na MOS provocado pela conversão de ecossistemas naturais em sistemas agrícolas.

Na natureza existem dois isótopos estáveis de C, o ^{12}C que é o mais leve e apresenta a maior proporção no C total existente na natureza (98,89%), enquanto o ^{13}C representa apenas 1,11%. Estas proporções se mantêm relativamente estáveis em qualquer resíduo orgânico. No processo de mudança de um estado físico-químico para outro, os isótopos de C sofrem uma diferença nesta proporção, o que só foi possível identificar com o advento de espectrômetros de massas mais sensíveis. O processo consiste em um fracionamento isotópico pela

discriminação entre os dois isótopos de acordo com o processo de transformação, ou seja, um deles é preferencialmente perdido ou incorporado, em relação ao outro. Isso faz com que ocorra uma variação na proporção de $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$, muito pequena, na casa dos milhares.

Para avaliar essa modificação na proporção de $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$ em uma amostra foi adotado como referência um padrão internacional. Este padrão é uma rocha calcária dolomítica (Belemnita) encontrada em uma formação geológica denominada *Pee Dee Belemnite* (PDB), na Carolina do Norte, EUA, que tem uma relação molar de $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$ (R) constante de 0,01124. Os desvios da proporção de $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$ em relação ao padrão são conhecidos como unidades δ (letra grega delta minúscula), e como essas diferenças são valores muito pequenos convencionou-se expressá-los em partes por mil (‰). As relações molares $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$ do CO_2 atmosférico e das plantas são inferiores ao padrão PDB, e por isso, seus valores de $\delta^{13}\text{C}$ são negativos. No caso do CO_2 atmosférico, os valores observados são próximos de $-7 \text{‰} \delta$, e das plantas, valores que variam de -11 a $-35 \text{‰} \delta$ (FARQUHAR; EHLERINGER; HUBICK, 1989).

A aplicação da técnica de abundância natural de ^{13}C nos estudos da dinâmica da MOS utiliza a diferença na relação dos isótopos de C que existe nos diferentes grupos de plantas. As maiores diferenças na composição isotópica de C nos tecidos vegetais são observadas entre espécies que tem ciclo de carboxilação C_3 e ciclo C_4 . As plantas de ciclo C_3 (ou de Calvin) fixam o CO_2 atmosférico através da enzima RUBISCO (*Ribulose bifosfato carboxilase/oxigenase*), enquanto as C_4 contam com o processo enzimático adicional de fixação de CO_2 da enzima PEP *carboxilase* (*fosfoenolpiruvato carboxilase*). A PEP carboxilase apresenta alta afinidade (baixo K_m) pelo CO_2 , enquanto na RUBISCO esta afinidade pelo CO_2 é menor (MAGALHÃES, 1985). Em função disto, as plantas C_3 acumulam menos ^{13}C , o isótopo pesado de carbono, em relação ao isótopo leve ^{12}C , do que as

plantas C₄ (*PEP carboxilase*).

A discriminação desse processo para diversos grupos de plantas foi apresentada no estudo realizado por Smith e Epstein (1971). Segundo eles, uma significativa discriminação isotópica ocorria com intensidades diferentes entre plantas de ciclo fotossintético C₃ e C₄, as quais foram separadas em diferentes grupos (*Monocolyledoneae*, *Algae*, *Dicolyledoneae*, *Briófitas e Gynnospermeae*). Plantas de ciclo C₃, como as dicotiledôneas, apresentam variações na abundância isotópica de ¹³C de -20 a -34 δ (média de -27 δ). Grande parte das espécies florestais pertence a este grupo. As plantas de ciclo C₄, em sua maioria monocotiledônea, discriminam menos o ¹³C e apresentam valores que variam de -9 a -17 δ (média de -13 δ). Assim, devido à diferença média de 14 δ de ¹³C entre espécies C₃ e C₄ é possível determinar a contribuição de cada uma na MOS. Isto é possível com o conhecimento da abundância natural de ¹³C do resíduo das plantas, e da MOS, e a aplicação de modelos que permitam estimar a origem, composição e a dinâmica da MOS.

Portanto, nos estudos de dinâmica da MOS, a utilização das técnicas de abundância natural de ¹³C é aplicada em situações onde o padrão fotossintético da vegetação original foi modificado e pressupõe que a matéria orgânica do solo reflete o material vegetal do qual foi originada. Vários estudos foram realizados para avaliar se o processo de decomposição poderia modificar a composição isotópica do C na MOS recém formada em relação àquela observada nos resíduos, o que poderia limitar o uso desta técnica. Porém, esses estudos mostraram que na decomposição do resíduo vegetal no solo ocorre uma discriminação isotópica do ¹³C que resulta numa leve alteração na marcação isotópica da MOS. O grau com que isso ocorre está relacionado com a composição de compostos como proteínas, açúcares, aminoácidos, lignina, celulose e hemicelulose dos resíduos (BENNER et al., 1987). No entanto, essa discriminação

é pequena, e varia entre 1 e 2 δ em relação ao resíduo (BALESDENT; MARIOTTI, 1987; MARTIN et al., 1990; JASTROW; BOUTTON; MILLER, 1996; TARRÉ et al., 2001).

1.5 O Solo Agrícola e o Mercado Internacional de Carbono

O solo é um reservatório de C e o sistema de manejo é um fator que influencia vários processos determinantes dos fluxos de entrada e saída de C do solo (DIECKOW et al., 2004). 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%. Além disso, o C é um constituinte de importantes gases causadores do efeito estufa, como o CO₂ e CH₄ (DIECKOW et al., 2004). Os autores consideram 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 seqüestro de carbono (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, 2004 *apud* DIECKOW et al., 2004). Cerri et al. (2000) *apud* Segnini et al. (2004) salientam 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”.

Neste contexto, 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 ainda 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 valor estimado de sequestro de C 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).

A agropecuária é, simultaneamente, fonte e dreno de gases de efeito estufa. De acordo com o 1º Inventário Emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) de Minas Gerais, lançado em 2008 (Ano base 2005) pelo Sistema Estadual de Meio Ambiente (Sisema), por meio da Fundação Estadual do Meio Ambiente (Feam), são vários os processos que resultam em emissões de gases de efeito estufa – como o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) – na agricultura e na pecuária. A fermentação entérica dos animais ruminantes herbívoros é uma das maiores fontes de emissão de CH_4 . Os sistemas de manejo de dejetos de animais podem causar emissões de CH_4 e N_2O . A queima de resíduos agrícolas, principalmente na cultura da cana-de-açúcar, produz emissões de CH_4 e N_2O . O CO_2 emitido, embora contabilizado, não é somado ao total de emissões porque por meio da fotossíntese a mesma quantidade foi absorvida durante o crescimento da planta. A emissão de N_2O em solos agrícolas decorre da aplicação de fertilizantes nitrogenados, tanto de origem sintética quanto

orgânica, e da deposição de dejetos de animais em pastagens. Os resíduos vegetais deixados no campo, fonte de nitrogênio, e o processo de fixação biológica desse elemento são fontes de emissão de N_2O . Ainda nesse setor, enquadra-se o cultivo de solos orgânicos que aumenta a nitrificação da matéria orgânica e libera N_2O .

Enquanto fonte, as atividades agropecuárias poderão estar sujeitas, da mesma forma que os demais setores, à futuras limitações de emissões estabelecidas por legislações ambientais estaduais, nacionais, ou mesmo acordos internacionais, visando controlar o incremento da concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. Por outro lado, enquanto dreno – processo no qual o dióxido de carbono é removido da atmosfera pela fotossíntese e armazenado na biota ou no solo na forma de matéria orgânica – poderá se beneficiar destas mesmas regulamentações sendo remunerada por este serviço ambiental (PAUSTIAN et al., 2004).

Nesse sentido, a agropecuária, hoje, passa por uma fase de transição, na qual adquire múltiplos propósitos. Além de produzir alimentos, a agricultura contemporânea deve ser uma fonte de energia renovável e, ainda, ser pouco poluidora e oferecer a opção de mitigar as emissões de GEE a um custo baixo (RICE; REED, 2007). Desse modo, a obtenção de elevados rendimentos de grãos não deve ser o único critério para avaliar o desempenho da atividade agrícola (FARAHBAKHSIAZAD et al., 2008). A preocupação com os impactos da agropecuária sobre os recursos naturais deve ser incluída no momento de seleção de práticas de manejo no processo produtivo (TILMAN et al., 2002).

A partir de sua grande expansão de área em meados do século XIX nos países industrializados e mais tarde nos subdesenvolvidos, a agricultura aumentou sua participação no total de

emissões de origem antropogênica. Nesse processo, destaca-se o desmatamento, queimadas, avanço da mecanização agrícola, aumento do consumo de combustíveis fósseis, declínio do estoque de carbono no solo e o uso generalizado de agroquímicos e fertilizantes que demandam grandes gastos energéticos em seu processo de produção. Dessa forma, a agricultura produz, mundialmente, aproximadamente 5% das emissões antropogênicas de CO₂ e, 47 e 84% das emissões de CH₄ e N₂O, respectivamente (RICE, 2006).

No Brasil, as emissões de GEE pelo setor agrícola são relevantes, alcançando 75, 91 e 94% das emissões totais de CO₂, CH₄ e N₂O, respectivamente (CERRI; CERRI, 2007). Vale destacar que grande parte destes valores está associada ao desmatamento e queimadas. Os elevados valores de emissões evidenciam a necessidade do desenvolvimento de práticas de manejo agrícola que permitam uma redução das emissões de GEE e promovam o sequestro de CO₂ atmosférico e seu armazenamento na biomassa vegetal e no solo.

Os solos agrícolas armazenam atualmente 46 Tg CO₂ equivalente ano⁻¹ (CO₂ equivalente é medida-padrão usada para avaliar a emissão ou sequestro dos diferentes GEE, tendo como base o potencial de aquecimento global do CO₂ num período de 100 anos. Assim, 1 Mg CH₄ = 21 Mg CO₂ e 1 Mg N₂O = 310 Mg CO₂). No entanto, com a adoção de práticas que incrementem o potencial de sequestro de carbono, podem alcançar 200 Tg CO₂ equivalente ano⁻¹ (RICE; REED, 2007). Análises econômicas sugerem que o sequestro de carbono em solos agrícolas é uma das opções mais viáveis para reduzir as emissões de GEE, particularmente nos próximos 30 anos (CALDEIRA et al., 2004).

Contudo, os solos agrícolas têm uma capacidade finita de armazenar carbono, estimado de 20 a 30 anos e, portanto, não podem ser entendidos como uma solução definitiva para o aumento

das concentrações de GEE na atmosfera (RICE; REED, 2007). A quantidade de carbono que pode ser armazenada no solo varia em função do clima – precipitação e temperatura, e das características pedogenéticas do solo – principalmente os teores de argila e de óxidos de ferro e alumínio. O Brasil, em função de sua grande extensão territorial e clima favorável à fotossíntese durante a maior parte do ano, tem significativo potencial para atuarem como importantes drenos biológicos de carbono atmosférico. Mundialmente, estima-se que o setor agrícola pode compensar aproximadamente 11% das emissões atuais de GEE, enquanto que no Brasil este potencial pode alcançar 20 a 30% das emissões do país (BAYER, 2007).

O sequestro biológico de carbono no solo, de um modo geral, pode ser alcançado por práticas de manejo que aumentem o aporte de carbono e diminuam as taxas de decomposição de matéria orgânica. As plantas absorvem CO_2 da atmosfera através do processo da fotossíntese. Parte deste carbono é liberado novamente para atmosfera através da respiração do agroecossistema (solo, planta e biota). Portanto, no sistema solo-planta-atmosfera, o carbono está constantemente sendo reciclado entre plantas em desenvolvimento, resíduos animais e vegetais mortos, biota do solo, matéria orgânica e atmosfera. O saldo líquido deste ciclo no último compartimento é o que interessa para as mudanças climáticas.

Segundo Smith et al. (2007) e Rice e Reed (2007), inúmeras são as tecnologias que podem ser empregadas para aumentar o influxo de carbono no solo em sistemas agrícolas. A tabela 1 apresenta valores médios de potencial de sequestro de carbono por práticas agrícolas. Destaca-se que os valores podem variar em função do clima e condições do solo. Dentre as práticas apresentadas, destaca-se o potencial do plantio direto, por diminuir o consumo de óleo diesel e aumentar o estoque de carbono no solo, em relação ao preparo convencional.

Tabela 1: Estimativa do potencial de seqüestro de carbono por práticas agrícolas (adaptado de RICE; REED, 2007).

Práticas de Manejo	Mg C ha⁻¹ ano⁻¹	Mg CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹
Plantio Direto	0,30 – 0,70	1,1 – 2,6
Eliminação do pousio	0,10 – 0,35	0,4 – 1,3
Uso de culturas de cobertura	0,10– 0,35	0,4 – 1,3
Manejo de Pastagens	0,03 – 0,07	0,1 – 0,3

Fonte: Amado, et al. (2008).

Diante disso, constata-se que a agropecuária tem um conjunto de opções para contribuir com o controle dos GEE, ao mesmo tempo que mantém sua principal atividade fim, qualificando-a deste modo como uma opção viável para o mercado de carbono.

Nos últimos anos, o crescente interesse da sociedade pelo seqüestro de carbono no solo tem motivações ambientais e econômicas (PENDELL et al., 2006). A motivação econômica pelo seqüestro de carbono reside no fato de que ela pode representar uma renda extra aos agricultores e estimular o emergente mercado de créditos de carbono. O crédito de carbono pode ser definido como uma tonelada (1Mg) de carbono permanente ou temporariamente armazenada no solo ou na biota, ou ainda emissões de GEE, expressas em CO₂ equivalente, que foram evitadas por alterações induzidas nas práticas de manejo agrícola. Atualmente, existem dois tipos de mercado de carbono: o obrigatório ou regulatório e o voluntário. O primeiro estabelece um limite mínimo pré-definido de redução, como o verificado no Protocolo de Quioto. Neste caso, países do anexo I (industrializados) podem alcançar o valor pré-estabelecido por reduções de emissões ou por aquisição de créditos de países que estão no Anexo II (não industrializados) e que desenvolvam projetos de seqüestro de CO₂ atmosférico.

No mercado de carbono um dos aspectos mais questionados é se realmente os créditos comercializados estão promovendo uma melhoria ambiental. Neste contexto, para obter mais

sucesso, os programas de controle de aquisição de créditos de GEE deveriam apresentar um balanço completo de GEE, apresentar ações de observância ou conferência, propor metas de mitigações de GEE compostas por estratégias que combinem ações temporárias e permanentes de seqüestro de carbono, adotar práticas de manejo em larga escala, implantar procedimentos e protocolos para monitorar e verificar as mudanças no estoque de carbono no solo e avaliar as reduções de emissões de GEE através de práticas agrícolas.

No entanto, os benefícios ambientais de mitigação das emissões de gases do efeito estufa pela agricultura são dependentes da adoção massiva pelos agricultores de práticas de manejo que favoreçam o incremento do teor de matéria orgânica. Os experimentos de longa duração de manejo do solo têm sido ferramentas importantes para a seleção das práticas agrícolas eficientes em seqüestrar carbono. Entre essas práticas destaca-se: sistema de plantio direto, ausência de pousios, uso de culturas de cobertura, uso de pastagens, rotação de culturas, práticas de controle da erosão, melhoria no manejo da adubação nitrogenada mineral, incremento da agregação e a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo.

O valor econômico de um dreno de carbono é proporcional à sua capacidade total de acúmulo de carbono e ao risco de reversibilidade deste processo. Depende ainda da sua relação custo/benefício. O benefício pela diminuição da emissão de GEE por unidade de área pode ser expresso na mesma unidade, independente da fonte (drenos agrícolas, conservação de energia ou diminuição de emissões de GEE). Neste caso, o custo da diminuição da emissão de GEE pode ser bastante variável de acordo com a fonte.

O seqüestro de carbono em solos agrícolas, embora seja um dreno finito, temporário e reversível, apresenta as vantagens de ter um dos menores custos para a sua implementação em

relação às demais opções, e um potencial de retirada de um grande volume de CO₂ atmosférico, desde que seja adotado em larga escala pelos agricultores. Além disso, as práticas de manejo recomendadas para o sequestro de carbono são complementares à atividade fim (produção agrícola), podendo inclusive potencializá-la. Porém, a efetiva contribuição da agricultura para o sequestro de carbono está associada ao preço de remuneração do carbono. Smith et al. (2007) estimam que a um preço de U\$20 Mg⁻¹ CO₂ equivalente, 30% do potencial seria alcançado. Já com um preço de U\$100 Mg⁻¹ CO₂ equivalente, 75% do potencial técnico seria alcançado. Assim, o valor do carbono pode regular a adoção de práticas de incremento do sequestro de carbono na agricultura (RICE; REED, 2007).

A análise econômica que determina os custos de sequestrar carbono depende das características do local, da quantidade de carbono sequestrada, preço da terra, práticas de manejo selecionadas, tipo de solo e clima. Feng et al. (2004) encontraram custos variando de U\$ 10 a 800 Mg⁻¹ C. Nesse sentido, foi estimado por Willians, Roth e Claassen (2004) que o pagamento necessário para induzir os produtores a adotarem plantio direto em substituição ao preparo convencional, por exemplo, seria de U\$ 8,62 a 64,64 Mg⁻¹ C ano⁻¹. Desse modo, os custos para implementação do sistema de plantio direto e outras práticas associadas é o mais viável economicamente para promover o sequestro biológico de carbono em solos (PENDELL et al., 2006).

O sequestro de carbono no solo pode ser definido como uma estratégia de benefício mútuo para a agricultura e para políticas de controle das mudanças climáticas. O aumento do estoque de carbono no solo pode contribuir para melhorar a qualidade do solo, incrementar a fertilidade e a produtividade, controlar a erosão e reduzir a perda de nutrientes, aumentar a

capacidade do solo em armazenar água e consequentemente diminuir os efeitos negativos dos déficits hídricos de curta duração, reduzir a lixiviação de nutrientes e melhorar a qualidade da água da superfície e subsuperfície e, ainda, pode contribuir para reduzir o consumo de combustíveis fósseis e o uso de agroquímicos.

Deste modo, nenhuma outra opção de redução de GEE oferece tanto benefícios adicionais para sociedade quanto o seqüestro de carbono no solo agrícola. Estimativas indicam que o potencial de créditos de mercado de carbono para a agricultura americana é de U\$ 1 a 5 bilhões por ano nos próximos 30 a 40 anos. O mercado de carbono ainda encontra-se em uma fase emergente, com o estabelecimento da *Chicago Climate Exchange (CCX)* e de vários outros projetos e/ou programas de mitigação de GEE.

CAPÍTULO II

LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO:

BACIA DO RIBEIRÃO BOM JARDIM – TRIÂNGULO MINEIRO/MG

Com o intuito de estabelecer uma relação entre o uso e ocupação do solo e o aumento ou perda de carbono, foi necessário escolher uma área representativa da paisagem regional, ou seja, que abranja as principais atividades econômicas presentes na região e englobe diferentes ocupações, manejos e tempo de uso dos solos para que se pudesse analisar as diferenças no teor e na natureza do carbono orgânico total do solo.

As amostras de solo foram coletadas na Bacia do Ribeirão Bom Jardim, situada entre as porções Sul do município de Uberlândia e Norte do município de Uberaba, na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (Minas Gerais), entre as coordenadas 18°58'00" - 19°20'30" de latitude Sul e 48°04'00"- 48°18'00" de longitude Oeste (Figura 4). A bacia em estudo, recoberta originalmente pela vegetação de Cerrado, tem sido desde a década de 1970, fortemente desmatada por ser uma das áreas pioneiras de expansão do agronegócio no Bioma Cerrado.

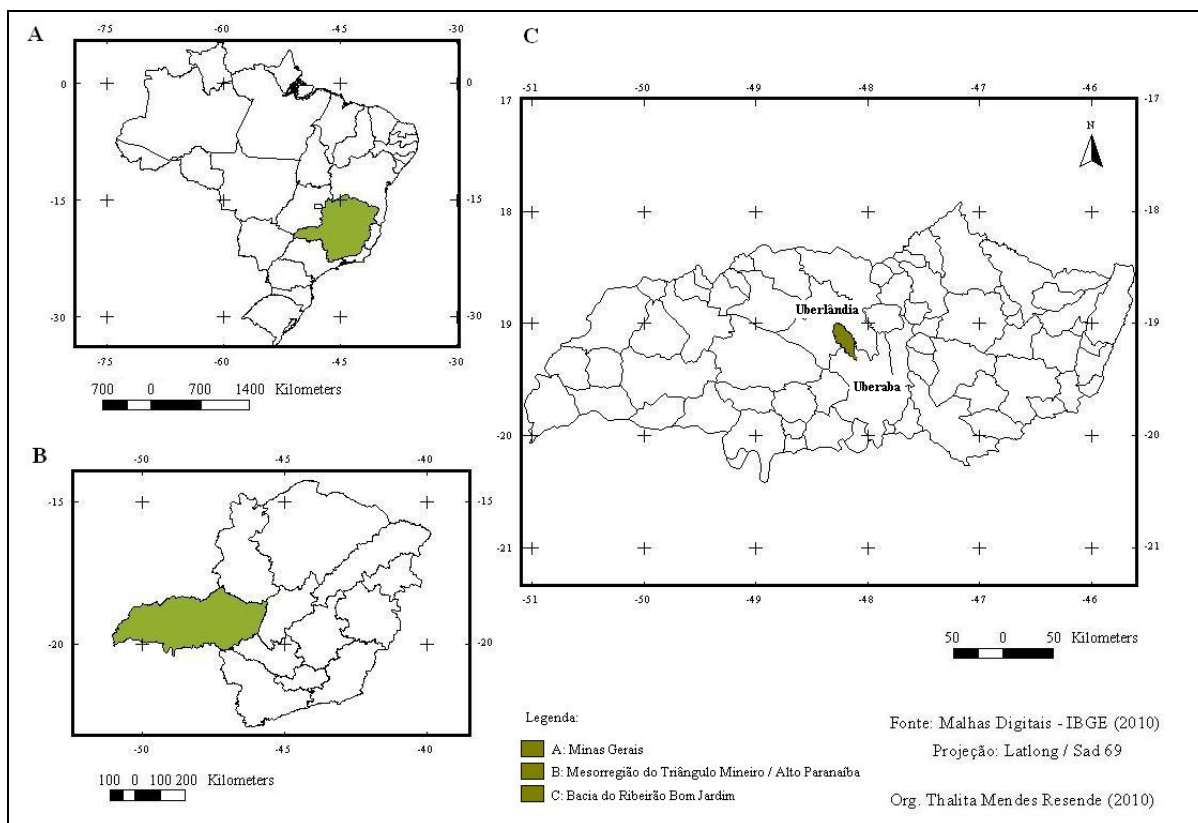


Figura 4: Localização da Bacia do Ribeirão Bom Jardim nos municípios de Uberlândia e Uberaba, Estado de Minas Gerais, Brasil.

A área drenada pela bacia do Ribeirão Bom Jardim é de 398,54 km² e o seu perímetro de 108,848 km. O Ribeirão Bom Jardim nasce nas proximidades da rodovia BR-050, no município de Uberaba, percorrendo aproximadamente 40 km até a sua confluência com o rio Uberabinha, nas proximidades da área urbana de Uberlândia. Este curso d'água constitui-se numa das principais fontes de captação de água para abastecimento urbano da população de Uberlândia. Próximo à sua foz, no rio Uberabinha, localiza-se a represa de captação de água do Departamento de Águas e Esgoto do Município de Uberlândia – DMAE (BRITO, 2001).

2.1 Clima

O comportamento do clima regional 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 baixa 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).

De acordo com Feltran Filho (1997), o clima da região é o tropical, caracterizado pela alternância de estações úmidas e secas, por influência sazonal de massas de ar. As condições climáticas predominantes na área de estudo são bastante semelhantes às encontradas no Brasil Central Tropical, com dois períodos bem definidos: um seco que se prolonga de aproximadamente abril a setembro, e outro chuvoso, de outubro a março.

Lima, Queiroz Neto e Lepcsh (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 Ribeirão Bom Jardim, considerando o período de crescimento de que necessitam as culturas para obter pleno desenvolvimento (período seco e período chuvoso).

