



Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Humanas
Departamento de Geografia
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais

**AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE EROSIVA DA BACIA
DO RIO CARINHANHA (MG/BA) POR MEIO DA EUPS –
EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS**

Kelly Maria Resende Borges

Orientador: Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior
Co-orientador: Dr. Roberto Arnaldo Trancoso Gomes

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Brasília-DF, maio de 2009



Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Humanas
Departamento de Geografia
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais

KELLY MARIA RESENDE BORGES

**AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE EROSIVA DA BACIA
DO RIO CARINHANHA (MG/BA) POR MEIO DA EUPS –
EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS**

Dissertação de Mestrado submetida ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Geografia, área de concentração Gestão Ambiental e Territorial, linha de pesquisa Geoprocessamento para a Gestão Territorial e Ambiental.

Orientador: Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior
Co-orientador: Dr. Roberto Arnaldo Trancoso Gomes

Brasília, maio de 2009



Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Humanas
Departamento de Geografia
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais

KELLY MARIA RESENDE BORGES

**AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE EROSIVA DA BACIA
DO RIO CARINHANHA (MG/BA) POR MEIO DA EUPS –
EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS**

Dissertação de Mestrado aprovada pela banca examinadora constituída por:

Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior – Universidade de Brasília
(Orientador)

Dr. Éder de Souza Martins – Embrapa Cerrados
(Examinador Externo)

Dr. Roberto Rosa – Universidade Federal de Uberlândia
(Examinador Externo)

Dr. Roberto Arnaldo Trancoso Gomes – Universidade de Brasília
(Co-orientador - Suplente)

Brasília, 13 de maio de 2009

FICHA CATALOGRÁFICA

BORGES, KELLY MARIA RESENDE BORGES

Avaliação da susceptibilidade erosiva da Bacia do Rio Carinhanha (MG/BA) por meio da EUPS – Equação Universal de Perda de Solos, 68 p., 297 mm, (UnB-GEA, Mestre, Gestão Ambiental e Territorial, 2009).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Departamento de Geografia.

- | | |
|--------------------------|---------------------|
| 1. Erosão | 2. EUPS / USLE |
| 3. Fragilidade Ambiental | 4. Geoprocessamento |
| I. UnB-IH-GEA | II. Título (série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Borges, Kelly Maria Resende. **Avaliação da susceptibilidade erosiva da Bacia do Rio Carinhanha (MG/BA) por meio da EUPS – Equação Universal de Perda de Solos.** (Dissertação de Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Geografia. Universidade de Brasília, 2009. 68p.

CESSÃO DE DIREITOS

Nome do autor(a): Kelly Maria Resende Borges

Título da dissertação: Avaliação da susceptibilidade erosiva da Bacia do Rio Carinhanha (MG/BA) por meio da EUPS – Equação Universal de Perda de Solos

Grau/ano: Mestre/2009

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Kelly Maria Resende Borges

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

Em primeiro lugar à minha família, pelo apoio em todos os momentos da minha vida, em especial aos meus pais Fernando e Neiva.

Ao meu companheiro Jorge Piccolo, por todo o apoio, carinho, paciência e principalmente pela compreensão durante essa longa jornada que é o mestrado.

Ao meu orientador Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior pelas correções, troca de informações, bases de dados e material bibliográfico. Ao co-orientador Dr. Roberto Arnaldo Trancoso Gomes por todas as contribuições dadas neste trabalho.

Aos Drs. Éder de Souza Martins e Renato Fontes Guimarães, cujas dicas e explicações foram fundamentais para o andamento deste trabalho.

À Clarisse Lacerda Mata pelo companheirismo, amizade e preciosa ajuda na elaboração da dissertação, no trabalho de campo e em todos os momentos do curso de mestrado.

Ao pessoal do LSIE, em especial a Leonardo Freitas e Verônica Ramos, por toda a ajuda concedida e principalmente pela amizade. Também a Elisabete Silveira, Miriam Rodrigues, Antonio Felipe, Sandro Nunes, Marcus Fábio, Vinicius Vasconcelos, Otacílio Antunes e todos os outros colegas, pelas sugestões, correções e pelo aprendizado que me proporcionaram durante todo o desenvolvimento da dissertação.

Ao IBAMA, em especial ao Centro de Sensoriamento Remoto, por todo apoio para a realização do curso de mestrado, bem como pelo apoio logístico durante o trabalho de campo.

À EMBRAPA Cerrados pela realização das análises das amostras de solos, com o auxílio do geógrafo Vinicius Vasconcelos. Ao biólogo Wellington Bastos, pelo apoio no trabalho de campo.

Aos colegas e amigos do mestrado, em especial à Karla Christina, Ananda, Bruno, Leila, Cláudia Varizo e Sérgio Noronha por compartilhar anseios e experiências.

Ao Professor Neio Campos pelos momentos de “terapia em grupo” durante sua disciplina, que ajudaram muito no fechamento do projeto final.

Aos amigos Lara Steil e Marcelo Cegonha pela preciosa ajuda no abstract deste trabalho.

A todos os meus amigos pelos momentos de descontração, essenciais para a manutenção da sanidade durante a realização deste trabalho.

Aos professores da Universidade Federal de Uberlândia, responsáveis pela minha graduação em Geografia, em especial ao Dr. Luiz Nishiyama, profissional exemplar que sempre será meu grande mestre, e ao Dr. Roberto Rosa, pelos ensinamentos nos tempos de faculdade e por ter aceito participar desta banca.