Portanto, a precipitação atmosférica média dessa região é de aproximadamente 1.550 mm, concentrada nos meses mais chuvosos que são dezembro e janeiro, representando cerca de 41% da precipitação média anual. Os meses menos chuvosos são junho e julho (ROSA; LIMA; ASSUNÇÃO, 1991). A temperatura média anual é de 22° C, sendo que os meses mais

quentes são fevereiro (23,5°C), outubro e novembro (23,4°C) e os meses mais frios junho e julho (18,8°C). (ROSA; LIMA; ASSUNÇÃO, 1991).

A partir de uma análise de dados de precipitação e temperatura de cinco estações climatológicas da região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (Araxá, Uberlândia, Patos de Minas, Uberaba e Capinópolis), no período de 15 anos (1981 a 1995), Feltran Filho (1997) concluiu que,

- 1) as frentes frias que atingem o Oeste mineiro não produzem longos períodos de baixas temperaturas;
- 2) a análise dos totais mensais das precipitações registra o caráter tropical do ritmo pluviométrico, com chuvas concentradas nos meses mais quentes do ano;
- 3) as temperaturas absolutas, em termos de valores extremos, registradas em cinco estações meteorológicas, não podem ser explicadas pelas altimetrias, mas sim pela situação geográfica de cada localidade;
- 4) o mês de julho caracteriza-se como o mês mais frio e o mês de novembro como o mês mais quente;
- 5) o mês mais seco é o mês de agosto e o mês mais úmido é o de janeiro.
- 6) para os totais máximos de 24 horas aponta-se o fato de que chuvas excepcionais, em meses habitualmente com menores valores de precipitação (setembro e outubro), podem causar graves prejuízos ao meio ambiente, principalmente com relação à erosão superficial, uma vez que nesses períodos o solo se encontra descoberto por vegetação;

Abordando as características climáticas em escala local, particularmente na cidade de Uberlândia, Del Grossi (1991) *apud* Mendes (2001, p.75) afirma que,

[...] a dinâmica atmosférica em Uberlândia está sob controle, principalmente dos sistemas intertropicais, cuja participação no transcorrer do ano é superior a 50%, completada com a atuação dos sistemas polares, cuja participação é pouco superior a 25%. A atuação desses sistemas de circulação ocasiona sobre Uberlândia a formação de um clima tropical alternadamente seco e úmido.

De acordo com Costa (2009), comparando as médias termiais da região com a altitude, é possível observar que a região de cabeceira do Ribeirão Bom Jardim (maiores altitudes)

concentraram as maiores temperaturas durante o ano. Os valores mais elevados de média de temperatura do topo das chapadas são justificados pelas condições topográficas que condicionam uma melhor absorção da radiação solar, transformando de forma mais eficiente, energia radiante em calor sensível (MONTEIRO, 1951).

Em relação à distribuição espacial da precipitação, devido às condições de circulação atmosférica e as características geomorfológicas da bacia em estudo, percebe-se uma leve variação (COSTA, 2009). Segundo o autor, os maiores valores de precipitação ocorreram na cabeceira do Ribeirão Bom Jardim. Tal comportamento pode ser explicado pela interação dos avanços das frentes polares no sentido sudoeste-nordeste e também pelas linhas de instabilidade, juntas responsáveis por aproximadamente 90% das chuvas que ocorrem na região, com as características topográficas do relevo local. Este relevo passa, em uma distância relativamente curta, de 810 metros de altitude para mais de 970 metros nos pontos mais altos da bacia, nas intermediações da BR-050, que imprime certa influência orográfica na formação de chuvas na borda da chapada. O restante da bacia apresenta uma relativa uniformidade no que tange aos valores de precipitação, situando-se no entorno de 1.500 mm (COSTA, 2009).

2.2 Geologia Local

Sob o aspecto geológico, o oeste do estado de Minas Gerais é caracterizado por duas áreas distintas, balizadas, grosso modo, pelo rio Araguari: uma constituída de coberturas sedimentares e magmatitos básicos (basalto) de idade Mesozóica e Cenozóica; outra, com predominância de rochas metamórficas e magmáticas mais antigas, que remontam ao Pré-Cambriano (NISHIYAMA; BACCARO, 1989).

Segundo Hasui (1967), na área do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba ocorrem rochas cristalinas e metamórficas de vários grupos e corpos graníticos, que integram o substrato, designados pelo autor, genericamente, como Complexo Cristalino.

A área da bacia do Ribeirão Bom Jardim, de acordo com o mapeamento geológico do município de Uberlândia na escala de 1:100.000 elaborado por Nishiyama (1989), é constituída pelas seguintes unidades geológicas: Cobertura Detrítico-Laterítica Terciária e Quaternária, aluviões Holocênicos e Formação Marília, e os derrames basálticos da Formação Serra Geral provenientes de vulcanismo fissural em ambiente continental. Acima das rochas eruptivas básicas encontram-se depósitos areníticos da Formação Marília e Adamantina (NISHIYAMA, 1989) (Figura 5).

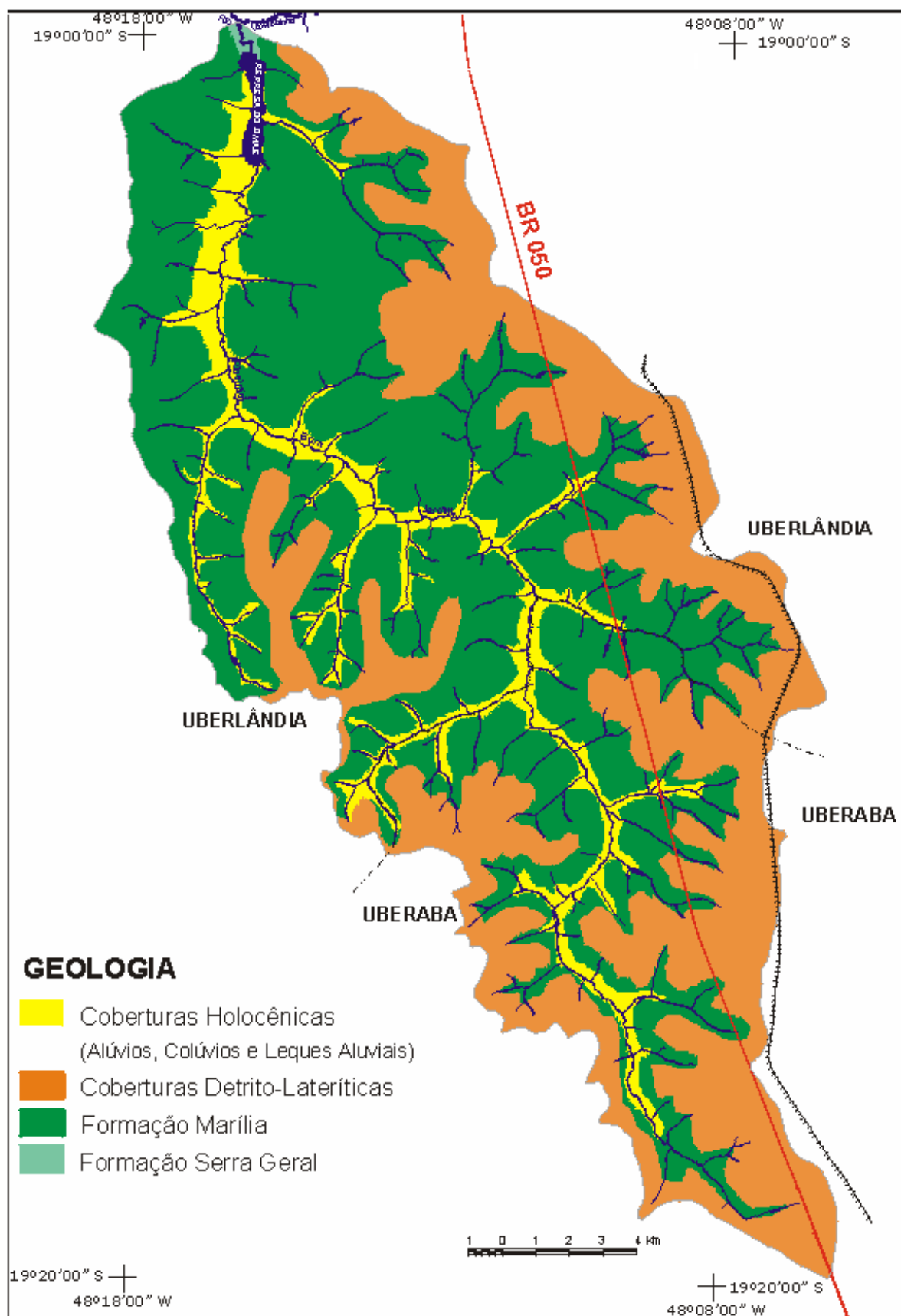


Figura 5: Geologia – Bacia do Ribeirão Bom Jardim (2000)

Fonte: Brito (2001).

2.3 Altimetria

Considerando o mapa hipsométrico da Bacia do Ribeirão Bom Jardim, elaborado por Brito (2001), percebe-se que a maior parte da bacia encontra-se numa classe de altitude de 830 a 890 metros. Ressalta-se que as áreas com classes de maiores altitudes – 890 a 940m e 940 a 980m, são verificadas no alto curso e/ou cabeceira do Ribeirão Bom Jardim, bem como em outras áreas de nascente. Enquanto que os valores inferiores de altitudes são encontrados no baixo curso e/ou foz do Ribeirão (Figura 6).

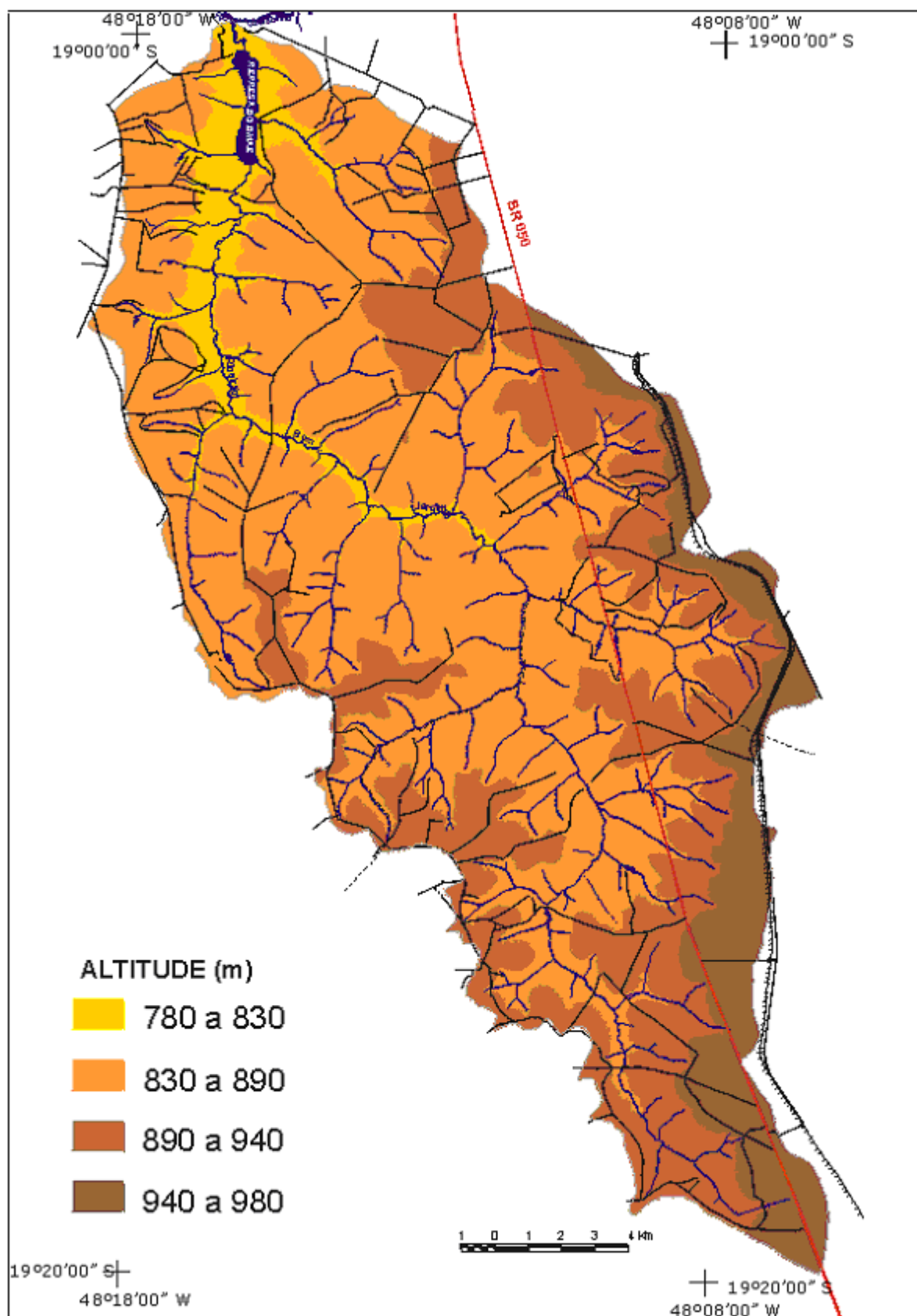


Figura 6: Mapa Hipsométrico – Bacia do Ribeirão Bom Jardim (2000)

Fonte: Brito (2001).

2.4 Declividade do terreno

De uma área total de 398,54 Km², cerca de 162,11 Km² na bacia do Ribeirão Bom Jardim apresenta intervalos de declividade de 2 a 5%. Outra porção considerável da bacia – 113,98 Km², possui declividade de 0 a 2%. Enquanto que em 79,52 Km² da bacia verificam-se intervalos de declividade de 5 a 8%; em 32,35 Km², valores de 8 a 12%; e em apenas 10,57% da bacia, classes de declividade de 12 a 45% (Tabela 2). A distribuição espacial dessas classes na Bacia do Ribeirão Bom Jardim pode ser observada na figura 7.

Tabela 2: Área ocupada pelas classes de declividade na Bacia do Ribeirão Bom Jardim

Classes de Declividade	Intervalos de Declividade em %	Área Ocupada	
		Km ²	%
A	0 a 2	113,98	28,60
B	2 a 5	162,11	40,68
C	5 a 8	79,52	19,95
D	8 a 12	32,35	8,12
E	12 a 45	10,57	2,65
Total		398,54	100,00

Fonte: Brito (2001).

O vale do Ribeirão Bom Jardim é classificado, segundo Nishiyama (1998) como uma unidade de vale de fundo chato, vertentes assimétricas e abruptas. Em quase toda a extensão desta unidade, verifica-se materiais inconsolidados retrabalhados de diferentes origens, como resultados de processos geodinâmicos externos atuantes dentro e fora dos limites; materiais inconsolidados restringem-se a uma faixa que compreende as formas escarpadas, onde predominam valores de espessuras inferiores a 2 metros.

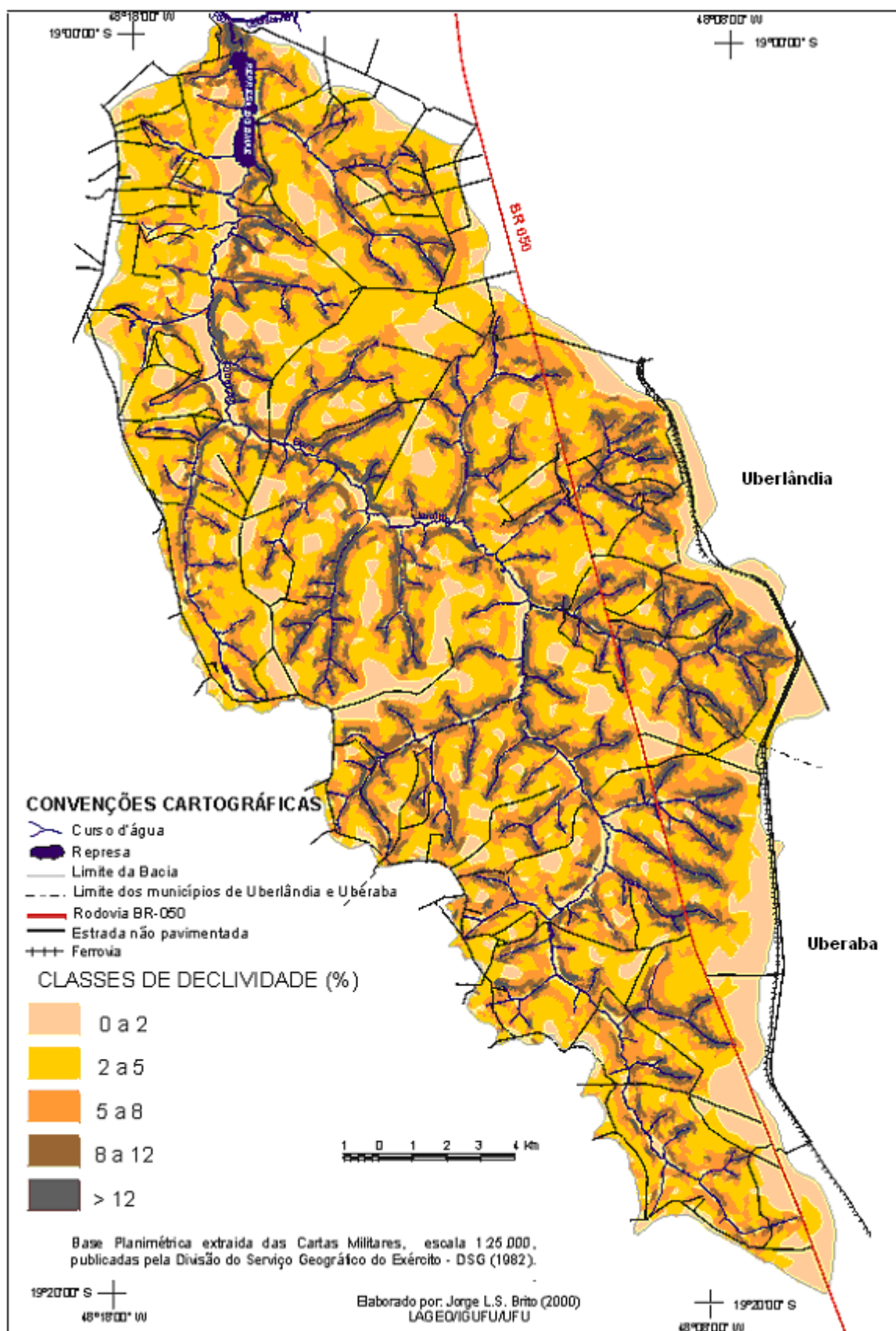


Figura 7: Mapa Clinográfico – Bacia do Ribeirão Bom Jardim (2000)

Fonte: Brito (2001).

A partir de uma correlação entre as classes de declividade da bacia do Ribeirão Bom Jardim e as fases do relevo (Tabela 3), apresentada por Brito (2001), fica evidente que 80,09% da bacia apresenta relevo plano a suave ondulado, com declividades inferiores a 5%, predominado as vertentes convexas, sendo que próximas aos canais fluviais, ocorre uma ruptura de declive associada à presença de crostas ferruginosas.

Tabela 3: Área ocupada pelas classes de declividade, definidas de acordo com as fases de relevo

Fases do Relevo	Intervalos de Declividade em %	Área Ocupada	
		Km ²	%
Plano	0 a 3	169,88	42,63
Suave Ondulado	3 a 8	185,68	46,59
Ondulado	8 a 20	42,27	10,60
Fortemente Ondulado	20 a 40	0,71	0,18
Total		398,54	100,00

Fonte: Brito (2001).

2.5 Formas de Relevo

O relevo da bacia do Ribeirão Bom Jardim está inserido na grande área denominada Chapadões Tropicais do Brasil Central (AB'SABER, 1971), ou ainda na região denominada pelo projeto RADAMBRASIL (1983) de Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná. São relevos que estão em elaboração desde o Terciário resultando em extensas superfícies aplainadas e dissecadas. Destacam-se os chapadões separados por vales profundos e largos, que podem atingir rochas Pré-Cambrianas, com vertentes bastante dissecadas pelo entalhamento dos principais rios da região, como o Paranaíba e o Araguaari.

De acordo com Baccaro (1993a), a área estudada corresponde ao compartimento de relevo de

Áreas de Topos Aplanados. São áreas cuja dissecação erosiva se apresenta de forma moderada, predominando ainda extensas superfícies aplainadas das chapadas. Segundo Baccaro (1993b), estas áreas correspondem às superfícies de cimeira regional, com altitude média de 900 metros. As redes de drenagem instaladas produzem um entalhamento de pequena magnitude se comparadas ao Rio Araguari, estabelecendo diferenças de cotas inferiores a 100 metros entre os divisores de água e os talvegues.

A principal característica desta unidade são as colinas amplas e de topos aplanados, encostas convexas com baixa amplitude quando cortadas por canais de drenagem, instaladas sobre um substrato rochoso composto por litologias arenosas e conglomeráticas da Formação Marília.

Feltran Filho (1997) fez uma estruturação das chapadas do oeste Mineiro definindo a bacia do Ribeirão Bom Jardim como uma unidade distinta das demais áreas de chapada do Oeste Mineiro, por estar situada entre o topo da chapada e as áreas de relevo dissecado, com características peculiares de litologia e relevo (Tabela 4).

Tabela 4: Compartimentação da Bacia do Ribeirão Bom Jardim

Compartimentação	Descrição
Litologia e Estrutura	Arenitos da Formação Marília. Plataformas interfluviais planas e amplas, bordas bem definidas por rampas íngrimes. Divisor de bacias de difícil precisão; interflúvios com perfis ondulados. Rede fluvial com forte condicionamento estrutural.
Configuração Geral do Relevo	Relevo ondulado com presença de terraços, planícies aluviais e solos hidromórficos em quase todo o curso do Ribeirão Bom Jardim. Ausência de depressões nos interflúvios.
Formas de Vertentes	Superfície medianamente dissecada, com vales amplos, longos e convexizados. Córregos medianamente encaixados. Vestígios de processos de escorregamentos de massa.

Fonte: Feltran Filho (1997) *apud* Brito (2001).

De acordo com Brito (2001), a associação da análise morfológica com as classes de declividade na bacia do Ribeirão Bom Jardim possibilitou a identificação das seguintes unidades de relevo: Topos Planos, Patamares Planos e Patamares Convexos, Vertentes Convexas, Fundos de Vale, e Planície Fluvial. Os Topos Planos correspondem às áreas elevadas de cimeira, entre 890 e 960 metros de altitude, representadas pelo topo da chapada. Caracterizam-se por topos planos, amplos e largos, com baixa densidade de drenagem e vertentes com declividade inferior a 2% (BRITO, 2001). Esses topos, sustentados pelos arenitos da Formação Marília, encontram-se recobertos por sedimentos cenozóicos que, já pedogenizados, dão origem a Latossolos Vermelho-Amarelo e Vermelho, textura muito argilosa, sobrepostos a couraças e concreções ferruginosas de extensões e espessuras variáveis (SCHNEIDER, 1996).

Os Patamares Planos e os Patamares Convexos estão localizados nos divisores e espigões de dentro da Bacia, apresentando prolongamento no sentido Noroeste-Sudeste e Nordeste-Sudoeste, áreas com declividade inferior a 2%. As Vertentes Convexas ocupam a maior parte da área da bacia, envolvendo segmentos que vão desde o topo até o início das áreas afetadas pelo hidromorfismo. Já os Fundos de Vale podem ser subdivididos em Fundo de Vale Aberto (FVAB) e Fundos de Vale Fechado (FVF). O primeiro ocupa as margens do Ribeirão Bom Jardim com relevo plano e suave ondulado; e próximo aos canais fluviais ocorre uma ruptura de declive associada à presença de crostas ferruginosas; neste ponto, o perfil torna-se côncavo com ocorrência de hidromorfismo. Os Fundos de Vale Fechado ocupam áreas de relevo ondulado a fortemente ondulado (declividade superior a 8%), coincidindo em sua maioria com as cabeceiras de drenagem em forma de anfiteatro, onde podem ocorrer as matas de encostas. E por fim, as Planícies Fluviais ocupam uma faixa margeando o Ribeirão Bom Jardim, onde ocorrem os solos aluviais, com a presença de matas ciliares (BRITO, 2001).

A tabela 5 mostra a área ocupada pelas unidades de relevo mapeadas por Brito (2001) na bacia do Ribeirão Bom Jardim (Figura 8).

Tabela 5: Área ocupada pelas Unidades de Relevo na Bacia do Ribeirão Bom Jardim

Unidades do Relevo	Área Ocupada	
	Km ²	%
Topos Aplainados	36,79	9,23
Topos Convexos	4,47	1,12
Patamar Plano	11,27	2,83
Patamar Convexo	10,37	2,60
Vertentes Convexas com declividade menor que 3%	75,95	19,06
Vertentes Convexas com declividade de 3 a 6%	124,41	31,22
Vertentes Convexas com declividade de 6 a 12%	50,16	12,59
Vertentes Convexas com declividade maior que 12%	4,18	1,05
Fundos de Vale Fechados	7,22	1,81
Fundos de Vale Abertos	67,98	17,06
Planície Fluvial	5,73	1,44
Total	398,54	100,00

Fonte: Brito (2001).

Segundo Brito (2001), o mapeamento geomorfológico da área de estudo (Figura 8) transcreveu para uma escala de maior detalhe as informações já conhecidas na grande unidade de relevo em que está inserida, isto é, descreveu com maior detalhe as características da Bacia Sedimentar do Paraná, em um compartimento de borda, composto por um Planalto Tabular nas áreas de cimeira e uma superfície mais rebaixada – Planalto Dissecado. O padrão dominante de formas é composto por colinas amplas com baixa declividade.

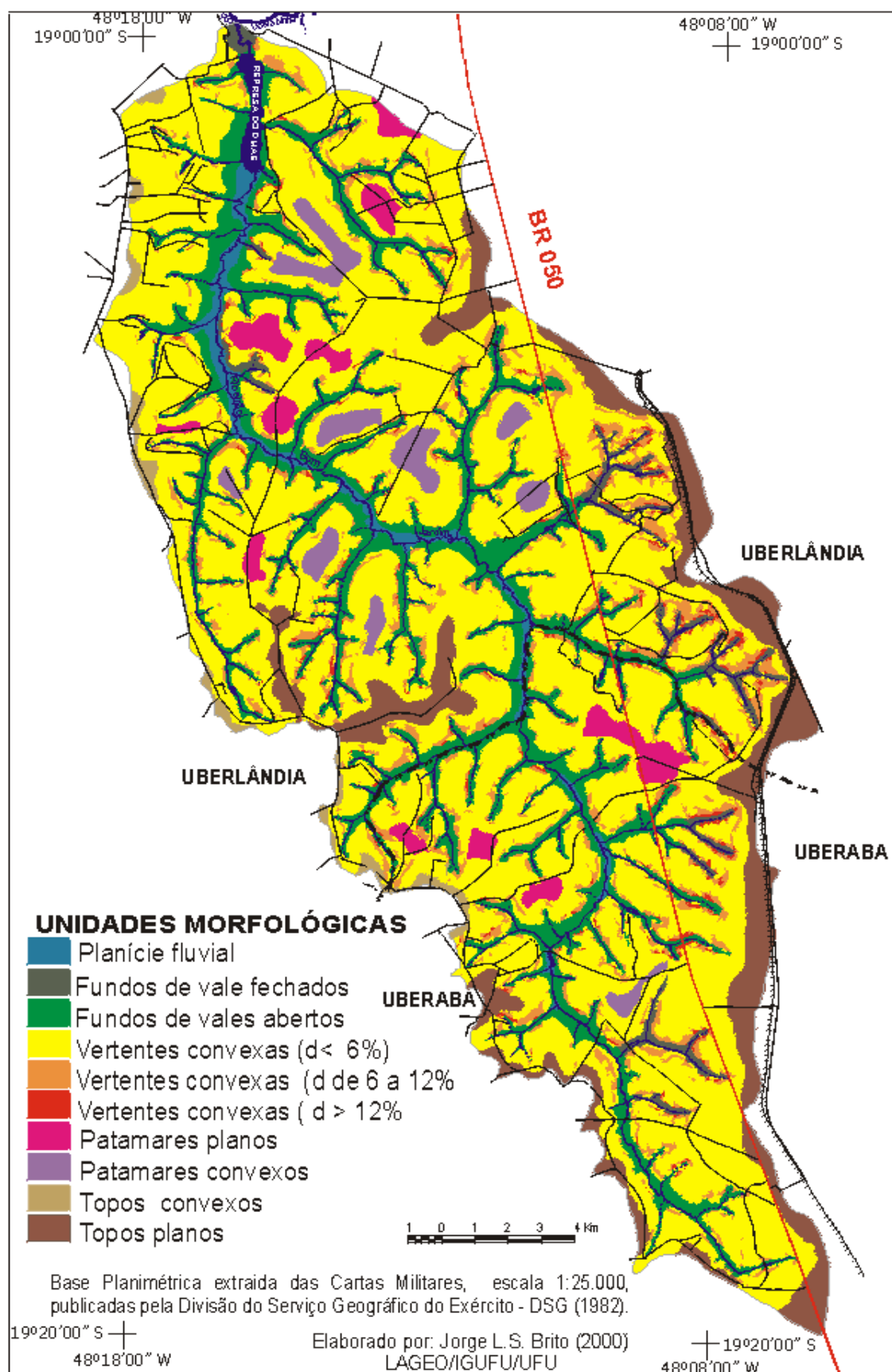


Figura 8: Mapa Geomorfológico – Bacia do Ribeirão Bom Jardim (2000)

Fonte: Brito (2001).

2.6 Solos

De acordo com o “Levantamento de reconhecimento de média intensidade de solos e avaliação da aptidão agrícola das terras”, elaborado pela Embrapa/Epamig (1982) e apresentado a partir de um relatório e mapas de solos na escala 1:500.000, foram encontradas, na bacia em estudo, as seguintes classes de solos: Latossolo Vermelho; Latossolo Vermelho-Amarelo; e Gleissolos (classes de solos adaptadas a nova classificação EMBRAPA/1999).

Latossolo Vermelho-Amarelo: compreende os solos com horizonte B latossólico, não hidromórficos, de coloração variando do amarelo a gamas intermediárias, normalmente de matiz 5YR ou mais amarelo.

Latossolo Vermelho: compreende solos com horizonte B latossólico, não hidromórfico, apresentando cores mais avermelhadas que as do Latossolo Vermelho-Amarelo, nas matizes 2,5YR e 10R e teores de ferro normalmente mais elevados que aqueles.

Gleissolos: compreende solos hidromórficos, mal a muito mal drenados, cujas características refletem as condições de redução sob as quais foram formados.

Desse modo, Brito (2001) identifica seis classes de solo na bacia do Ribeirão Bom Jardim (Tabela 6), descritas de acordo com o sistema vigente de classificação Embrapa (1999).

Tabela 6: Legenda, descrição e área ocupada pelas seis classes de solo identificadas na Bacia do Ribeirão Bom Jardim, de acordo com o sistema atual de classificação de solos (EMBRAPA, 1999).

Legenda e Descrição das Classes de Solo			Área	
			Km ²	%
EMBRAPA (1999)				
LVa1	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, a moderado, com textura muito argilosa, fase cerrado tropical subcaducifólio, relevo plano.		42,63	10,70
LVa2	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, a moderado, textura média, fase cerradão tropical subcaducifólio, relevo plano e suave ondulado.		195,64	49,09
LEa1	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, a moderado, textura muito argilosa a argilosa, fase cerrado tropical subcaducifólio, relevo plano e suave ondulado.		54,33	13,63
LEa2	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, a moderado, textura média, fase cerradão tropical subcaducifólio, relevo plano e suave ondulado.		25,33	6,36
AQa	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Ácrico, a moderado, textura arenosa, fase cerradão ou cerrado tropical subcaducifólio, relevo plano.		0,14	0,04
HGa	NEOSSOLO FLÚVICO Tb distrófico, a moderado, textura argilosa/média, fase floresta tropical subcaducifólia de várzea, relevo plano. + associação complexa de solos afetados pelo hidromorfismo:			
	GLEISSOLOS MELÂNICOS Tb Distrófico		80,48	20,19
	GLEISSOLOS HÁPLICO Tb Distrófico			
	PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplântico			
	ORGANOSSOLO MÉSICO Hêmico			
	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico			
Total			398,54	100

Fonte: Brito (2001)

O mapa de solos da bacia do Ribeirão Bom Jardim, elaborado por Brito (2001) é mostrado na figura 9.

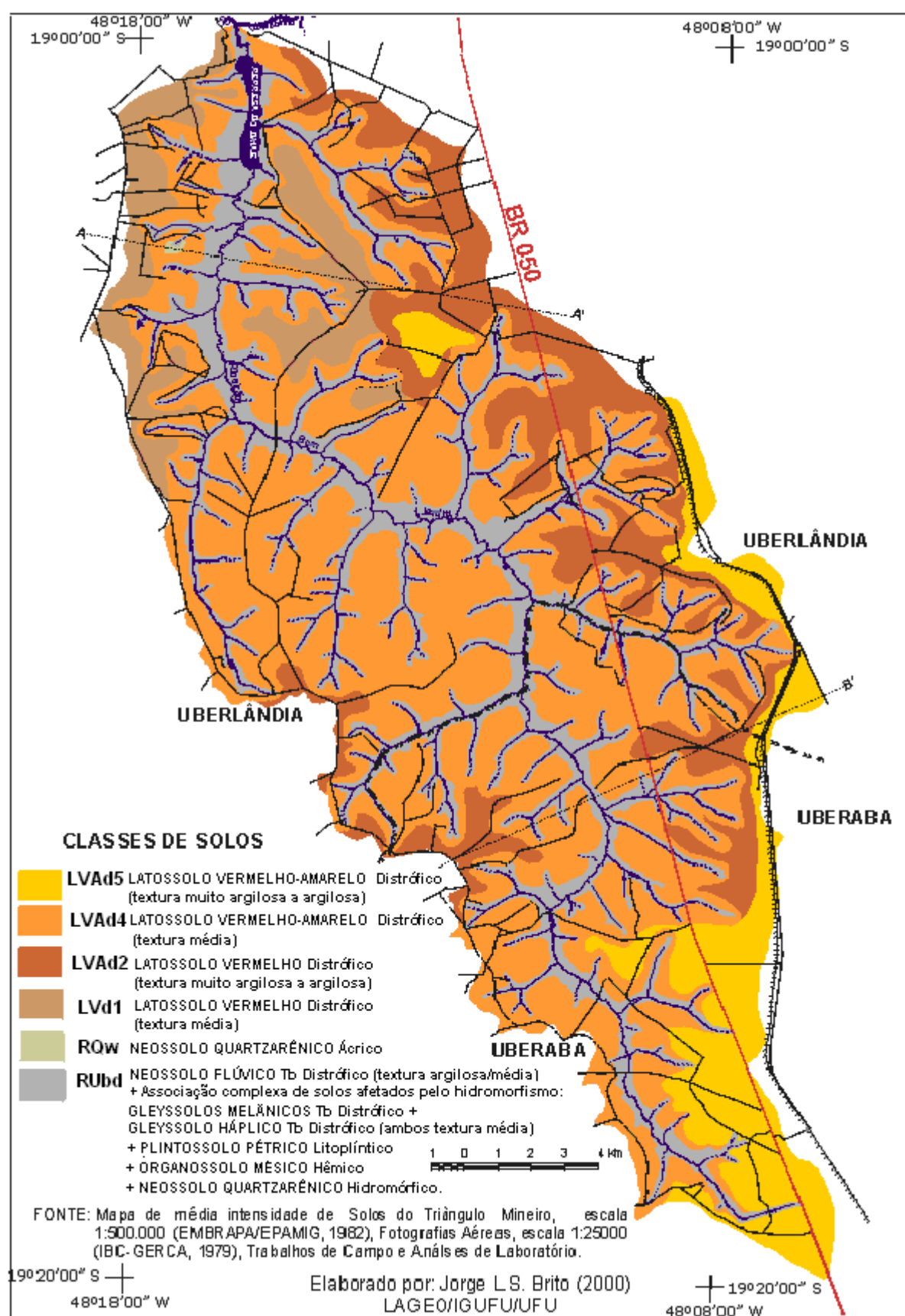


Figura 9: Solos – Bacia do Ribeirão Bom Jardim (2000)

Fonte: Brito (2001) (adaptado pela autora).

A partir de uma correlação entre mapas geológico, hipsométrico e a distribuição das classes de solo do levantamento da Embrapa/Epamig (1982), foi possível estratificar a paisagem da bacia do Ribeirão Bom Jardim. A partir das observações e informações levantadas, Brito (2001) apresentou que a seguinte relação:

- a) 780 a 830 metros: área de solos aluviais e de solos afetados pelo hidromorfismo, variando de bem drenados a muito mal drenados, com relevo plano, ocupando áreas de aluviões holocênicos;
- b) 830 a 890 metros: área de Latossolos Vermelho-Amarelo e Vermelho-Escuro, textura média, fortemente drenados, relevo plano a suave ondulado, derivados da Formação Marília;
- c) 890 a 940 metros: área de Latossolo Vermelho-Escuro, textura muito argilosa a argilosa, acentuadamente drenados, relevo plano a suave ondulado, derivados da cobertura dentrítico laterítica;
- d) 940 a 960 metros: área de Latossolo Vermelho-Amarelo, textura muito argilosa a argilosa, bem drenados, relevo plano, derivados da cobertura dentrítico laterítica;

2.7 Vegetação original

Na área de estudo estão presentes as fitofisionomias características do cerrado. O cerrado se caracteriza como uma formação do tipo savana tropical, com destacada sazonalidade PROBIO (2007).

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).

Configura-se em um grande mosaico de paisagens naturais, dominado por diferentes ecossistemas, que se apresentam com diferentes fitofisionomias como Cerradão, Cerrado sensu stricto, Vereda e Mata Ciliar.

O cerradão é a formação florestal com árvores de até 7 metros de altura. É caracterizada pela presença de espécies que ocorrem no cerrado sentido restrito e também por espécies de mata (RIBEIRO; WALTER, 1998). O Cerrado *sensu stricto* apresenta uma camada herbácea bem desenvolvida com pequenas árvores e arbustos dispersos e caracteriza-se pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares, retorcidas e geralmente com evidências de queimadas. Destaca-se ainda as veredas, que se revestem de grande importância pela representatividade espacial e pela importância na dinâmica hídrica regional (LIMA; QUEIROZ NETO, 1996). As veredas se constituem em cabeceiras de drenagem, comportando afloramento do lençol freático ou, ainda, representam zonas topograficamente deprimidas nas superfícies dos platôs com lençol freático suspenso. Em todos os casos, comportam solos hidromórficos com altos teores de matéria orgânica. A vegetação atual consiste na associação de vegetação herbáceo-graminosa e arbóreo-arbustiva com destaque para a palmeira Buriti (*Mauritia flexuosa*) (CARVALHO, 1991; GUIMARÃES; ARAÚJO; CORRÊA, 2002). Finalmente, a mata ciliar é uma formação florestal densa e alta que acompanha as margens dos rios.

Em 1999, cerca de 22,8% da bacia conservam remanescentes da vegetação original (BRITO, 2001). As diferentes fitofisionomias do cerrado foram substituídas, desde a década de 1970, por sistemas agrícolas (milho, soja, etc.) e pecuária.

CAPÍTULO III

MÉTODO E TÉCNICAS DA PESQUISA

A pesquisa apoiou-se nos conhecimentos de que a conversão de áreas naturais em sistemas agrícolas provoca uma série de modificações das propriedades e características do solo e, dentre elas, as mudanças da natureza e teor do carbono orgânico do solo. Como consequência de tais mudanças cita-se a erosão, redução da disponibilidade de nutrientes, baixa retenção de água no solo, entre outras (FELLER; BEARE, 1997; CORAZZA et al., 1999; CERRI et al., 2007). Para atingir aos objetivos propostos foram seguidas algumas etapas. A primeira etapa consistiu no mapeamento do uso atual da bacia do Ribeirão Bom Jardim.

3.1 Mapeamento do uso atual da bacia do Ribeirão Bom Jardim

O mapa foi confeccionado a partir da base cartográfica digital da área de estudo, na escala 1:25.000. Esta base cartográfica foi confeccionada por Brito (2001), através da digitalização das Cartas Militares na escala de 1:25.000, editadas e publicadas pela Divisão do Serviço Geográfico (DSG) do Ministério do Exército (BRASIL, 1983). A figura 10 mostra a articulação das Cartas Militares que abrangem a bacia do Ribeirão Bom Jardim.

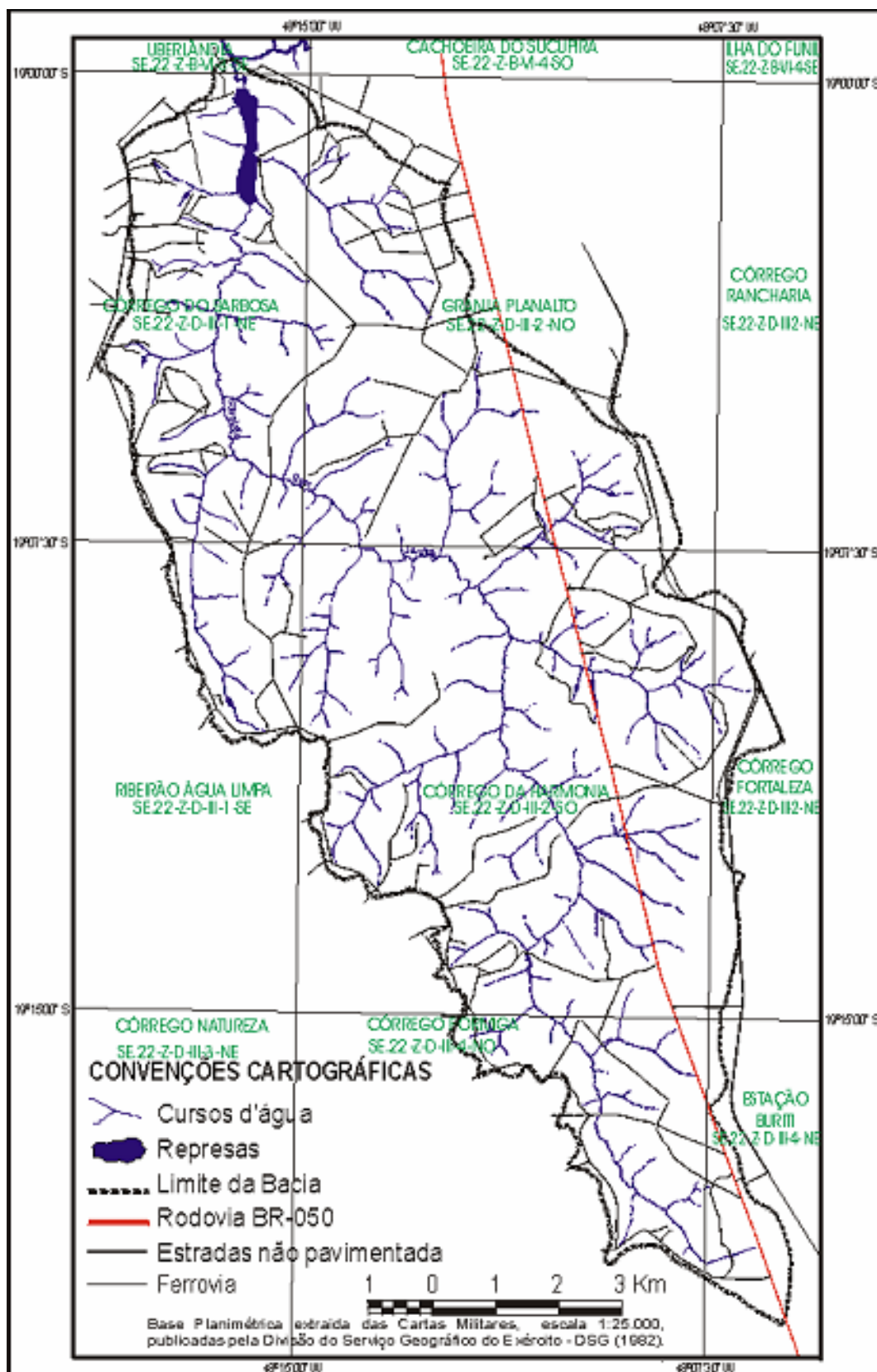


Figura 10: Articulação das Cartas Militares, escala 1:25.000 / Bacia do Ribeirão Bom Jardim.

Fonte: Brito (2001).

As cartas topográficas foram digitalizadas no software Autocad-R14. O erro de calibração das cartas na mesa digitalizadora foi inferior a 0,4mm. O limite da bacia do Ribeirão Bom Jardim foi traçado analisando o relevo, os afluentes, as curvas de nível de maior altitude e os pontos cotados. Foram utilizadas também as fotografias aéreas na escala de 1:25.000, com estereoscopia para identificar o divisor de águas da bacia. A malha viária foi atualizada utilizando-se o Sistema GPS (*Global Position System*) em campo (BRITO, 2001).

Para isto, foi feita a aquisição dos produtos e a manipulação das imagens de satélite. Foram usadas imagens de satélite TM / LANDSAT 5 (órbita 220 / ponto 073 e órbita 221 / ponto 073) do mês de setembro do ano de 2008. O sistema Landsat foi desenvolvido pela NASA com o objetivo de permitir a aquisição de dados espaciais, espectrais e temporais da superfície terrestre, de forma global, sinóptica e repetitiva.

O satélite TM/Landsat 5 possui resolução espacial de 30 m, ou seja, o sensor TM consegue separar como sendo alvos distintos os alvos terrestres que possuem mais que 30 m de extensão no terreno. Esta pode ser considerada uma resolução espacial apropriada quando se trata de mapeamentos de uso da terra, principalmente em áreas agrícolas, que não necessitam de resolução espacial mais afinada como alguns mapeamentos de áreas urbanas onde é imprescindível a utilização de satélites como os da série IKONOS (que possuem resolução espacial de até 0,67 m).

O sensor TM (*Thematic Mapper*) possui 7 bandas espectrais com resolução espacial de 30 metros e foram fornecidas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Após a escolha das imagens, foram selecionadas as bandas que seriam utilizadas. Das 7 bandas espectrais do satélite TM/Landsat 5 foram utilizadas apenas as bandas 3, 4 e 5, pois de acordo com informações extraídas de Rosa (2007) apresentam-se mais adequadas com os objetivos propostos pela pesquisa. As características de cada banda individual estão descritas a seguir:

- ✓ Banda 3 (0,630 – 0,690 μm): 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 (0,750 – 0,900 μm): 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 (1,550 – 1,750 μm): apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico.

Após a seleção das bandas, utilizando o software Spring (Sistema de Processamento de Informações Geo-referenciadas), foram aplicadas nessa imagem as seguintes operações de processamento digital:

- ✓ Leitura da imagem: utilizou-se o módulo IMPIMA do software Spring para a leitura da imagem no formato TIFF, seleção da área de interesse e exportação para o módulo SPRING;

- ✓ Correção Geométrica: através da função registro de imagem, fez-se a correção geométrica da imagem, tomando-se 8 pontos de controle e um polinômio de 1º grau. Os pontos de controle foram obtidos da base cartográfica. O erro quadrático médio do registro obtido foi de 0,167.
- ✓ Ampliação de contraste: geralmente, os níveis de cinza originais de uma cena, obtidos por um sistema sensor qualquer, não ocupam todo o intervalo de 256 níveis. Com o intuito de melhorar a qualidade visual da imagem, aplicou-se operações de contraste linear nas 3 bandas (TM3, TM4 e TM5).
- ✓ Composição colorida: A utilização de composição colorida é fundamental para melhor interpretação das imagens, visto que o olho humano é capaz de discriminar mais facilmente matizes de cores do que tons de cinza. Assim, foram associadas à banda TM3 a cor azul (TM3b), à banda TM4 a cor vermelha (TM4r), e à banda TM5 a cor verde (TM5g).

Portanto, o tratamento e manipulação das imagens foram realizados em três versões do software SPRING – Spring 5.1 / Spring 5.1.3 / Spring 4.3.3. A escolha deste software baseou-se nas experiências obtidas desde a versão 1.0 de 1993. Este software tem a facilidade de ser em português e de ser de domínio público, o que facilita a sua aplicação no meio acadêmico.

O Spring foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e pela IBM. O Spring é um sistema para processamento em ambiente UNIX e Windows, que inclui um banco de dados geográficos, o qual permite adquirir, armazenar, combinar, analisar e recuperar informações

codificadas espacial e não espacialmente, ou seja, é um sistema que combina funções de processamento de imagens, análise espacial e modelagem numérica do terreno em um único software (INPE / EMBRAPA, 1993).

Após processada a imagem, foi gerada uma carta imagem, utilizando-se o módulo SPRINGCARTA, sobrepondo a composição colorida TM3b/ TM4r / TM5g às informações da rede hidrográfica, da rede viária e do limite da bacia (Figura 11).

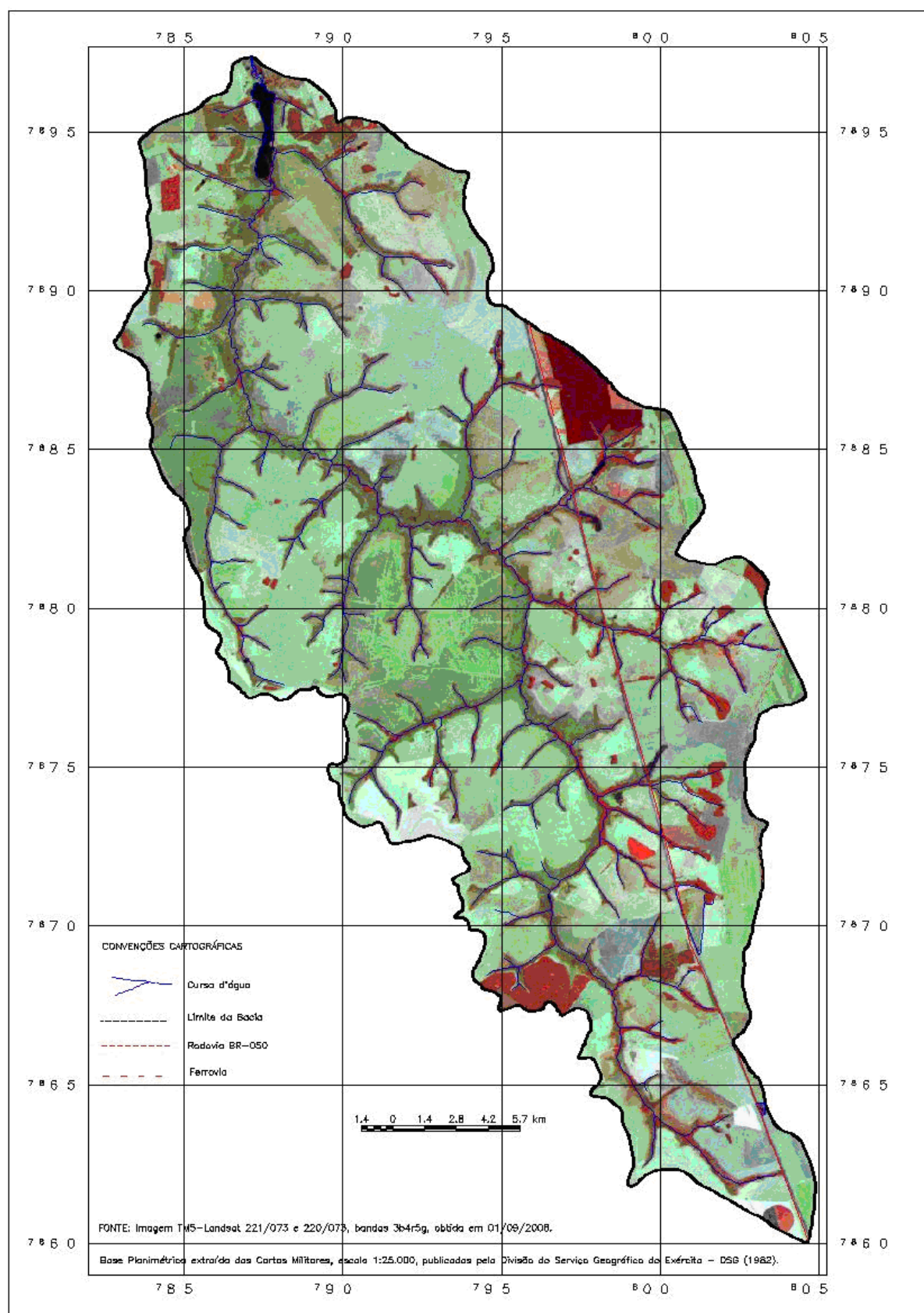


Figura 11: Carta-Imagem da bacia do Ribeirão Bom Jardim, bandas TM-Landsat 3b4r5g.

A partir desta carta imagem gerada, iniciou-se o processo de fotointerpretação, o qual envolveu três etapas: foto leitura, foto análise e a fotointerpretação propriamente dita. A foto-leitura consiste na identificação de feições ou objetos sobre imagens fotográficas. A foto-análise consiste no estudo das feições ou objetos presentes na fotografia ou imagem, ou seja, é o estudo da avaliação e ordenação das partes que compõem a fotografia/imagem. A fotointerpretação é o processo que utiliza um raciocínio lógico, dedutivo e indutivo para compreender e explicar os objetos, feições ou condições estudadas nas duas fases anteriores.

Com o intuito de facilitar e otimizar as fotointerpretações das imagens, foram importadas e utilizadas, simultaneamente, as seguintes ortofotos da área – 2450-2-NE; 2450-2-SE; 2450-2-SO; 2450-4-NE; 2450-4-SE; 2451-1-SO; 2451-1-SE; 2451-3-SO; 2451-3-NE; 2451-3-NO; 2451-3-SE; 2451-4-NO; 2451-4-SO; 2488-2-NE; 2488-2-SE; 2489-1-SO; 2489-3-NE; 2489-3-NO; 2489-3-SE; 2488-1-SE; 2488-2-SO; 2488-4-NO; 2488-4-NE; 2488-2-SE; 2488-2-NO; 2488-2-NE; 2488-1-NE; 2488-1-SE.







As fotografias aéreas utilizadas foram adquiridas no formato PDF, e salvas como TIFF, no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no endereço <http://www.ibge.gov.br/home/> em Geociências – mapas – ortofotos – Projeto São Paulo / Minas Gerais / Goiás.

O processo de fotointerpretação também contou com o apoio do programa GoogleEarth 5 (Image 2009 / Digital Globe. 2009 Cnes / Spot Image. 2009 Map Link / Tele Atlas).

No entanto, antes de se iniciar o processo de identificação e interpretação das fotografias aéreas e das imagens TM/Landsat, propriamente dito, houve a necessidade de se estabelecer a

classificação de uso da terra, bem como a elaboração de uma “chave de interpretação” para a carta imagem (Tabela 7).

Tabela 7: Chave de interpretação visual da área de estudo para composição colorida TM3b/ TM4r / TM5g da imagem TM/Landsat (órbita 220 / ponto 073 e órbita 221 / ponto 073), obtida em setembro de 2008.

CATEGORIA	COR	FORMA	TEXTURA	EXEMPLO
Corpos d’água	Azul escuro	Irregular	Lisa	
Área úmida / Mata ciliar	Marrom / Vermelho escuro	Irregular	Rugosa	
Cerrado	Vermelho	Irregular	Média	
Pastagem	Verde claro	Irregular	Média	
Agricultura	Branco a azul Rosado	Regular	Lisa	
Reflorestamento	Vermelho	Regular	Lisa	

Assim, a identificação das diferentes categorias nas fotografias aéreas e imagens foi realizada levando-se em consideração os seguintes elementos de fotointerpretação: tonalidade, textura,

padrão, tamanho, sombra, forma e limite, à semelhança de trabalhos realizados por Novo (1978) e Lima, Rosa e Feltran Filho (1989).

Com o quadro de chave de fotointerpretação e a carta imagem, foram realizados trabalhos de campo na área da bacia do Ribeirão Bom Jardim com a finalidade de coleta de dados e a verificação da interpretação preliminar da carta imagem, possibilitando maior precisão no momento de confecção do mapa de uso da terra e cobertura vegetal atual da bacia. As idas ao campo foram georreferenciadas utilizando-se um GPS de navegação. Para a entrada dos documentos cartográficos, utilizou-se mesa digitalizadora *Digigraf Van Gogh A1* com Autocad-R-14. Estes dados foram posteriormente importados para o software de geoprocessamento Spring.

Por fim, realizou-se a identificação e o mapeamento das diferentes categorias de uso do solo que refletem o estado atual de conversão da vegetação original em sistemas agrícolas na Bacia do Ribeirão Bom Jardim – Triângulo Mineiro (MG).

O trabalho cartográfico mostrou o cenário atual do uso da terra na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Bom Jardim. Todas as etapas referentes ao sensoriamento remoto foram desenvolvidas no Laboratório de Cartografia e Sensoriamento Remoto no Instituto de Geografia - UFU.

3.2 Coleta das amostras no campo

Tendo conhecimento do uso atual da bacia do Ribeirão Bom Jardim foram determinadas 4 classes de uso representativas da área para realização da coleta e análises das amostras de solo

(Granulométrica, Carbono Orgânico Total (%C) e Carbono isotópico ($\delta^{13}\text{C}$)) a fim de avaliar a conversão de uso e o potencial de estoque de carbono nos diferentes usos do solo e cobertura vegetal. As amostras foram coletadas no mês de novembro de 2009.

Foram coletadas 24 amostras de solo representativas dos diferentes usos do solo na Bacia do Ribeirão Bom Jardim, distribuídas em quatro pontos de amostragem. Os pontos de coleta foram georreferenciados com auxílio de GPS (*Garmin Etrex Vista*). As amostras foram coletadas na margem direita da Rodovia BR050 (sentido Uberlândia – Uberaba) entre os quilômetros Km90 e Km110 (Figura 12). Cada ponto de amostragem representou uma diferente categoria de uso do solo (Tabela 8).

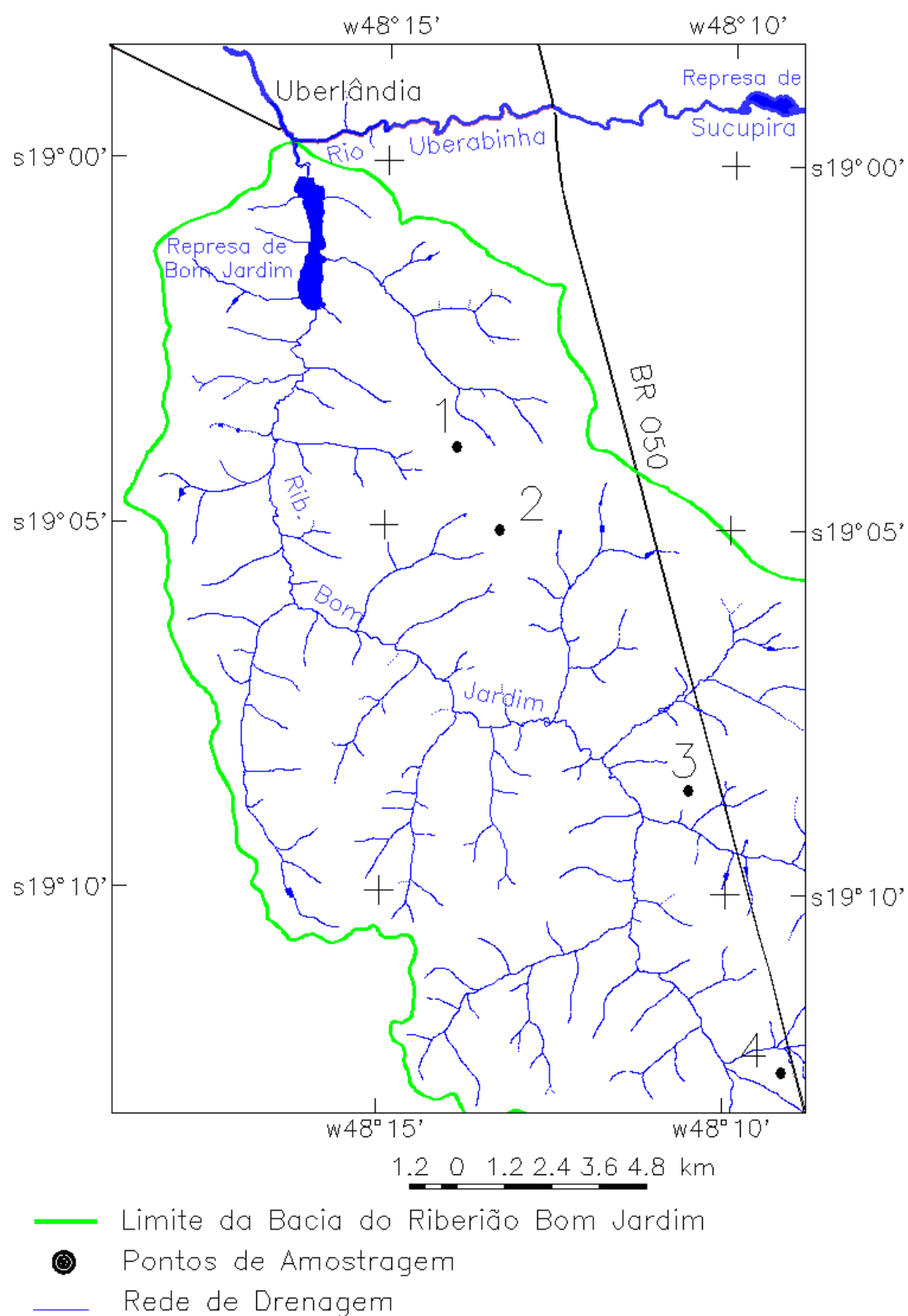


Figura 12: Mapa de Localização dos pontos amostrais na bacia do Ribeirão Bom Jardim, municípios de Uberlândia (pontos 1, 2 e 3) e município de Uberaba (ponto 4).

Tabela 8: Categoria de uso do solo em cada Ponto de Coleta na Bacia do Ribeirão Bom Jardim - MG.

Pontos de coleta	Coordenadas UTM	Altitude (metros)	Uso e Ocupação
Ponto 1	791.320 E 7.889.989 N	890	Fragmento de vegetação natural comportando vegetação do tipo Cerradão preservado.
Ponto 2	794.101 E 7.889.622 N	925	Área de cultivo / rotação de cultura – soja e milho
Ponto 3	797.027 E 7.880.782 N	883	Área de pastagem manejada
Ponto 4	799.739 E 7.873.718 N	839	Área de pastagem degradada

O ponto de coleta 1 (coordenada UTM 791320 E / 7889989 N) corresponde a uma área de remanescente de Cerrado Arbóreo Denso (Cerradão) sobre Latossolo. O ponto de coleta 2 (coordenada UTM 794101 E / 7889622 N) trata-se de uma área com plantio de soja em rotação com milho num sistema de plantio direto sobre Latossolo. O ponto de coleta 3 (coordenada UTM 797739 E / 7873718 N) foi uma área experimental do projeto CIAT - Centro Internacional de Agricultura Tropical da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) que entre 1995 a 2005 realizou pesquisas sobre melhoramento de forrageiras do gênero *Brachiaria*. Esta área denominada de Pastagem Manejada é adubada convencionalmente e, a cada três anos, é fertilizada com esterco de peru e calagem. A gramínea cultivada é a *Bachiaria* e recobre solo do tipo Latossolo. O ponto de coleta 4 (coordenada UTM 799739 E / 7873718 N) trata-se de uma pastagem natural formada após o corte e queima do cerrado e é classificada como degradada por nunca ter sido manejada e apresentar cobertura vegetal descontínua com superfície do solo exposto. O solo é o Latossolo. O quadro 1 mostra fotos correspondentes a cada uso do solo / ponto de coleta.



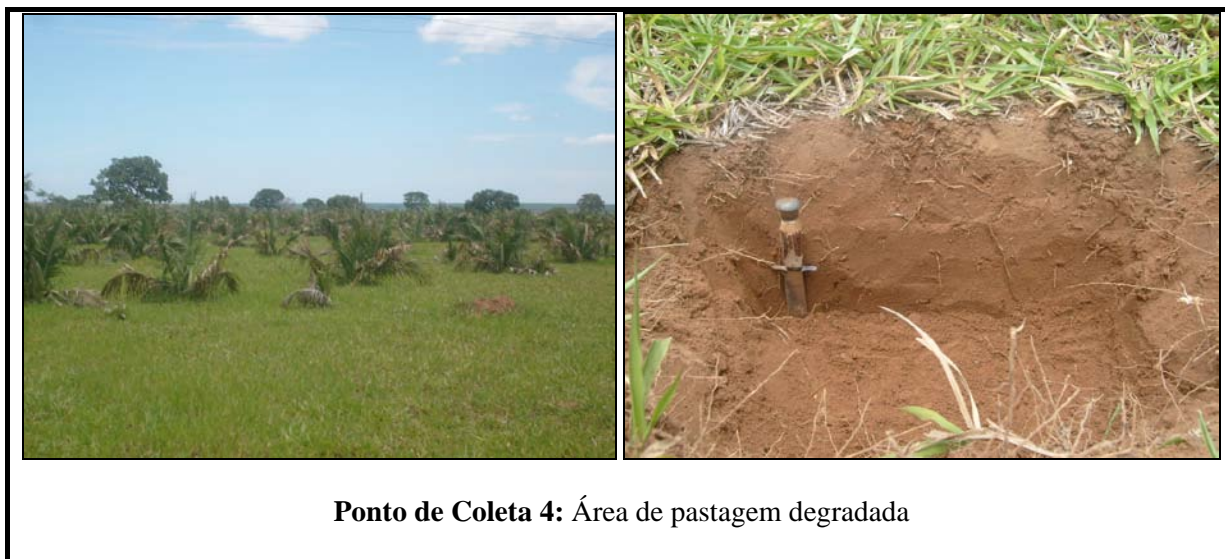
Ponto de Coleta 1: Fragmento de vegetação natural – Cerradão preservado



Ponto de Coleta 2: Área cultivada / rotação de cultura – soja e milho



Ponto de Coleta 3: Área de pastagem manejada



Quadro 1: Fotos das categorias de uso/pontos de coleta na Bacia do Ribeirão Bom Jardim/MG
Fonte: Trabalho de campo realizado em Novembro de 2009.

Autora: Resende, T. M.

As amostras foram coletadas por meio da abertura de trincheiras e em duas profundidades: na superfície entre 0 e 10cm e em subsuperfície entre 20 e 30cm. A profundidade escolhida deveu-se ao fato de que os maiores teores de carbono orgânico encontram-se estocados na superfície do solo e que o desflorestamento e perda por mineralização se refletirão de forma mais rápida e acentuada nestas camadas (BERNOUX et al., 2002).

Em cada ponto foram coletadas 3 amostras de solo nas duas profundidades mencionadas o que corresponde a um total de 6 amostras para cada categoria de uso. Considerando que em todas as áreas de coleta a topografia foi similar, as amostras foram coletadas nas posições topográficas de meia encosta teve o objetivo de minimizar a influência topográfica e de drenagem do solo sobre a matéria orgânica.

Simultaneamente à retirada do solo, determinaram-se as cores do mesmo para cada ponto e profundidade estabelecida. As anotações das cores do solo úmido foram feitas com auxílio da Carta de Cores para Solos – Munsell (MUNSELL SOIL COLOR CHARTS, 1998).

Após a coleta, as amostras foram secas inicialmente em condições ambientais de laboratório e, posteriormente, colocadas em estufa com temperatura de 30°C até atingir peso constante. Em seguida foram destorroadas, homogeneizadas e passadas em peneira de 2mm para obter a fração terra fina.

3.3 Análises de laboratório

3.3.1 Análise Granulométrica

Nesta pesquisa, a análise granulométrica foi importante, pois a textura influencia diretamente na concentração de carbono no solo. A análise granulométrica das amostras coletas em campo foi realizada no Laboratório de Manejo e Conservação de solo do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) segundo o método de peneiramento e pipetagem em frações padronizadas proposto no Manual de Métodos de Análise de solo (EMBRAPA, 1997). Este método baseia-se na velocidade de queda das partículas que compõem o solo.

A análise granulométrica do solo é realizada em três etapas: aplicação de pré-tratamentos para remoção de agentes cimentantes e floclantes, dispersão da amostra de solo e quantificação das frações do solo. A primeira etapa, normalmente pouco utilizada nas análises de rotina, visa a remoção de matéria orgânica (GEE; BAUDER, 1986).

Inicialmente, realizou-se o peneiramento seco, retirando os materiais grosseiros. Em seqüência, retirou-se uma alíquota de 10 gramas de solo, e adicionou 50ml de

hexametáfosfato Na (NaPO_3)₁₂ONa e hidróxido de sódio (NaOH) como solução dispersante.

Agitou-se mecanicamente em mesa agitadora por 12 horas.

A dispersão da amostra de solo é fundamental na análise granulométrica e é realizada mediante o uso de uma combinação de processos químicos e desagregação mecânica. A dispersão química é baseada, fundamentalmente, no incremento da repulsão das partículas em resposta à elevação do seu potencial zeta. Este processo é normalmente realizado pela saturação do complexo de troca catiônico com Na, pelo incremento das cargas negativas em resposta ao aumento do pH e pela diminuição da concentração de eletrólitos na solução, provocando a precipitação de compostos de Al ou Ca, segundo o cátion predominante no complexo de troca - esta última característica leva à escolha do dispersante químico a ser utilizado: hidróxido de Na ou hexametáfosfato de Na, respectivamente. A dispersão mecânica pode ser realizada por agitação rápida, agitação lenta ou ultra-som (GEE; BAUDER, 1986).

A quantificação das frações areia grossa e areia fina foi obtida após peneiramento, da fração argila por pipetagem e da fração silte pela diferença entre a amostra total e a soma das frações areia e argila. Em se tratando da estimativa do tempo de sedimentação da fração silte, restringindo a porção superior da suspensão às partículas de argila, utiliza-se a Lei de Stokes, com algumas aproximações, que permitem sua utilização para o caso específico das partículas de solo (KHONKE, 1969).

A suspensão foi peneirada em abertura de malha de 0,210mm para separar a fração areia grossa, e em malha 0,053mm para separar areia fina, que posteriormente foram pesadas. A solução restante foi colocada em uma proveta, sendo aferida com água destilada até 1000 ml, para determinação das frações argila e silte.

Após a separação das areias por peneiramento, a solução foi agitada mecanicamente durante 30 segundos e, após 5 minutos de sedimentação, iniciou-se a extração da fração argila por pipetagem, seguindo a lei de Stokes (EMBRAPA, 1997).

As classes estabelecidas para as frações granulométricas foram: areia grossa (partículas entre 2 e 0,2mm); areia fina (partículas entre 0,2 e 0,050mm); silte (partículas entre 0,050 e 0,002mm); e argila (partículas inferiores a 0,002mm).

3.3.2 Análise do Carbono Orgânico Total (C%) e Carbono Isotópico ($\delta^{13}\text{C}$)

As amostras de solo coletadas foram encaminhadas ao Laboratório de Ecologia Isotópica (CENA / USP) para determinar os teores (Carbono orgânico total) e a natureza do carbono orgânico do solo ($\delta^{13}\text{C}$) sob as diferentes categorias de uso: fragmentos de vegetação natural (Cerrado), pastagens (manejada e degradada) e área de plantio (rotação de cultura – soja / milho).

Para determinação do carbono orgânico total (%C) e da natureza do carbono ($\delta^{13}\text{C}$), as amostras de solo foram secas a 50°C até peso constante. Raiz e outros resíduos vegetais foram removidos por catação e peneiramento. Qualquer material vegetal remanescente foi removido por flotação em HCl 0,01 M e, posteriormente, peneiramento em 210µm. A razão isotópica de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e o carbono orgânico total (%C) foram determinados usando um analisador *Carlo Erba Elemental Analyser* CHN-1110, acoplado a um espectrômetro de massa *Thermo Finnigan, Delta Plus*. As análises foram realizadas no Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Universidade de São Paulo (USP). As

incertezas analíticas foram de 0,3‰. Os teores de carbono orgânico total são expressos em percentagem de solo seco (%C) e da razão isotópica do carbono em $\delta^{13}\text{C}$ ‰.

Para a análise e estudo da dinâmica da matéria orgânica do solo (teor de carbono orgânico total e $\delta^{13}\text{C}$) aplicou-se a metodologia de utilização de isótopos estáveis do carbono baseada na variação da abundância isotópica natural de ^{13}C . Este método baseia-se na variação da abundância natural de um material experimental induzido por um fracionamento isotópico durante processos biológicos, químicos e físicos. Tais variações são comparadas a padrões estabelecidos internacionalmente.

Esta técnica tem sido empregada com sucesso em vários estudos em regiões tropicais para estudar a dinâmica do C da MOS em longo prazo. Diferentes modelos têm sido utilizados nesses estudos – Modelo de mistura simples padrão; Modelo de Cadisch e Giller (1996); Modelo de Balesdent, Mariotti e Boissgonnier (1990). O modelo utilizado na presente pesquisa foi o de Mistura Simples Padrão, considerado como o modelo clássico nos estudos de abundância natural de ^{13}C . Este modelo é utilizado quando a vegetação original é substituída por uma cultura de ciclo fotossintético diferente. Assim, é necessário conhecer a composição isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) da MOS inicial do solo, ou seja, sob vegetação nativa ou original e sob a cultura agrícola cultivada após a retirada dessa vegetação. Caso não se tenha a amostra de solo do início do experimento, é necessário retirar amostras em uma área com remanescentes da vegetação nativa, que represente a condição original. Nos casos onde é necessário amostrar uma área referência é importante avaliar, além do $\delta^{13}\text{C}$ no perfil do solo, parâmetros como textura do solo e densidade, especialmente das camadas mais profundas, para certificar a uniformidade do solo entre as áreas, mesmo que estejam sob a mesma classe de solo.

O desenvolvimento da metodologia do emprego do ^{13}C como traçador natural é mais recente que a da marcação artificial com ^{14}C . Determinações da abundância natural do ^{13}C foram introduzidas no estudo da dinâmica da matéria orgânica do solo onde ocorreram alterações antigas ou recentes da cobertura vegetal (CERRI et al., 1985). A espectrometria de massa é o método mais preciso para a determinação de pequenas variações (<1‰) na abundância natural. O carbono das amostras tem que ser completamente convertidas em CO_2 para a determinação do ^{13}C .

Vale ressaltar que a abundância natural dos isótopos mais pesados é geralmente muito baixa; dessa forma, convém expressá-la em ‰ (por/mil) em relação ao padrão, usando a unidade delta (δ) (Equação 2).

Equação 2:
$$\delta\text{‰} = \left(\frac{R_{\text{amostra}}}{R_{\text{padrão}}} - 1 \right) \times 1.000$$

Em que,

δ = abundância natural dos isótopos;

R = relação isotópica $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$.

O padrão usado na determinação do $\delta^{13}\text{C}$ é o PDB, um carbonato (*Belemnita americana*) da formação *Pee Dee* da Carolina do Sul (EUA), segundo a equação abaixo:

Equação 3:
$$\delta^{13}\text{C} = \left(\frac{\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}}_{\text{amostra}}}{\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}}_{\text{padrão}}} - 1 \right) \times 1.000$$

Em que,

$\delta^{13}\text{C}$ = abundância natural do isótopo ^{13}C .

O $\delta^{13}\text{C}$ do CO_2 atmosférico é próximo a -7‰, o que corresponde a 1,11% de átomos. Esse valor decresce para -9‰ a -40‰ em plantas superiores, conforme seu ciclo fotossintético. As plantas do ciclo C_4 apresentam concentrações mais elevadas de ^{13}C , com valores entre -9‰ e -20‰, enquanto as plantas do ciclo C_3 tem $\delta^{13}\text{C}$ entre -22‰ e -40‰. A composição isotópica média do ^{13}C da matéria orgânica do solo reflete a da vegetação ou sucessão de vegetações que a produziram (DEINES, 1980).

Finalmente, diante das alterações verificadas na dinâmica do carbono em diferentes classes de solos representativas da Bacia do Ribeirão Bom Jardim, submetidas a mudanças de cobertura vegetal, foi apresentada uma análise das potencialidades de cada área estudada com relação ao ganho ou perda de carbono, a fim de alertar os proprietários rurais diante do uso e manejo estabelecido, buscando excelência na gestão das áreas ocupadas pela agricultura e pecuária.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Histórico de Conversão do Uso da Terra na Área de Estudo

O estudo do uso da terra consiste em buscar conhecimento de toda a sua utilização por parte do homem, ou quando não utilizado pelo homem, a caracterização dos tipos de categorias de vegetação natural que reveste o solo. Portanto, de acordo com Rosa (2003), a expressão “uso da terra ou uso do solo” pode ser entendida como sendo a forma pelo qual o espaço está sendo ocupado.

O conhecimento acerca das formas de utilização e ocupação passadas e atual do solo, são informações imprescindíveis para o estudo dos processos de erosão intensos, desertificação, inundações, assoreamentos de cursos d’água, entre outros, que se desenvolvem na região, tornando-se de fundamental importância, na medida em que os efeitos de seu mau uso, causam deterioração no meio ambiente, ou mesmo extinção de um determinado ecossistema (ROSA, 2003).

Tendo em vista que a área de estudo da presente pesquisa (Bacia do Ribeirão Bom Jardim) era coberta em sua totalidade pela vegetação natural de Cerrado, buscou-se analisar a evolução do uso dado ao solo nessa área através do mapeamento realizado por Brito (2001) para o período compreendido entre 1964 e 1999 (Tabela 9), e, em 2010, como parte desta pesquisa.

Tabela 9: Histórico do uso referente aos Pontos de Coleta de Solo – Bacia do Ribeirão Bom Jardim (Triângulo Mineiro/MG).

Data da Imagem	Pontos	Coordenadas (UTM)	Uso do Solo (BRITO, 2001)
1964	1	791.320 E / 7.889.989 N	Cerrado
	2	794.101 E / 7.889.622 N	Cerrado
	3	797.027 E / 7.880.782 N	Cerrado
	4	799.739 E / 7.873.718 N	Cerrado
1979	1	791.320 E / 7.889.989 N	Cerrado
	2	794.101 E / 7.889.622 N	Reflorestamento
	3	797.027 E / 7.880.782 N	Agricultura
	4	799.739 E / 7.873.718 N	Cerrado
1989	1	791.320 E / 7.889.989 N	Cerrado
	2	794.101 E / 7.889.622 N	Reflorestamento
	3	797.027 E / 7.880.782 N	Agricultura
	4	799.739 E / 7.873.718 N	Pastagem
1994	1	791.320 E / 7.889.989 N	Cerrado
	2	794.101 E / 7.889.622 N	Agricultura
	3	797.027 E / 7.880.782 N	Pastagem
	4	799.739 E / 7.873.718 N	Pastagem
1999	1	791.320 E / 7.889.989 N	Cerrado
	2	794.101 E / 7.889.622 N	Agricultura (plantio direto)
	3	797.027 E / 7.880.782 N	Pastagem
	4	799.739 E / 7.873.718 N	Pastagem

Fonte: Brito (2001).

Até a década de 1950, praticamente todas as áreas apresentavam a vegetação natural de Cerrado preservada. Tal situação era possível pois o processo precursor de ocupação do Brasil Central – área original coberta predominantemente pelo Cerrado – no século XVII, foi o interesse por ouro e pedras preciosas. Assim, pequenos povoados, pouco expressivos se formaram na região entre Cuiabá e oeste do Triângulo Mineiro, e ao norte, nos estados de Tocantins e Maranhão (IBAMA, 2003).

No entanto, foi a partir da década de 1960, com a interiorização da capital do país e a abertura de uma nova rede rodoviária, que largos ecossistemas deram lugar à pecuária e à agricultura extensiva, como a soja, arroz e ao trigo, dando início a uma acelerada e desordenada ocupação da região do cerrado, baseada em um modelo de exploração feita de forma fundamentalmente extrativista e, em muitos casos, predatória (IBAMA, 2003). Tais mudanças se apoiaram, sobretudo, na implantação de novas infraestruturas viárias e energéticas, bem como na descoberta de novas vocações desses solos regionais, permitindo novas atividades agrárias rentáveis em detrimento de uma biodiversidade até então pouco alterada.

Na Bacia do Ribeirão Bom Jardim até o ano de 1964, a vegetação original estava quase totalmente preservada (98,92% da área), sendo 77,01% de Cerrados, 4,01% de matas e Cerradão, 17,90% de campos de várzea e de surgente e veredas, e apenas 1,08% de pastagem, como apresentado por Brito (2001) no mapeamento do uso da Bacia para o ano de 1964 (Figura 13). Essa análise do histórico de uso do solo da Bacia confirma a teoria da pesquisa que se fundamenta no fato de que toda essa área era originalmente coberta pela vegetação de Cerrado e, desta forma, as áreas de remanescentes devem ser consideradas como áreas de referência para avaliar a dinâmica do carbono.

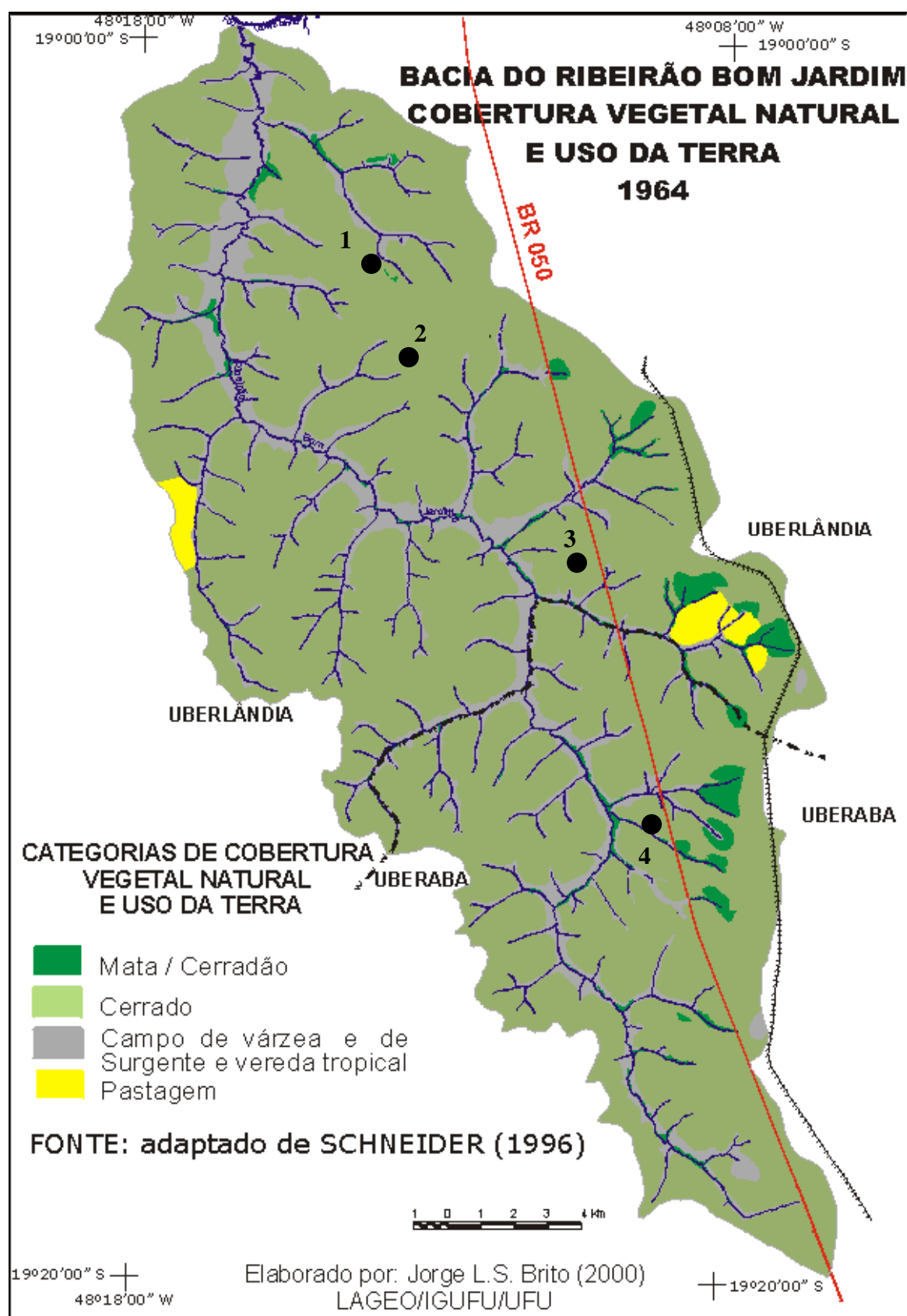


Figura 13: Bacia do Ribeirão Bom Jardim – Cobertura Vegetal Natural e Uso da Terra (1964)
Fonte: Brito (2001).

A partir de 1964, os processos tradicionais e as técnicas de exploração da terra do Cerrado passaram a ser vistos como causadores do atraso agrícola no país. Nesse período, iniciou-se a política agrícola do governo militar, criando mecanismos de incentivo à modernização no campo – incorporação das técnicas de correção da fertilidade dos solos, através da calagem e adubação química, controle de pragas por defensivos agrícolas e de mecanização dos solos. Como consequência desse processo, houve a expansão das áreas cultivadas no país atingindo as áreas de Cerrado (BRITO, 2001).

Durante as décadas de 1970 e 1980 houve um rápido deslocamento da fronteira agrícola, com base em desmatamentos, queimadas, uso de fertilizantes químicos e agrotóxicos. Um dos programas do governo federal que contribuiu efetivamente para expansão da fronteira agrícola foi o Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (Polocentro), criado pelo Decreto-Lei nº 75320 de 29/01/1975. Esse programa objetivava incentivar e apoiar a ocupação racional das áreas de Cerrado na região Centro-Oeste brasileira, nos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Em Minas Gerais, o Polocentro abrangeu as regiões do Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba, Alto e Médio São Francisco e Vão do Paracatu, atingindo uma área de 146.174 Km² (BRITO, 2001).

Como consequência dos programas de incentivo, ainda na década de 70, essa expansão agrícola atinge a área da Bacia do Ribeirão Bom Jardim. Algumas áreas anteriormente recobertas por Cerrado são substituídas por agricultura (ponto 3 de coleta de amostra de solo) e reflorestamento (ponto 2). Em 1979, a bacia já apresentava 14,14% de sua área cultivada com culturas anuais e 20,63% com reflorestamento (BRITO, 2001) (Figura 14).

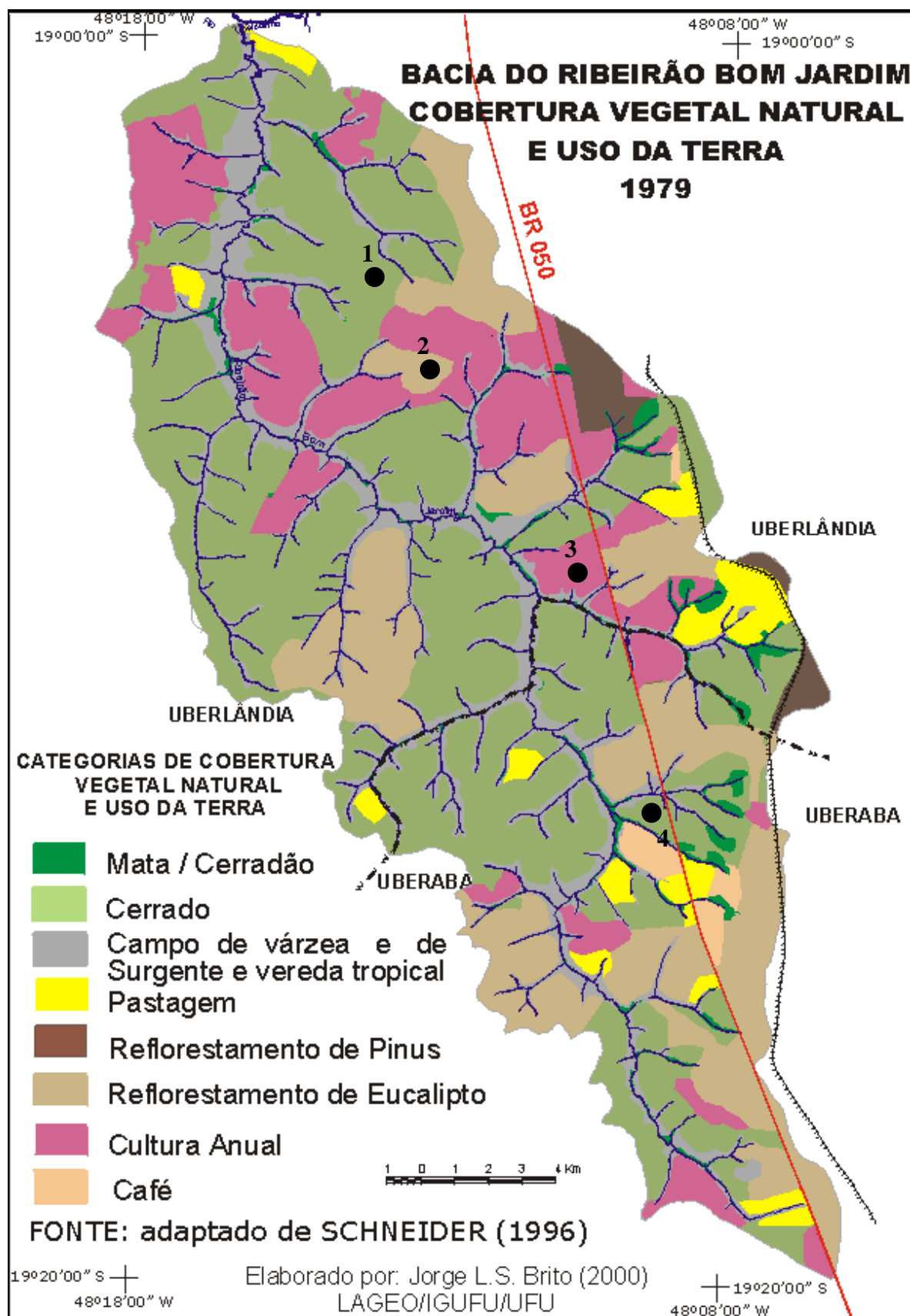


Figura 14: Bacia do Ribeirão Bom Jardim – Cobertura Vegetal Natural e Uso da Terra (1979)

Fonte: Brito (2001).

No ano de 1989, a maior parte da paisagem da Bacia havia sido alterada. Comparando-se os valores das áreas ocupadas pelas categorias Cobertura Vegetal e Uso da Terra em 1989 com os valores de 1979, observa-se um aumento significativo das áreas de culturas anuais (passou de 56,37 Km² para 99,66 Km²) e das áreas de pastagem (passou de 3,37 Km² para 125,71 Km²) (Figura 15). O aumento dessas categorias pode ser explicado pela atividade e mentalidade dos pecuaristas da época, que consistia na formação de pastagens com diferentes espécies de capim *brachiaria* através do desmatamento do Cerrado com um ou dois cultivos de arroz (BRITO, 2001).

De acordo com Brito (2001), houve uma nítida redução da área de reflorestamento (passou de 82,21 Km² para 56,46 Km²) em função da falta de um mercado consumidor de madeira próximo e do fim dos incentivos fiscais. A erradicação dessas áreas foram quase todas substituídas por pastagens, o que também contribuiu para o grande aumento das áreas de pastagens plantadas.

Comparado ao ano de 1979, o ponto 2 de coleta de amostra de solo em 1989 manteve a área ocupada por reflorestamento e o ponto 3 também manteve o uso agrícola. No entanto, no ponto 4, área ainda recoberta pela vegetação de Cerrado até 1979, o uso do solo foi substituído para pastagem.

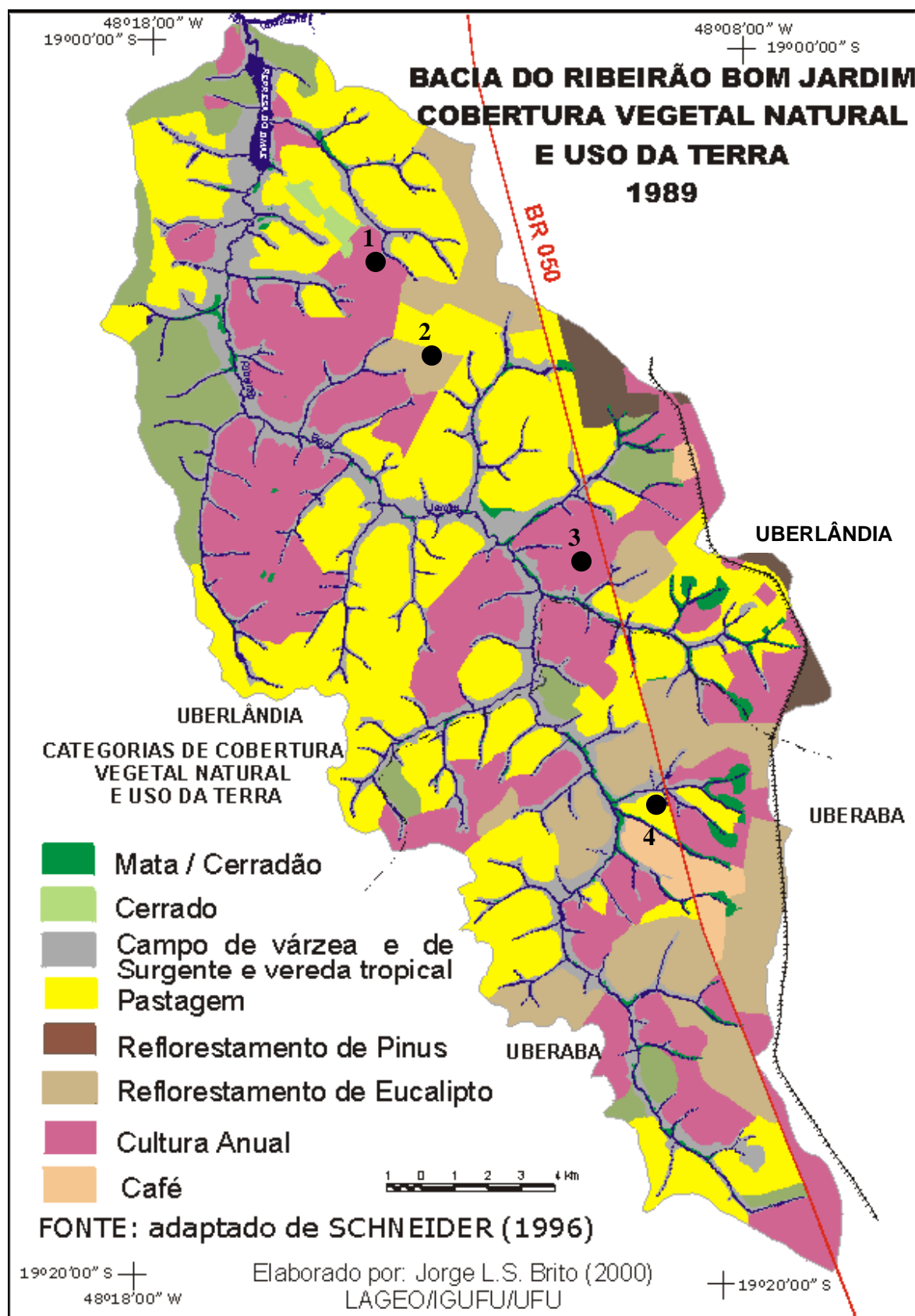


Figura 15: Bacia do Ribeirão Bom Jardim – Cobertura Vegetal Natural e Uso da Terra (1989)

Fonte: Brito (2001).

A partir da década de 1990, governos e diversos setores organizados da sociedade debatem como conservar o que restou do Cerrado, com a finalidade de buscar tecnologias embasadas no uso adequado dos recursos hídricos, na extração de produtos vegetais nativos, nos criadouros de animais silvestres, no ecoturismo e outras iniciativas que possibilitem um modelo de desenvolvimento sustentável e justo (IBAMA, 2003).

Assim, o Poder Público adota políticas ambientais que levam em conta a busca de amostras representativas dos ecossistemas existentes numa região, possibilitando, dessa forma, a conservação integral dos componentes do ecossistema ali existente. Hoje, as unidades de conservação federais no Cerrado compreendem dez Parques Nacionais, três Estações Ecológicas e seis Áreas de Proteção Ambiental.

Entretanto, apesar das iniciativas ambientais que apareceram na década de 1990, houve a intensificação do uso agropecuário da Bacia do Ribeirão Bom Jardim. As áreas de reflorestamento, introduzidas na década de 70, já completaram seu ciclo de produtividade, acelerando o processo de erradicação das florestas (que passou de 20,63% para apenas 3,69% da área da bacia) para o plantio de soja. Portanto, verificou-se um aumento de mais de 80% na área plantada com culturas anuais (representadas quase em sua totalidade por soja e milho) no período de 1989 a 1994 (que passou de 99,66 Km² para 179,82 Km²) (BRITO, 2001) (Figura 16).

Em 1994, a área referente ao ponto 2 que anteriormente era ocupada por reflorestamento tornou-se área para cultivo de soja, enquanto que o ponto 3 substituiu a agricultura pela pastagem e o ponto 4 permaneceu pastagem.

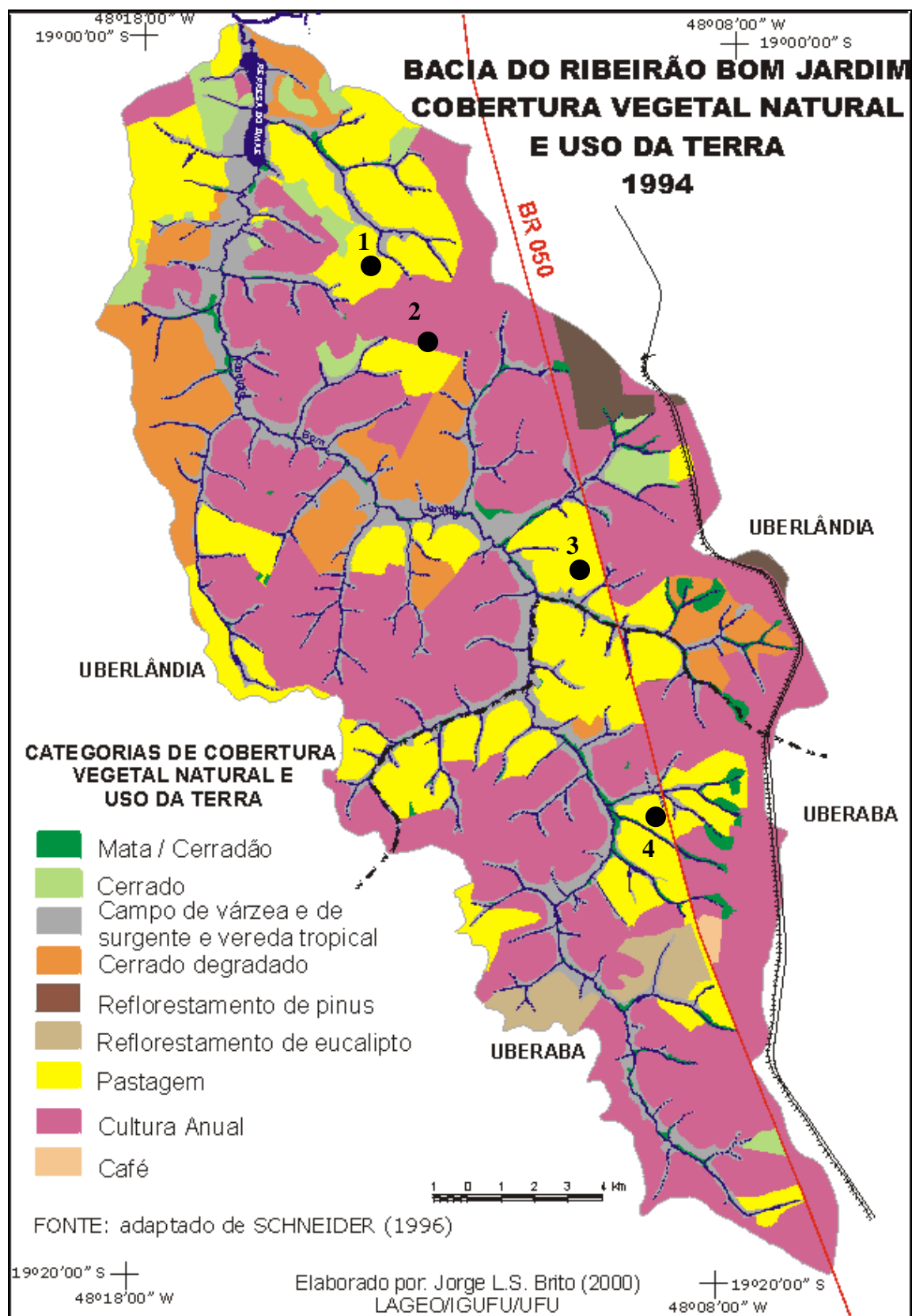


Figura 16: Bacia do Ribeirão Bom Jardim – Cobertura Vegetal Natural e Uso da Terra (1994)

Fonte: Brito (2001).

No período de 1994 a 1999 não houve mudanças significativas nos valores das áreas ocupadas pelas categorias de cobertura vegetal natural e uso da terra. Em 1999, a única mudança importante esteve relacionada ao manejo com a substituição da agricultura de plantio convencional pela técnica de plantio direto (ponto 2 – rotação soja e milho), como ocorre até os dias atuais. O sistema de plantio direto tem como principal vantagem a preservação das condições físicas do solo, melhorando assim, a sustentabilidade agrícola na região (BRITO, 2001).

O mapeamento realizado por Brito (2001) da cobertura vegetal natural e uso da terra de 1999 mostrou que, dos 178,01 Km² ocupados por culturas anuais na bacia do Ribeirão Bom Jardim, 110,24 Km² foram plantados com o sistema convencional, 67,27 Km² foram cultivados com sistema de plantio direto e 1,84 Km² foram cultivados com irrigação (Figura 17).

A partir da análise do histórico de uso da terra e cobertura vegetal identificadas na bacia do Ribeirão Bom Jardim entre 1964 e 1999, foi realizado um mapeamento do uso atual da bacia (ano 2010). Foram mapeadas seis categorias de uso da terra na bacia do Ribeirão Bom Jardim: vegetação natural (Cerrado), área úmida / mata ciliar, agricultura, agricultura irrigada, pastagem, e reflorestamento, representadas no mapa (Figura 18).

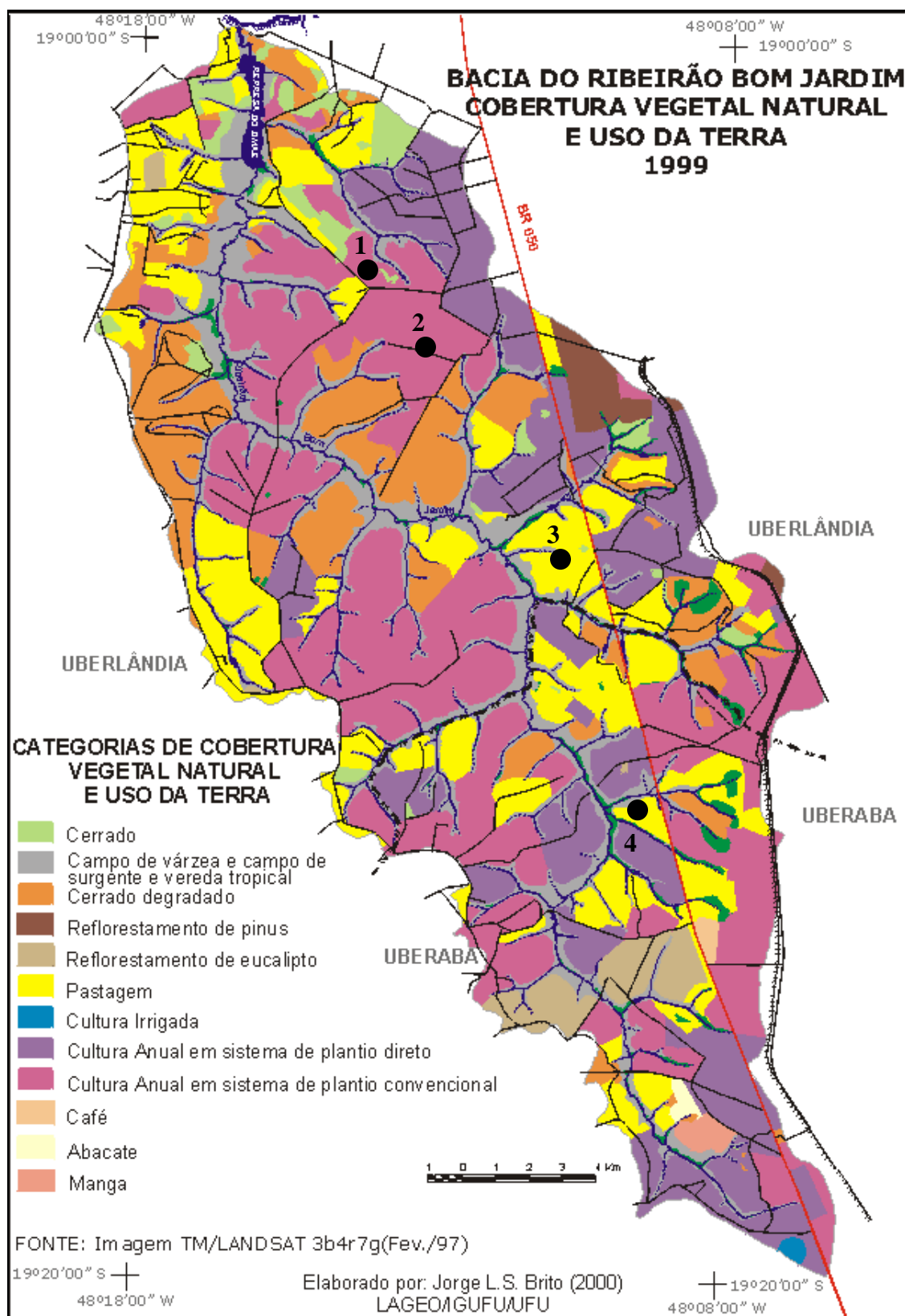


Figura 17: Bacia do Ribeirão Bom Jardim – Cobertura Vegetal Natural e Uso da Terra (1999)

Fonte: Brito (2001).

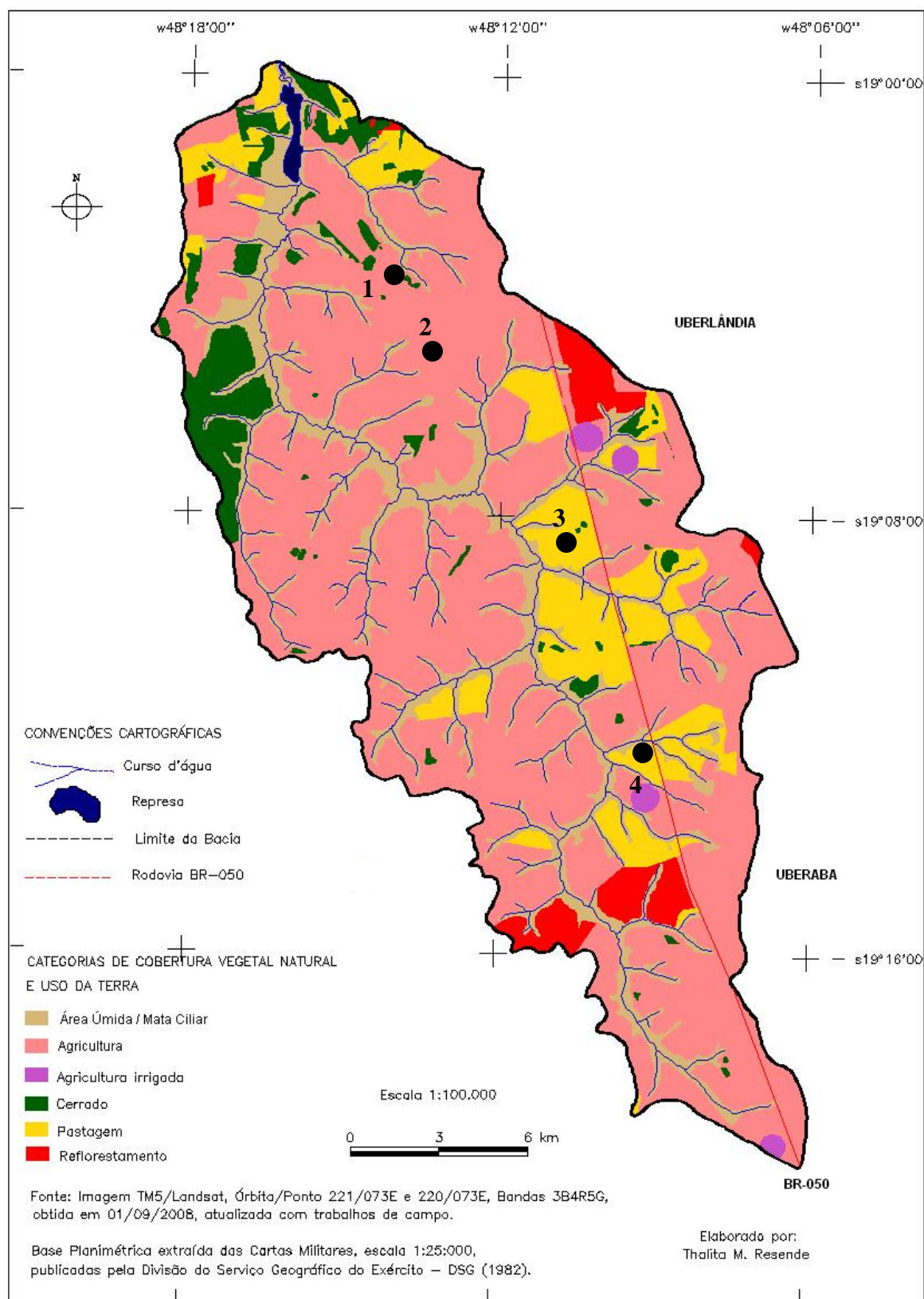


Figura 18: Bacia do Ribeirão Bom Jardim–Cobertura vegetal Natural e Uso da terra Atual

As seis categorias de cobertura vegetal natural e uso da terra na bacia do Ribeirão Bom Jardim, representadas no mapa, são definidas de acordo com Rosa (2007) como:

- ✓ Cerrado: é uma vegetação natural de porte médio a baixo (arbóreo e arbustivo), que ocorre especialmente nos interflúvios. As árvores e arbustos possuem troncos e galhos retorcidos, folhas grandes, grossas, coriáceas, pilosas, cascas espessas e, não raro, protegidas por uma camada de cortiça. Na bacia do Ribeirão Bom Jardim, o Cerrado é encontrado em áreas de latossolos vermelho-amarelo e vermelho-escuro, com textura arenosa a argilosa;
- ✓ Área úmida: esta categoria caracteriza-se pela presença de umidade, onde a vegetação natural ocupa a maior parte da área;
- ✓ Mata: compreende a classe de cobertura vegetal natural de porte arbóreo representada por diversos tipos fitofisionômicos encontrados na região de cerrado, como a mata mesofítica (de galeria e de encosta);
- ✓ Pastagens: nesta categoria estão incluídas as terras na qual a vegetação natural é predominantemente de gramíneas, plantas graminóides, ervas, arbustos e árvores dispersas. São freqüentemente invadidas por ervas daninhas arbustivas, podendo aparecer como pasto sujo em diferentes estágios de degradação. A pastagem pode ser ainda constituída por plantios de forrageiras para o pastoreio (pastagem manejada), em áreas onde houve desmatamento ou onde a pastagem foi formada conservando árvores dispersas (cerca de 100 por hectare) com o objetivo de proporcionar sombras ao gado;

- ✓ Agricultura (anual, irrigada e perenes): fazem parte desta categoria as áreas de culturas anuais, entendidas como sendo as terras preparadas para o plantio com culturas de ciclo curto, colhidas a cada ano, ocupando o terreno durante aproximadamente 5 meses do ano, normalmente no período de chuvoso (outubro a março), tais como: a soja, o milho, o arroz, o feijão e o sorgo, assim como os terrenos em pousio cultivados no ano anterior. Enquanto que as culturas perenes são constituídas por árvores ou arbusto de vida produtiva longa, ou seja, ciclo longo entre o plantio e a remoção dos talhões, das quais são aproveitados normalmente os frutos (laranja, café);

- ✓ Reflorestamento: são consideradas nesta categoria as formações florestais artificiais, disciplinadas e homogêneas, constituídas de espécies exóticas tais como *Pinus Eliots* e *Eucalyptus sp.* Aparecem organizadas em grandes áreas contínuas, exercendo influência no microclima, regime hídrico e fauna da região, ou em talhões menores e isolados em propriedades agrícolas, não voltadas exclusivamente à silvicultura.

De acordo com o mapa realizado nesta pesquisa, no ano de 2010 o uso do solo nas áreas de amostragens (pontos 1, 2, 3 e 4) permaneceu igual aos apresentados para o ano 1999. No entanto, considerando a área total da bacia, percebe-se que a área ocupada pela agricultura aumentou de 45,2% (1999) para 58,6% (2010). Enquanto que a área coberta por vegetação natural (Cerrado) foi reduzida de 13,8% (1999) para 5,4% (2010). Já as áreas ocupadas por reflorestamento foram mantidas (3,5%) (Tabela 10).

Tabela 10: Área ocupada pelas categorias de cobertura vegetal e uso da terra na bacia do Ribeirão Bom Jardim (2010)

Cobertura Vegetal e Uso da terra	Área Ocupada			
	1999		2010	
	Km ²	%	Km ²	%
Área úmida / Mata Ciliar	80,9	20,3	82,2	20,6
Agricultura	180,2	45,2	233,5	58,6
Agricultura irrigada	0,5	0,13	2,9	0,7
Cerrado	55,2	13,8	21,7	5,4
Pastagem	65,6	16,5	42,6	10,7
Reflorestamento	14,3	3,6	14,0	3,5
Represa	1,8	0,5	1,8	0,5
TOTAL	398,5	100	398,5	100

O estudo da evolução do uso da terra evidenciou que quase toda a área de cerrado, na qual representava 2/3 da bacia, foi substituída principalmente por agricultura, demonstrando que os produtores rurais da região não dão à devida importância para a preservação dessas áreas.

Buscando o desenvolvimento agrícola sustentável na área de estudo, propõem-se incentivar os agricultores a adotar técnicas de manejo de conservação do solo, como por exemplo, a opção pelo plantio direto. Além disso, seria válido incentivar programas de recuperação de pastagens, como por exemplo, o estabelecimento de pastagens manejadas e/ou a adoção de sistemas de consórcio de pastagens e agricultura.

4.2 Análise Granulométrica do Solo sob Diferentes Usos da Terra e Cobertura Vegetal

A facilidade em estocar ou perder o carbono do solo pode estar associada à variação no teor e distribuição do tamanho das partículas finas. A análise granulométrica mostrou variações na quantidade de areia, silte e argila de acordo com o uso estabelecido, a profundidade em que o solo foi coletado, e a possível relação com o nível altimétrico (altitude) e sua posição na vertente.

No solo recoberto por Cerrado (Ponto 1), na profundidade de 0-10cm, o teor médio de areia grossa determinado foi de 45%, de areia fina 25%, de silte 2% e de argila 28%. Na profundidade de 20-30cm o teor médio de areia grossa foi de 44%, de areia fina 26%, de silte 2% e de argila 28% (Tabela 11). O solo agrícola (rotação soja/milho – Ponto 2) possui constituição relativamente mais argilosa. Entre 0-10cm o teor médio de argila é de 72%, de areia grossa 12%, de areia fina 6% e de silte 10%. Entre 20-30cm o teor médio de argila é de 78%, de areia grossa é de 10%, 4% de areia fina e 7% de silte (Tabela 11).

Nos solos sob pastagem percebe-se um enriquecimento da fração areia. Na pastagem manejada (Ponto 3) destaca-se a maior concentração de areia fina. O teor médio na profundidade entre 0-10cm foi de 46% e entre 20-30cm de 45%. O teor médio da fração areia grossa foi de 31% entre 0-10cm e de 31% entre 20-30cm enquanto a média dos teores de silte foram de 2% entre 0-10cm e de 3% entre 20-30cm, e de argila foram de 21% de 0-10cm e 21% de 20-30cm (Tabela 11).

Finalmente o solo com pastagem degradada (Ponto 4) evidenciou baixos teores argila, que conseqüentemente, pode afetar a capacidade de estoque de carbono. O teor médio de argila foi de 14% na profundidade entre 0-10cm e de 16% entre 20-30cm. Os teores médios de silte foram de 1% entre 0-10cm e de 1% entre 20-30cm; de areia grossa foram de 45% e de 49%, nas profundidades entre 0-10 e 20-30cm respectivamente e de areia fina de 40% entre 0-10cm e 33% entre 20-30cm (Tabela 11).

Tabela 11: Análise Granulométrica do solo sob diferentes usos da terra e cobertura vegetal – Bacia do Ribeirão Bom Jardim (MG).

Ponto	Identificação (Uso Atual)	Prof.* (cm)	Solo / Cor	Granulometria			
				Areia Grossa (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)
C-1-1	Cerrado	0-10	Latossolo / 7,5 YR 3/4	43,81	24,47	3,00	28,72
C-1-2	Cerrado	20-30	Latossolo / 7,5 YR 4/4	42,15	27,41	2,12	28,32
C-2-1	Cerrado	0-10	Latossolo / 7,5 YR 3/4	40,18	27,06	1,52	31,24
C-2-2	Cerrado	20-30	Latossolo / 7,5 YR 4/4	45,70	27,38	2,56	24,36
C-3-1	Cerrado	0-10	Latossolo / 7,5 YR 3/4	49,81	24,07	1,16	24,96
C-3-2	Cerrado	20-30	Latossolo / 7,5 YR 4/4	43,74	24,46	1,80	30,00
Média	Cerrado	0-10	-----	44,60	25,20	1,89	28,31
Média	Cerrado	20-30	-----	43,86	26,42	2,16	27,56
S-1-1	Soja / Milho**	0-10	Latossolo / 5YR 4/4	10,30	7,82	4,24	77,64
S-1-2	Soja / Milho**	20-30	Latossolo / 5YR 4/6	9,91	3,89	8,48	77,72
S-2-1	Soja / Milho**	0-10	Latossolo / 5YR 4/4	12,85	8,39	12,40	66,36
S-2-2	Soja / Milho**	20-30	Latossolo / 5YR 4/6	10,33	3,23	7,52	78,92
S-3-1	Soja / Milho**	0-10	Latossolo / 5YR 4/4	11,52	3,18	13,10	72,20
S-3-2	Soja / Milho**	20-30	Latossolo / 5YR 4/6	11,05	6,27	5,36	77,32
Média	Soja / Milho**	0-10	-----	11,56	6,46	9,91	72,07
Média	Soja / Milho**	20-30	-----	10,43	4,46	7,12	77,99
PM-1-1	Pastagem Manejada	0-10	Latossolo / 7,5 YR 4/6	31,68	44,14	2,10	22,08
PM-1-2	Pastagem Manejada	20-30	Latossolo / 7,5 YR 4/4	29,95	44,71	2,90	22,44
PM-2-1	Pastagem Manejada	0-10	Latossolo / 7,5 YR 4/6	30,43	45,17	2,60	21,80
PM-2-2	Pastagem Manejada	20-30	Latossolo / 7,5 YR 4/4	31,08	46,52	2,60	19,80
PM-3-1	Pastagem Manejada	0-10	Latossolo / 7,5 YR 4/6	29,83	48,17	2,36	19,64
PM-3-2	Pastagem Manejada	20-30	Latossolo / 7,5 YR 4/4	30,52	43,40	4,72	21,36
Média	Pastagem Manejada	0-10	-----	30,65	45,83	2,35	21,17
Média	Pastagem Manejada	20-30	-----	30,52	44,88	3,41	21,20
PD-1-1	Pastagem Degradada	0-10	Latossolo / 10 YR 5/4	43,75	41,45	1,12	13,68
PD-1-2	Pastagem Degradada	20-30	Latossolo / 7,5 YR 4/4	48,37	34,47	0,80	16,36
PD-2-1	Pastagem Degradada	0-10	Latossolo / 10 YR 5/4	44,76	40,76	0,32	14,16
PD-2-2	Pastagem Degradada	20-30	Latossolo / 7,5 YR 4/4	50,84	32,44	1,88	14,84
PD-3-1	Pastagem Degradada	0-10	Latossolo / 10 YR 5/4	45,93	39,35	0,16	14,56
PD-3-2	Pastagem Degradada	20-30	Latossolo / 7,5 YR 4/4	48,38	33,04	1,50	17,08
Média	Pastagem Degradada	0-10	-----	44,81	40,52	0,53	14,13
Média	Pastagem Degradada	20-30	-----	49,19	33,32	1,39	16,09

* Profundidade; ** Soja rotação com Milho;

De acordo com a análise granulométrica, verificou-se que o uso da pastagem sem manejo adequado causou uma significativa redução nos teores de argila, que conseqüentemente, pode afetar a capacidade de acúmulo de carbono. Solos similares que anteriormente eram compostos por uma média de 21% de argila, são convertidos a uma quantidade média de 15% de argila.

Além do uso, a geologia determina a variação granulométrica no sentido de aumento da redução da fração argila / areia / silte em relação à variação das cotas altimétricas em razão das camadas distintas da cobertura cenozóica / Marília. Portanto, a causa da redução de argila em cotas menores, deve-se à variação das frações granulométricas de acordo com a profundidade (NISHIYAMA, 1998).

4.3 Textura, Manejo, Teor (C%) e Natureza ($\delta^{13}\text{C}$) do Carbono Orgânico nas Diferentes Categorias de Uso da Terra

Sob vegetação original de Cerrado arbóreo, na profundidade entre 0-10cm foram determinados teores de carbono (C%) de 1,5 a 2% (média de 1,75%; dp de 0,26) e na profundidade entre 20-30cm teores de 0,77 a 0,92% (média de 0,86%; dp 0,08). No solo recoberto com pastagem manejada, entre 0-10 cm, C% variou entre 0,91 e 1,43% (média de 1,13%; dp 0,27) e entre 20-30cm C% variou de 0,67 a 0,75% (média de 0,7%; dp 0,04). A perda média aproximada de carbono nas camadas de solo de pastagem manejada em relação às camadas do solo do cerrado foi de aproximadamente 22% nos primeiros 10cm de profundidade e de 19% entre 20 a 30cm (Tabela 12).

Tabela 12: Análise do Teor e Origem do Carbono sob diferentes usos da terra e cobertura vegetal – Bacia do Ribeirão Bom Jardim.

Ponto	Identificação (Uso Atual)	Prof.*** (cm)	Teor e origem do Carbono	
			C total (g/100g)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
C-1-1	Cerrado	0-10	1,74	-26,08
C-1-2	Cerrado	20-30	0,92	-25,04
C-2-1	Cerrado	0-10	2,01	-26,18
C-2-2	Cerrado	20-30	0,90	-24,84
C-3-1	Cerrado	0-10	1,50	-26,33
C-3-2	Cerrado	20-30	0,77	-24,44
Média	Cerrado	0-10	1,75	-26,20
DP*			0,26	0,13
Média	Cerrado	20-30	0,86	-24,77
DP*			0,08	0,31
S-1-1	Soja / Milho**	0-10	2,28	-20,54
S-1-2	Soja / Milho**	20-30	1,74	-18,48
S-2-1	Soja / Milho**	0-10	2,36	-16,66
S-2-2	Soja / Milho**	20-30	1,54	-14,81
S-3-1	Soja / Milho**	0-10	2,06	-17,43
S-3-2	Soja / Milho**	20-30	1,65	-16,13
Média	Soja / Milho**	0-10	2,23	-18,21
DP*			0,15	2,06
Média	Soja / Milho**	20-30	1,64	-16,47
DP*			0,10	1,86
PM-1-2	Pastagem Manejada	0-10	0,91	-13,34
PM-2-1	Pastagem Manejada	20-30	0,69	-13,05
PM-2-2	Pastagem Manejada	0-10	1,06	-13,36
PM-3-1	Pastagem Manejada	20-30	0,67	-13,17
PM-3-2	Pastagem Manejada	0-10	1,43	-13,39
PM-3-2	Pastagem Manejada	20-30	0,75	-12,85
Média	Pastagem Manejada	0-10	1,13	-13,37
DP*			0,27	0,03
Média	Pastagem Manejada	20-30	0,70	-13,03
DP*			0,04	0,16
PD-1-2	Pastagem Degradada	0-10	0,63	-13,93
PD-2-1	Pastagem Degradada	20-30	0,45	-14,62
PD-2-2	Pastagem Degradada	0-10	0,61	-13,96
PD-3-1	Pastagem Degradada	20-30	0,41	-14,38
PD-3-2	Pastagem Degradada	0-10	0,66	-14,57
PD-3-2	Pastagem Degradada	20-30	0,44	-13,50
Média	Pastagem Degradada	0-10	0,64	-14,15
DP*			0,03	0,36
Média	Pastagem Degradada	20-30	0,43	-14,17
DP*			0,02	0,59

* Desvio Padrão; ** Soja rotação com Milho; *** Profundidade.

No solo com pastagem degradada houve nitidamente um empobrecimento de C tanto em superfície quanto em subsuperfície (63,43% e 50%, respectivamente). Na profundidade entre 0-10cm os teores de C variaram de 0,61 a 0,66% (média de 0,64%; dp 0,03) e, entre 20-30cm variaram de 0,41 a 0,45% (média de 0,43%; dp 0,02) (Tabela 12).

No solo cultivado com soja em rotação com milho, os teores de C na superfície, entre 0-10cm, variaram de 2,06 a 2,36% (média de 2,23%; dp 0,15) e, entre 20-30cm, de 1,54 a 1,74% (média de 1,64%; dp 0,10) (Tabela 12).

Quando comparados os teores de C fixados nos solos sob diferentes categorias de uso com o solo recoberto pela vegetação nativa de cerrado arbóreo, determinou-se que o solo cultivado com soja em rotação com milho após 10 anos de manejo em sistema de plantio direto foi a prática mais eficiente para aumentar a concentração total de carbono. Tal resultado encontra sustentação no conhecimento adquirido de que o plantio direto é uma prática de manejo do solo adequada para promover o aporte de material orgânico proveniente de resíduos vegetais e a proteção da superfície do solo (CAMPOS et al., 1995). Por ser considerada também uma prática adequada para minimizar a quebra das pedoestruturas, pode resultar em significativo aumento de C no solo e diminuição das emissões de CO₂ para a atmosfera (LAL, 2006).

Na área estudada, o enriquecimento em C ocorreu na superfície e em subsuperfície e em ambas as profundidades superou os teores determinados no solo do Cerrado. A conservação ou aumento do teor de C pode ser explicado pelo menor revolvimento do solo, da incorporação de parte dos resíduos vegetais da cultura inibindo a emissão de CO₂, a diminuição do selamento superficial do solo que resulta em aumento da infiltração e redução

da erosão e conservação da pedoestrutura (SÁ et al., 2001; SIX et al., 2002; CERRI et al., 2007).

O manejo adequado para conservação do solo e produtividade das culturas deve ter como premissa a utilização de métodos de preparo com mínimo ou nenhum revolvimento do solo e sistemas de rotação / sucessão de culturas que incluam plantas leguminosas e culturas com alta produção de resíduos vegetais. De acordo com Carvalho et al. (2009) quando o sistema de plantio direto associa rotação de mais de uma cultura por ano e a aplicação de fertilizantes há incremento de resíduos e nutrientes, entre eles o C, porém ressaltam que a relação direta entre o sistema de plantio direto e o aumento da taxa de acúmulo de C é ainda inconclusiva. Alguns autores (FREITAS et al., 2000; ROSCOE; BUURMAN, 2003; BAYER et al., 2006) reportaram mínimas variações nas concentrações da MOS sob sistema de plantio direto uma vez outros fatores foram limitantes como a textura, mineralogia e dificuldade de adição de C durante o período seco.

Neste estudo, a área cultivada com soja em rotação com milho caracterizou um solo relativamente mais argiloso (70% em superfície e 78% em subsuperfície). Por se tratar de um solo de composição laterítica constituído por argila de atividade baixa (LAC), o aumento da MOS pode ser resultado da relação entre carbono e aumento do teor de argila, sendo que esta relação equaliza os teores obtidos em solos cultivados com aqueles obtidos em vegetação nativa (FELLER et al., 1991). Além da caolinita, as elevadas concentrações de óxido de ferro nos solos lateríticos do Cerrado propiciam as ligações de troca entre os íons férricos e as superfícies dos grupos funcionais da matéria orgânica, ligações estas que interferem na decomposição da matéria orgânica e redução da biodisponibilidade (OADES; GILLMAN; UEHARA, 1989; BALESSENT; CHENU; BALABANE, 2000; BAYER et al., 2006).

Mineralogia e textura estão relacionadas aos gradientes de teor de MOS (BROWN; LUGO, 1982; FELLER; BEARE, 1997; KRULL; SKJEMSTAD, 2003) e respondem pela conservação do C e pelo fracionamento isotópico.

Considerando a relação uso do solo e perda de C, as menores taxas de concentração ocorreram na pastagem degradada nas duas profundidades analisadas. As pastagens naturais do bioma Cerrado formadas após o corte e a queima da vegetação original são de baixa quantidade e qualidade e não recobrem toda a superfície do solo. Os contrastes climáticos sazonais com chuvas concentradas e forte insolação e dessecação tornam os solos expostos altamente susceptíveis, resultando em perda de estrutura, aumento dos processos erosivos e a perda da fertilidade física e química que refletem diretamente nos teores de C (BROSSARD; LÓPES-HERNÁNDES, 2005).

Além do manejo não adequado, a textura novamente reflete no resultado do C. O solo da pastagem degradada apresentou elevados teores de areias grossa e fina (83% nos horizontes superficial e subsuperficial) e o não desenvolvimento da macroestrutura são fatores que contribuíram para a diminuição da taxa de C. É conhecido que parte da MOS está protegida nos macroagregados, em uma taxa de 10% em solos cultivados e 19% em solos não cultivados segundo Beare et al. (1994). Esta capacidade se eleva com o aumento do teor de argila e ausência de cultivo assim como com a frequência na qual os agregados são susceptíveis de serem destruídos *in situ* pelo cultivo ou ainda em relação à sua intrínseca estabilidade em água (BALESDENT; CHENU; BALABANE, 2000).

Quando os solos do Cerrado são convertidos em sistemas agrícolas sem manejo adequado, a degradação macroestrutural é rapidamente verificada, pois são originalmente frágeis e pouco

desenvolvidos (BALBINO et al., 2002). A micro e a macroestrutura dos solos são reconhecidamente as unidades que controlam a dinâmica da MOS, pois nestas unidades desenvolve-se o processo de proteção física da MOS contra a biodegradação (OADES, 1995; SKENE et al., 1996; ANGERS; CHENU, 1997, FELLER; BEARE, 1997; BALESDENT; CHENU; BALABANE, 2000). Em vários ecossistemas e, especialmente nos agroecossistemas a formação e a destruição dos macroagregados que acompanham a variação da dinâmica sazonal ocorrem em um ritmo mais rápido do que a entrada de um novo C proveniente da cultura (PLANTE; FENG; MCGILL, 2002; SIX et al., 2004). Na área de estudo, o empobrecimento de C nos primeiros 30cm do solo parece refletir o que Balesdent, Chenu e Balabane (2000) denominaram como as três maiores ações que comandam a dinâmica da MOS: mudanças microclimáticas do solo, incorporação da MOS na matriz do solo e periódica quebra da estruturas pedológicas. Desta forma, nesta área de pastagem degradada a estabilização da MOS fica comprometida pelo tipo de solo e pela susceptibilidade as condições sazonais.

Finalmente quando se comparam os dois tipos de pastagem, manejada e degradada, determinou-se empobrecimento menos acentuado no solo da pastagem manejada em relação ao solo sob vegetação original de Cerrado e maior incorporação de C quando comparado com a pastagem degradada.

Em relação à origem do carbono, o enriquecimento ou empobrecimento no solo está acompanhado de mudanças nos valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$). Amparados no fato de que a história vegetativa da área de estudo é bem conhecida, as mudanças na assinatura ^{13}C da matéria orgânica originada de diferentes tipos de vegetação (C_3 e C_4) foram usadas para descrever a perda do C da vegetação nativa e a acumulação de C derivado da nova vegetação assim como

proposto por Cerri et al. (1985). A vegetação do Cerrado brasileiro é composta predominantemente por espécies arbóreas C_3 e gramíneas C_4 . Na área de estudo, a MOS da área recoberta por Cerrado apresentou $\delta^{13}C$ entre -26,08 e -26,33‰ na profundidade entre 0-10cm (média de -26,20‰, dp. 0,13) e entre -24,44 e -25,04‰ entre 20-30cm (média de -24,77‰, dp. 0,31) (Tabela 12). Os valores obtidos estão de acordo com aqueles determinados para as espécies arbóreas típicas do Cerrado com valores isotópicos de -27,76‰ e, localmente, podem coexistir com espécies arbóreas da floresta úmida que possui valores isotópicos de -28,44‰ (HOFFMANN et al., 2005).

O $\delta^{13}C$ da matéria orgânica dos solos atualmente usados com pastagem manejada, pastagem degradada e soja em rotação com milho diferem daqueles determinados sob Cerrado e indicam clara tendência de alteração da decomposição e incorporação da MOS nas áreas convertidas. Houve mudança nítida de incorporação de plantas C_4 originadas da gramínea forrageira *Brachiaria* spp. no solo convertido em pastagem manejada (15 anos de conversão) que apresentou $\delta^{13}C$ entre -12,85 a -13,39‰ (média de -13,37‰ entre 0-10cm e de -13,03‰ entre 20-30cm de profundidade). Valor isotópico similar foi determinado no solo com pastagem degradada (40 anos de conversão) que apresentou ^{13}C entre -13,50 e -14,62‰ (média de -14,15‰ entre 0-10cm e de -14,17‰ entre 20-30cm de profundidade). Na área cultivada com soja em rotação com milho (10 anos de conversão com sistema de plantio direto) foi determinado valor isotópico que indica mistura de vegetação resultante da incorporação no solo de raízes e resíduos de soja (C_3) e milho (C_4). Os valores mínimos e máximos obtidos nas profundidades entre 0-10 e 20-30cm foram, respectivamente, -14,81 e -20,54‰ (a média obtida nas profundidades entre 0-10cm foi de -18,21‰ e entre 20-30cm de -16,47‰) (Tabela 12).

Os resultados indicaram que após 15 e 40 anos de conversão do cerrado arbóreo em pastagens resultaram em modificações relacionadas ao decréscimo do teor e a substituição do C derivado MOS de espécies arbóreas C_3 pelo C da MOS derivado de gramíneas C_4 cultivadas ou não. A conversão em área agrícola não foi acompanhada por diminuição da taxa de carbono, mas na qualidade da MOS.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

Devido à conversão dos ecossistemas naturais em sistemas agrícolas e aos processos de degradação dos solos causados por processos erosivos, os solos do mundo vem perdendo de 55 a 90Pg de C (LAL, 2006). As grandes extensões das savanas tropicais são uma alternativa à expansão agrícola mesmo sendo considerada ecologicamente frágil e pouco adaptada a agricultura intensiva. No Cerrado, a fertilidade física e química dos solos é rapidamente afetada após a conversão da vegetação original em sistemas agrícolas e os teores de MOS, de C, N, S e P e atividade biológica são extremamente variáveis. A MOS influencia as diversas funções do solo e este corresponde a um dos maiores reservatórios do ciclo global do carbono.

Solos sob vegetação natural, geralmente acumulam carbono orgânico e o desmatamento causa profundas alterações no fluxo e na natureza do carbono, assim como influencia nos ciclos da água e dos outros elementos resultando em mudanças dos parâmetros de qualidade do solo e degradação. O desmatamento além de aumentar o estoque de C da atmosfera, interrompe a deposição de material orgânico e aumenta a decomposição da MOS estocada no solo, resultando em grande emissão de CO₂ e outros gases e perda da fertilidade química e física do solo.

Os resultados desta pesquisa mostraram que a conversão de uso e manejo das áreas originalmente recobertas com Cerrado sofreram nítidas transformações no teor e na natureza do carbono orgânico do solo. A partir da análise temporal de uso e ocupação do solo da bacia em estudo, pode-se concluir que até o ano de 1964, a vegetação original estava quase totalmente preservada (98,92% da área). Após a década de 60, as áreas que originalmente

eram recobertas com a vegetação original de Cerrado foram substituídas por agricultura e pastagens com diferentes técnicas de manejo. Essa expansão agrícola é uma consequência, principalmente, dos programas de incentivo governamentais, estabelecidos na década de 70.

A conversão das áreas sob vegetação de Cerrado em pastagens manejada (15 anos de uso) e degradada (40 anos de uso) resultaram numa diminuição do teor de carbono (C_{total}) – valores médios de 1,75% entre 0-10cm (solos sob Cerrado) reduz para 1,13% (sob pastagem manejada) e 0,64% (sob pastagem degradada); e entre 20-30cm valores médios de 0,86% (Cerrado) reduz para 0,7% (pastagem manejada) e 0,43% (pastagem degradada).

Com relação à natureza do carbono (^{13}C), nas áreas ocupadas por pastagens, seja com ou sem manejo, houve uma substituição do C da MOS de espécies C_3 do Cerrado em C de gramíneas C_4 quando comparadas com o solo de remanescente de Cerrado arbóreo – valores médios de -26,20‰ entre 0-10cm (solos sob Cerrado) variaram para média de -13,37‰ (pastagem manejada) e de -14,15‰ (pastagem degradada); e entre 20-30cm valores médios de -24,77‰ (Cerrado) variaram para média de -13,03‰ (pastagem manejada) e de -14,17‰ (pastagem degradada).

Na área de plantio de soja rotação com milho sob sistema de plantio direto, houve um enriquecimento da incorporação do C em superfície e subsuperfície – valores médios de 1,75% entre 0-10cm (solos sob Cerrado) aumenta para 2,23% (sob cultivo soja/milho); e entre 20-30cm valores médios de 0,86% (Cerrado) aumenta para 1,64% (cultivo soja/milho).

O valor isotópico ($\delta^{13}\text{C}$) da área de plantio de soja rotação com milho sob sistema de plantio direto revelou a presença de mistura de vegetação C_3 (soja) e C_4 (milho) – valores médios de -18,21‰ entre 0-10cm e -16,47‰ entre 20-30cm.

Além do manejo, a textura e a mineralogia dos solos influenciaram a dinâmica do C, visto que solos mais argilosos, sob sistema de plantio direto, apresentaram maior teor de carbono.

A sustentabilidade ambiental e agrícola não são determinadas por um único atributo porém, o declínio do teor e da natureza da matéria orgânica no solo indicam uma resposta do ecossistema em função do desmatamento e das técnicas de manejo adotada. Os resultados destes parâmetros podem indiretamente ser correlacionados com queda de fertilidade, baixa produção e incorporação de resíduos, excesso de revolvimento, erosão e mineralização aceleradas etc. A persistência da prática inevitavelmente conduzirá a um sistema agrícola pouco sustentável econômica ou ambientalmente.

Sistemas de produção agrícola sustentáveis têm que ser capazes de pelo menos manter o teor de MOS, do contrário a exploração levará à degradação. Do mesmo modo, intervenções recuperadoras precisam ser capazes de elevar os teores de MOS no solo. Em áreas degradadas dos trópicos, os níveis de MOS são geralmente baixos e isso representa uma perda das funções vitais do solo, comprometendo sua qualidade e capacidade de produzir alimentos e biomassa.

Considerando que o bioma Cerrado continua representando a área prioritária para a ampliação da produção do agronegócio brasileiro, o melhoramento das técnicas de cultivo para aumentar a MOS pode resultar em aumento da qualidade do solo e diminuição dos processos de

degradação. Embora a microbacia estudada não possa ser considerada como representativa da imensa área das savanas brasileiras, os resultados apresentados podem servir como indicadores da dinâmica do C% e C isotópico do solo quando os ecossistemas naturais são convertidos em sistemas agrícolas.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. *Contribuição à geomorfologia da área dos Cerrados*. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 1971, São Paulo. *Anais...* São Paulo: EDUSP, 1971. p. 97-103.

ADDISCOT, T. M. Entropy and sustainability. *European Journal of Soil Science*, Dordrecht, v. 46, p. 161-168, 1992.

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, 30p. Disponível em: <www.cpac.embrapa.br/download/329/t>. Acesso em: Julho, 2009.

AMADO, T. J. C.; RICE, C. W.; FABRIZZI, K.; NICOLOSO, R. S. O Solo Agrícola e o Mercado Internacional de Carbono. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). *Fundamentos da Matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 654p.

ANDREUX, F. Humus in world soils. In: PICCOLO, A. (Ed.). *Humic substances in terrestrial ecosystems*. Amsterdam: Elsevier, 1996. p. 45-100.

ANGERS, D. A.; CHENU, C. Dynamics of soil aggregation and C sequestration. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; FOLLET, R. F.; STEWART, B. A. (Eds.). *Soil Processes and the Carbon Cycle*. Boca Raton, FL: CRC Press, 1997. p.199-206.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6023: informação e documentação – referências – elaboração*. Rio de Janeiro, 2002.

_____. *NBR 10520: informação e documentação – citações em documentos – apresentação*. Rio de Janeiro, 2000.

_____. *NBR 14724: informação e documentação – trabalhos acadêmicos – apresentação*. Rio de Janeiro, 2002.

BACCARO, C. A. D. Estudos Geomorfológicos do Município de Uberlândia. *Sociedade & Natureza*, v. 5, n. 9 e 10, p. 9-24, jan./dez. 1993a.

_____. Os Estudos Experimentais Aplicados na Avaliação dos Processos Geomorfológicos de Escoamento Pluvial em Áreas de Cerrado. *Sociedade & Natureza*, v. 5, n. 9 e 10, p. 55-61, jan./dez. 1993b.

BALBINO, L. C.; BROSSARD, M.; LEPRUN, J. C.; BRUAND, A. Mise en valeur des Ferralsols de la région du Cerrado (Brésil) et évolution de leurs propriétés physiques: une étude bibliographique. *Étude et gestion des sols*, v. 9, p. 83-104, 2002.

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

BALESDENT, J.; MARIOTTI, A.; BOISGONTIER, D. Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from ^{13}C abundance in maize fields. *Journal of Soil Science*, v. 41, p. 587-596, 1990.

BALESDENT, J.; BALABANE, M. Maize root-derived soil organic matter estimated by natural ^{13}C abundance. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 24, p. 97-101, 1992.

_____. Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 28, p. 1261-1263, 1996.

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, B. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil & Tillage Research*, v. 53, p. 215-230, 2000.

BARCELLOS, A. O. Sistemas extensivos e semi-intensivos de produção pecuária bovina de corte nos cerrados. In: PEREIRA, R. C.; NASSER, L. C. B. (Eds.). SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO. Agosto, 1996, Brasília. *Anais...* Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. p.130–136.

BAYER, C. Desafios no manejo da material orgânica do solo e sequestro de C na agricultura conservacionista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. *Palestras...* Gramado: SBCS, 2007. Disponível em: <<http://www6.ufrgs.br/cbcs/palestras/CimelioBayer.pdf>>. Acesso em: Fevereiro, 2010.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO_2 . *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, p. 599-607, 2000.

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.

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

BEARE, M. H.; CABRERA, M. L.; HENDRIX, P. F.; COLEMAN, D. C. Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional-tillage and no-tillage soils. *Soil Science Society American Journal*, v. 58, p. 787-795, 1994.

BENNER, R.; FOGEL, M. L.; SPRAGUE, E. K.; HODSON, R. E. Depletion of ^{13}C in lignin and its implication for stable carbon isotope studies. *Nature*, v. 329, p. 708-710, 1987.

BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Brazil's soil carbon stocks. *Soil Science Society American Journal*, v. 66, p. 88-896, 2002.

BESNARD, E.; CHENU, C.; BALESSENT, J.; PUGET, P.; ARROUAYS, D. Fate of particulate organic matter in soil aggregates during cultivation. *European Journal of Soil Science*, v. 47, p. 495-503, 1996.

BOLINDER, M. A.; ANGERS, D. A.; GIROUX, M.; LAVERDIÈRE, M. R. Estimating C inputs retained as soil organic matter from corn (*Zea mays* L.). *Plant Soil*, v. 215, p. 85-91, 1999.

BOURLIÈRE, F.; HADLEY, M. Present-day savannas: an overview. In: GOODALL, D. W. (Ed.). *Ecosystems of the world - tropical savannas*. Amsterdam: Elsevier, 1983. p.1-17.

BRASIL. Ministério do Exército. Diretoria de Serviço Geográfico – DSG. *Carta militar*. Folhas SE:22-Z-B-VI-3-SE, SE:22-Z-B-VI-4- SO, SE:22-Z-B-VI-4-SE, SE:22-Z-D-III-1-NE, SE:22-Z-D-III-2-NO, SE:22-Z-D-III-2-NE, SE:22-Z-D-III-1-SE, SE:22-Z-D-III-1-SO, SE:22-Z-D-III-1-NE, SE:22-Z-D-III-2-SO, SE:22-Z-D-III-2-NE, SE:22-Z-D-III-3-NE, SE:22-Z-D-III-4-NO, SE:22-Z-D-III-4-NE, Brasília: DSG, 1983. (Escala 1:25.000).

BRITO, J. L. S. *Adequação das potencialidades do uso da terra na Bacia do ribeirão Bom Jardim no Triângulo Mineiro (MG): Ensaio de Geoprocessamento*. 2001. 184p. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BROSSARD, M.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. Des indicateurs d'évolution du milieu et des sols pour rendre durable l'usage des savanes d'Amérique du Sud. *Natures Sciences Sociétés*, v. 13, p. 266-278, 2005.

BROWN, S.; LUGO, A. E. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. *Biotropica*, v. 14, p. 161-187, 1982.

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.

CADAVID GARCIA, E. A. Desenvolvimento Econômico Sustentável do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 30, n. 6, p. 759-774, jun. 1995.

CADISCH, G.; GILLER, K. Estimating the contribution of legumes to soil organic matter build up in mixed communities of C₃/ C₄ plants. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 28, p. 823-825, 1996.

CALDEIRA, K.; MORGAN, G.; BALDOCCHI, D.; BREWER, P.; CHEN, C. T. A.; NABUURS, G. J.; NAKICENOVIC, N.; ROBERTSON, P. A. Portfolio of carbon management options. In: FIELD, C. B.; RAUPACH, M. (Ed.). *Towards CO₂ Stabilization: Issues, Strategies, and Consequences*. A SCOPE report. Scientific Committee on Problems in the Environment. Washington, DC: Island Press, 2004. p. 103-129.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, v. 56, p. 777-783, 1992.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 19, p.121-126, 1995.

CARVALHO, P.G.S. As Veredas e sua importância no domínio dos cerrados. *Informe Agropecuário*, v. 168, p. 47-54, 1991.

CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; GODINHO, V. P.; HERPIN, U.; CERRI, C. C. Conversion of Cerrado into Agricultural Land in the South-Western Amazon: Carbon Stocks and Soil Fertility. *Sci. Agric.*, v. 66, n. 2, p. 233-241, 2009.

CERRI, C. C. *Dinâmica da matéria orgânica do solo no agrossistema cana de açúcar*. 1986. 197p. (Tese de Livre docência) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

CERRI, C.; FELLER, C.; BALESSENT, J.; VICTORIA, R.; PLENECASSEGNE, A. Application du traçage isotopique naturel en ^{13}C , à l'étude de la dynamique de la matière organique dans les sols. *C.R. Acad. Sci. Paris*, v. 11, n. 9, p. 423-428, 1985.

CERRI, C.C.; ANDREUX, F.G. Changes in organic carbon content in oxisols cultivated with sugar cane and pastures based on ^{13}C natural abundance measurement. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 14., Kyoto, 1990. *Anais...* Kyoto: ISSS, 1990. p. 98-103.

CERRI, C. E. P.; COLEMAN, K.; JENKINSON, D. S.; BERNOUX, M.; VICTORIA, R.; CERRI, C. C. Modeling soil carbon from forest and pasture ecosystems of Amazon, Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 67, p. 1879-1887, 2003.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; CERRI, C. E. P.; LAL, R. Challenges and Opportunities of Soil Carbon Sequestration in Latin América. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, E. *Carbon Sequestration in Soils of Latin America*. Haworth Press, 2006. p. 41-48.

CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Agricultura e aquecimento global. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 40-44, 2007.

CERRI, C. E. P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. *Sci. Agri.*, v. 64, n. 1, p. 83-99, 2007.

CONCEIÇÃO, P. C. *Agregação e proteção da matéria orgânica em dois solos do Sul do Brasil*. 2006. 138f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 425-432, 1999.

COSTA, F. P. M. *Utilização de Sistemas de Informação Geográfica na Identificação de Áreas Vulneráveis à Contaminação do Lençol Freático: o caso da bacia do alto e médio curso do rio Uberabinha – MG*. 2009. 136f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, 2009.

CURI, N.; FRANZMEIER, D. P. Toposequence of oxisols from the Central Plateau of Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, v. 48, n. 2, p. 341-346, 1984.

DALAL, R. C.; MAYER, R. J. Long-term trends in fertility of soil under continuons cultivation and cereal cropping in Southern Queensland: II. Total organic carbon and its rate loss from soil profile. *Australian Journal of Soil Research*, Melbourne, v. 24, p. 281-292, 1986.

DEINES, P. The isotopic composition of reduced organic carbon. In: FRITZ, P.; FONTES, J. C. (Eds.). *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*, Amsterdam: Elsevier, v. 1, 1980. p.329-406.

DIECKOW, J.; BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. Sistemas conservacionistas de preparo do solo e implicações no ciclo de carbono. *Documentos 12*. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004. 17 p. Disponível em: <http://www.cnpdia.embrapa.br/_publicacoes.html>. Acesso em: Setembro, 2009.

DORAN, J. W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. *CD Room...* Rio de Janeiro: SBCS, 1997.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (Eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: ASA/SSSA, 1994. p. 3-21.

DUXBURY, J. M.; SMITH, M. S.; DORAN, J. W. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (Eds.). *Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems*. University of Hawaii Press, Honolulu, 1989.

EGOH, B.; REYERS, B.; ROUGET, M.; BODE, M.; RICHARDSON, D. M. Spatial congruence between biodiversity and ecosystem services in South Africa. *Biol. Conserv.*, v. 142, p. 553-562, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

_____. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema Brasileiro de Classificação de solos*. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.

_____. *Projeto Carbono RJ*. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/carbono/antecedentes/antecedentes.html>>. Acesso em: Setembro, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS – EPAMIG. *Levantamento de reconhecimento de média de intensidade de solos e avaliação da aptidão agrícola das terras no Triângulo Mineiro*. Rio de Janeiro: Embrapa/SNLCS. 1982. 526p. (Boletim de Pesquisa, 1).

FARAHBAKHSHAZAD, N.; DINNES, D. L.; CHANGSHENG, L.; JAYNES, D. B.; SALAS, W. Modeling biogeochemical impacts of alternative management practices for a row-crop field in Iowa. *Agriculture Ecosystems & Environment* (In Press), v. 123, p. 30-48, 2008.

FARQUHAR, G. D.; EHLERINGER, J. R.; HUBICK, K. T. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology*, v. 40, p. 503-537, 1989.

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

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

FELTRAN FILHO, A. *A estruturação das paisagens nas chapadas do Oeste Mineiro*. 1997. 251p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

FENG, H.; KURKALOVA, L. A.; KLING, C. L.; GASSMAN, P. W. *Environmental conservation in agriculture: Land retirement versus changing practices on working land* (04-WP 365). Ames, IA: Iowa State University Center for Agricultural and Rural Development. 2004. 38p. Disponível em: <<http://www.card.iastate.edu/publications/DBS/PDFFiles/04wp365.pdf>>. Acesso em: Fevereiro, 2010.

FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROUY, M. C.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 35, p. 157-170, 2000.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Agronomy Series, v. 9, 1986. p. 383-411.

GOOGLE EARTH 5. *Image 2009 / Digital Globe. 2009 Cnes / Spot Image. 2009 Map Link / Tele Atlas*. Disponível em: <http://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/download/ge/>. Acesso em: Maio, 2009.

GUIMARÃES, A. J. M.; ARAÚJO, G. M.; CORRÊA, G. F. Estrutura fitossociológica em área natural e antropizada de uma vereda em Uberlândia, MG. *Acta Botânica Brasílica*, v. 16, p. 317-329, 2002.

GREGORICH, E. G.; ELLERT, B. H.; MONTREAL, C. M. Turnover of soil organic matter and storage of corn residue carbon estimated from natural ^{13}C abundance. *Canadian Journal Science*, v. 75, p. 161-167, 1995.

HASUI, Y. *Geologia das Formações Cretáceas do Oeste de Minas Gerais*. 1967. 87p. Tese (Doutorado em Ciências Geológicas) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1967.

HOFFMANN, W. A.; FRANCO, A. C.; MOREIRA, M. Z.; HARIDASAN, M. Specific leaf area explains differences in leaf traits between congeneric savanna and forest trees. *Functional Ecology*, v. 19, p. 932-940, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. *Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação*. Brasília, 1990. 96p.

_____. *Ecosystemas Brasileiros: Projetos de Conservação e Manejo de Ecosystemas*. 2003. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/cerrado.htm>. Acesso em: Agosto, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Geociências – mapas – ortofotos – Projeto São Paulo / Minas Gerais / Goiás*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em: Abril, 2009.

INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO ESTADO DE MINAS GERAIS. *Fundação Estadual do Meio Ambiente*. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2008 (Ano base 2005). 104p. Disponível em: http://www.feam.br/images/stories/arquivos/mudnacaclimatica/inventario_gee%5B1%5D.pdf. Acesso em: Novembro/2009.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. *Catálogo de imagens Landsat*. Disponível em: <http://www.inpe.br>. Acesso em: Abril, 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *SPRING*: Manual do usuário. São José dos Campos: INPE, 1993.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *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 Tecnico*. 2007. Disponível em: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg3_report_mitigation_of_climate_change.htm. Acesso em: Abril, 2009.

_____. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. 2006. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm>. Acesso em: Outubro, 2009.

JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. *Soil Till. Res.*, v. 95, p. 97–109, 2007.

JASTROW, J. D.; BOUTTON, T. W.; MILLER, R.M. Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbon-13 natural abundance. *Soil Science Society of America Journal*, v. 60, p. 801-807, 1996.

JENKINSON, D. S.; RAYNER, J. H. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil Science*, v. 123, p. 298-305, 1977.

JEPSON, W. A disappearing bioma? Reconsidering land-use cover change in the Brazilian savanna. *The Geographical Journal*, v. 171, n. 2, p. 99-111, 2005.

KHONKE, H. *Soil physics*. 2.ed. New York: MacGraw Hill, 1969. 224p.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of brazilian cerrado. *Conservation Biology*, v. 19, p. 707-713, 2005.

KRULL, E.; SKJEMSTAD, J. O. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ profiles in ^{14}C - dated Oxisol and Vertisols as a function of soil chemistry and mineralogy. *Geoderma*, v. 112, p. 1-29, 2003.

LAL, R. Why carbon sequestration in agricultural soils?. In: KIMBLE, J. M.; LAL, R.; FOLLETT, R. F. (Eds.). *Agricultural Practices and Policies for Carbon Sequestration in Soil*. Boca Raton, FL: Lewis Publishers/CRC Press, 2002. p. 21-30.

_____. Global potential of carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. *Critical Reviews in Plant Sciences*, Boca Raton, v. 22, n. 2, p. 151-184, 2003.

_____. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. *Land Degradation and Development*, v. 17, p. 197-209, 2006.

LAL, R.; PIRCE, F. J. The vanishing resource. In: LAL, R.; PIRCE, F. J. (Eds.). *Soil management for sustainability*. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1991, p.1-5.

LAL, R.; KIMBLE, J.; FOLLETT, R. F. Pedospheric processes and the carbon cycle. In: LAL, R.; BLUM, W. H.; VALENTINE, C.; STEWART, B. A. (Eds.). *Methods for Assessment of Soil Degradation*. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 1-8.

LAL, R.; KIMBLE, J.; COLE, V. C.; FOLLETT, R. F. *The Potential of U.S. Cropland to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect*. Ann Arbor Press, Ann Arbor, Michigan, 1998. 128p.

LARSON, W. E.; PIRCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W. et al. (Eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: ASA/SSSA, 1994. p.37-51.

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*, v. 28, p. 347-358, 2004.

LIMA, S. do C.; ROSA, R.; FELTRAN FILHO, A. Mapeamento do uso do solo no município de Uberlândia–MG, através de imagens TM/LANDSAT. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia: EDUFU, v. 1, n. 2, p. 127-145, 1989.

LIMA, S.do C.; QUEIROZ NETO, J.P. As veredas e a evolução do relevo. *Sociedade & Natureza*, v. 15, p. 481- 488, 1996.

LIMA, S.do C.; QUEIROZ NETO, J.P.; 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.

LOPES, A. S. Soils under Cerrado: a success story in soil management. *Better Crops Int.*, v. 10, p. 9-15, 1996.

LUDWIG, B.; JOHN, B.; ELLERBROCK, R.; KAISER, M.; FLESSA, H. Stabilisation of carbon from maize in a sandy soil in a long-term experiment. *European Journal of Soil Science*, v. 54, p. 117-126, 2003.

MACEDO, J.; BRYANT, R. B. Morphology, Mineralogy, and Genesis of a hydrosequence of Oxisols in Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, v. 51, p.690-698, 1987.

MACHADO, P. L. O. A. Carbono do Solo e a Mitigação da Mudança Climática Global. *Quim. Nova*, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MAGALHÃES, A. C. N. Fotossíntese. In: FERRI, M. G. (Ed.). *Fisiologia Vegetal*. São Paulo: EPU, 1985. p.117-168.

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

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

MENDES, P. C. *Gênese e estrutura espacial das chuvas na cidade de Uberlândia / MG*. 2001. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2001.

MIELNICZUK, J. Desenvolvimento de sistemas de culturas adaptadas à produtividade, conservação e recuperação de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 1988, Rio de Janeiro, *CDRom...* Rio de Janeiro: SBSCS, 1988.

MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. *Ecosystems and human well-being: general synthesis*. Washington: Island Press, 2005. 765p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. *Ações prioritárias para a conservação da biodiversidade no Cerrado e Pantanal*. Brasília, DF, 1999.

_____. *Projeto de Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros por Satélite*. Disponível em:

<www.mma.org.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=201&idConteudo=8448&idMenu=8982>. Acesso em: Abril, 2010.

MONTEIRO, C. A. F. Notas para o estudo do Clima do Centro Oeste brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, p. 3-46, 1951.

MUNSELL SOIL COLOR CHARTS. *Tabela de Cores Munsell*, 1998.

NISHIYAMA, L. Geologia do Município de Uberlândia e Áreas adjacentes. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, v. 1, n. 1, p. 9-16, jan/dez. 1989.

NISHIYAMA, L.; BACCARO, C. A. D. Aproveitamento dos recursos minerais nas regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba – Uma agressão ao meio ambiente. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, v. 1, n. 1, p. 49-52, jan/dez. 1989.

NISHIYAMA, L. *Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análises e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1:100.000: aplicação no município de Uberlândia – MG*. 1998. 372p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Geotecnia) – Universidade Estadual de São Paulo, São Carlos, 1998.

NOVO, E. M. L. M. *Projeto UTVAP – Análise comparativa entre fotografias convencionais e imagens de satélite, para fins de levantamento de uso da terra*. São José dos Campos: INPE, 1978.

OADES, J. M.; GILLMAN, G. P.; UEHARA, G. Interactions of soil organic matter and variable-charge clays. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (Eds.). *Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems*. Honolulu: Hawaii Press, 1989. p.69-95.

OADES, J. M. An overview of processes affecting the cycling of organic carbon in soils. In: ZEPP, R. G.; SONNTAG, C. (Eds.). *The Role of Non-Living Organic Matter in the Earth's Carbon Cycle*. Wiley, New York: Dahlem Workshop Reports, 1995. p.293-303.

PARFITT, R. L.; THENG, B. K. G.; WHITTON, J. S.; SHERPHERD, T. G. Effect of clay minerals and land use on organic matter pools. *Geoderma*, v. 75, p. 1-12, 1997.

PAUSTIAN, K.; BABCOCK, B. A.; HATFIELD, J.; KLING, C. L.; LAL, R.; MCCARL, B. A.; MCLAUGHLIN, S.; MOSIER, A. R.; POST, W. M.; RICE, C. W.; ROBERTSON, G. P.; ROSENBERG, N. J.; ROSENZWEIG, C.; SCHLESINGER, W. H.; ZILBERMAN, D. *Climate change and Greenhouse Gas Mitigation: Challenges and Opportunities for Agriculture*. Ames, IA: Council for Agricultural Science and Technology (Task Force Report No. 141). 2004. 120p. ISBN 1-887383-26-3.

PENDELL, D. L.; WILLIAMS, J. R.; RICE, C. W.; NELSON, R. G.; BOYLES, S. B. Economic feasibility of no-tillage and manure for soil carbon sequestration in corn production in Northeastern Kansas. *Journal Environmental Quality*, Madison, v. 35, p.1364-1373, 2006.

PLANTE, A. F.; FENG, Y.; MCGILL, W. B. A modeling approach to quantifying soil macroaggregate dynamics. *Can. J. Soil Sci.*, v. 82, p. 181-190, 2002.

POST, W. M.; KWON, K. C. Soil carbon sequestration and land-use change: process and potential. *Global Change Biology*, v. 6, p. 317-327, 2000.

PROBIO. *Mapeamento da Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado: Relatório Final*. Brasília/DF. Junho, 2007. 93p.

RADAMBRASIL. *Folha SE-22. Goiânia: Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra*. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia / Secretaria Geral, v. 31. 1983. 768p.

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T.; MARTINS, E. S. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. D; RIBEIRO, J. F. (Eds.). *Cerrado – Ecologia e Flora*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, v.1, 2008. p.107-133.

RESCK, D. V. S. O potencial de seqüestro de carbono em sistemas de produção de grãos sob plantio direto no Cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE PLANTIO DIRETO E MEIO AMBIENTE: Seqüestro de Carbono e Qualidade da Água, 1. Foz do Iguaçu. *Anais... Foz do Iguaçu*: FEBRAPDP/Itaipu Nacional, 2005. p. 72-80.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de. (Eds.). *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. p. 89-166.

RICE, C. Introduction to special section on greenhouse gases and carbon sequestration in agriculture and forestry. *Journal Environmental Quality*, Madison, v. 35, p.1338-1340, 2006.

RICE, C.; REED, D. *Soil carbon sequestration and greenhouse gas mitigation: a role for American agriculture*. Bipartisan Policy Center, Library, report. 2007. 35p. Disponível em: <<http://www.bipartisanpolicy.org/library/report/soil-carbon-sequestration-and-greenhouse-gas-mitigation-role-american-agriculture>>. Acesso em: Maio, 2010.

ROSA, R. *Introdução ao Sensoriamento Remoto*, 5. ed. Uberlândia: EDUFU, 2003. 238p.

_____. *Introdução ao Sensoriamento Remoto*, 6. ed. Uberlândia: EDUFU, 2007.

ROSA, R., LIMA, S. C.; ASSUNÇÃO, W. L. Abordagem preliminar das condições climáticas de Uberlândia-MG. *Sociedade & Natureza*, v. 3, n. 5 e 6, p. 91-108, 1991.

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.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. *Soil Till. Res.*, v. 104, p. 185-202, 2003.

RUTTAN, V.W. Sustainable Growth in Agricultural Production: Poetry, Policy and Science. In: TEIXEIRA, E. C. (Ed.). *Desenvolvimento agrícola na década de 90 e no século XXI*. 1993.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; LAL, R.; DICK, W. A.; VENZKE FILHO, S.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Science Society of America Journal*, v. 65, p. 1486-1499, 2001.

SANO, E. E.; CHAVES, J. M.; BEZERRA, H. S.; FEITOZA, L. Identificação dos principais tipos de pastagens cultivadas do Cerrado a partir de Sensoriamento Remoto. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM: Soil Functioning under Pastures in Intertropical Areas, 2000, Brasília. *Anais...* Brasília: Embrapa Cerrados - IRD, 2000.

SAVIDAN, Y.; JANK, J. DE; SOUZA, F. H. D.; BOOK, A. Preliminary evaluation of *Panicum maximum* germplasm in Brazil. In: INTERNATIONAL AGRONOMY RESEARCH PROGRAM. Proc. XVth. Int. Grassl. Congress, Kyoto, Japan, 1985. p.117-118.

SCHNEIDER, M.O. *Bacia do Rio Uberabinha: Uso agrícola do solo e meio ambiente*. 1996. 157p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

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 áreas 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 em: Outubro, 2009.

SILVA, J. E. da.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de Cerrados do oeste Baiano. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v. 18, p. 541–547, 1994.

SILVA, J. E. da.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. *Biologia dos solos dos cerrados*. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1997. p.467-524.

SILVA, J. E. da.; RESCK, D. V. S.; CORAZZA, E. J.; VIVALDI, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the “Cerrado” region, Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 103, p. 357-363, 2004.

SINGH, B. R.; LAL, R. The potential of soil carbon sequestration through improves management practices in Norway. *Environmental, Development and Sustainability*, v. 7, p. 161-184, 2005.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil Tillage Research*, v. 76, p. 39-58, 2004.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. *Microorganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental*. Brasília: EMBRAPA, 1994. 142p.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S. M.; SA, J. C. M.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils effects of no-tillage. *Agronomie*, v. 22, p. 755-775, 2002.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYSE, S.; DENEFF, K. A history of research of the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research*, v. 79, p. 7-31, 2004.

SKENE, T. M.; SKJEMSTAD, J. O.; OADES, J. M.; CLARKE, P. J. The influence of inorganic matrices on the decompositions of straw. *Aust. J. Soil Res.*, v. 34, p. 413-426, 1996.

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

SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H.; KUMAR, P.; MCCARL, B.; OGLE, S.; O'MARA, F.; RICE, C.; SCHOLLES, B.; SIROTENKO, O.; HOWDEN, M.; MCALLISTER, T.; PAN, G.; ROMANENKOV, V.; SCHNEIDER, U.; TOWPRAYOON, S.; WATTENBACH, M.; SMITH, J. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of Royal Society Biological Sciences*, v. 363, p.789-813, 2007. Disponível em: <<http://rstb.royalsocietypublishing.org/subscriptions>>. Acesso em: Maio, 2009.

TARRÉ, R. M.; MACEDO, R.; CANTARUTTI, R. B.; RESENDE, C. P.; PEREIRA, J. M.; FERREIRA, E.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. The effect on the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region on the south of Bahia, Brazil. *Plant and Soil*, v.234, p. 15-26, 2001.

THENG, B. K. G. Soil Structure and Aggregate Stability. In: RENGASAMY, P. (Ed.). *Seminar Proceedings*. Tatura, Australia: Institute of Irrigation and Salinity Research, 1987.

THENG, B. K. G.; TATE, K. R.; SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: COLEMAN, D. C. et al. (Eds.). *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu: NifTAL Project, 1989. p. 5-32.

TILMAN, D.; FARGIONE, J.; WOLFF, B. et al. Forecasting agriculturally driven Global Environmental change. *Science*, v. 292, p. 281-284, 2001.

TILMAN, D.; CASSMAN, K. G.; MATSON, P. A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, v. 418, p. 671-677, 2002.

TISDALL, J.M. Formation of soil aggregates and accumulation of soil organic matter. In: CARTER, M.R.; STEWART, B.A. (Ed.). *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. Lewis, Boca Raton: CRC Press, 1996. p. 57-96.

URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; ZOTARELLI, L.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Manejo de sistemas agrícolas para seqüestro de carbono no solo. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Ed.). *Processos Biológicos no Sistema Solo-Planta*. Brasília, D.F.: Embrapa, 2005. p. 323-342.

VOLKOFF, B. Organisations régionales de la couverture pédologique du Brésil. Chronologie des différenciations. *Cah. Orstom, sér. Pédologie*, v. XXI, p. 225-236, 1985.

WANIEZ, P. *Les Cerrados, un "espace frontière" brésilien*. Montpellier: G.I.P. RECLUSORSTOM, 1992. 344 p.

WILLIAMS, J. R.; ROTH, T. W.; CLAASSEN, M. M. Profitability of alternative production and tillage strategies for dryland wheat and grain sorghum in the central Great Plains. *Journal of Soil and Water Conservation*. Ankeny, v. 55, p. 49-56, 2004.