E a todos aqueles que de alguma forma colaboraram para a consolidação deste trabalho.

Muito obrigada.

Resumo

Uma das formas de se analisar a susceptibilidade de uma área à erosão de forma rápida e econômica é através da aplicação de modelos matemáticos, dentre os quais o mais conhecido e utilizado é a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), cujos fatores analisados são: a erosividade da chuva (Fator R), a erodibilidade do solo (Fator K), o comprimento de rampa (Fator L), a declividade da vertente (Fator S), a cobertura e o manejo (Fator C), e as práticas conservacionistas (Fator P). O objetivo geral do trabalho foi mapear e analisar a susceptibilidade erosiva da Bacia do Rio Carinhanha, através da aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), a fim de subsidiar o planejamento territorial ambiental na área. A Bacia do Rio Carinhanha é tributária da Bacia do Rio São Francisco, tem aproximadamente 1.700.000 hectares, e faz parte do Bioma Cerrado, um dos mais ameaçados pela intensificação do uso do solo e retirada da vegetação natural. A metodologia utilizou dados de chuva das estações pluviométricas para a obtenção do Fator R. Para obtenção do Fator K foi gerado um novo Mapa de Solos, mais detalhado, a partir do mapa pré-existente e das análises das amostras de solo coletadas em campo. Para a obtenção do Fator Topográfico (LS) foi utilizado o MDT, gerado através de ferramentas de SIG. Dados de Sensoriamento Remoto foram utilizados para a obtenção dos Fatores CP. A aplicação da EUPS permitiu uma avaliação qualitativa do potencial erosivo e da erosão atual na Bacia do Carinhanha. A área possui uma baixa taxa de erosão atual por possuir boas condições de cobertura vegetal natural. No entanto, se essa cobertura continuar sofrendo grandes alterações, o cenário pode mudar. Os resultados mostram a distribuição espacial das áreas propensas à erosão na bacia, onde práticas conservacionistas podem ser satisfatórias na prevenção da perda de solo por erosão. Esta análise é importante para o planejamento ambiental, e pode dar subsídio ao estabelecimento de cenários que visem o desenvolvimento sustentável da bacia.

Palavras chave: Erosão laminar, EUPS, Bacia Rio Carinhanha.

Abstract

Mathematical models are suitable for a quick and economical assessment of erosion susceptibility. The Universal Soil Loss Equation (USLE), one of the most well-known and used models, predicts erosion susceptibility based on rainfall erosivity (R-factor), slope length (L-factor), slope-steepness (S-factor), cover and management (C-factor), and support practice (P-factor). The aim of this work was to analyze and map erosion susceptibility of Carinhanha River Basin applying the The Universal Soil Loss Equation (USLE) in order to support territorial environmental planning. Cariranha River Basin, with 1,700,000 hectares, is a tributary of São Francisco River and is located on Cerrado Biome, one of the most threatened with the intensification of land use and removal of natural vegetation. The methodology used rainfall data from pluviometric stations in order to obtain R-factor. K-factor was achieved by making a more detailed map from the previous map and the analysis of soil samples collected. In order to obtain Topographic Factor (LS), DEM was made from GIS tools. Remote Sensing data provided information for CP factors. The USLE application enabled a qualitative assessment of erosion potential, as well as, the actual erosion in Carinhanha Basin. The area has a low rate of erosion due to its current natural vegetation cover. However, the scenario would change if modifications continue to be done in natural vegetaiton. The results show the spatial distribution of susceptible areas where conservation practices can be suitable in preventing loss of soil by erosion. This analysis is important for environmental planning and provide data for the establishment of sustainable development scenarios in the basin.

Key-words: Laminar Erosion, USLE, Carinhanha Basin.

Sumário

Resumo	ii
Abstract	iii
Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas.....	vi
Lista de Fotos.....	vi
Lista de Siglas e Abreviaturas.....	vii
Capítulo 1 – Introdução.....	1
Capítulo 2 – Revisão teórica.....	4
2.1 - Bacia hidrográfica como unidade de estudo.....	4
2.2 – Expansão da ocupação na região do Cerrado	4
2.3 – Erosão do solo	6
2.4 – Modelos de cálculo de perda de solos	9
Capítulo 3 – Caracterização da Bacia do Rio Carinhanha.....	11
3.1 – Aspectos Sócio-Econômicos	12
3.2 – Aspectos Físicos	14
3.2.1 – Clima	14
3.2.2 – Geologia	15
3.2.3 – Solos.....	18
3.2.4 - Geomorfologia	21
3.2.5 – Vegetação	22
Capítulo 4 – Metodologia.....	25
4.1 – Erosividade da Chuva – Fator R.....	25
4.1.1 - Procedimentos para a elaboração do Mapa de Erosividade da bacia do Carinhanha	27
4.2 – Erodibilidade do solo – Fator K.....	31
4.2.1. Procedimentos para a elaboração do Mapa de Erodibilidade da bacia do Carinhanha	33
4.3 – Fator Topográfico (LS).....	34
4.3.1 – Elaboração do Modelo Digital do Terreno e Mapas derivados.....	35
4.3.2. Procedimentos para o Cálculo do Fator LS na bacia do Carinhanha	36
4.4 – Uso e manejo da terra e práticas conservacionistas - Fator CP	37
4.4.1 – Classificação das Imagens de Satélite	40
4.4.2 – Trabalho de Campo	41
Capítulo 5 – Resultados Obtidos.....	42
5.1 – Fator R – Erosividade da Chuva	42
5.2 – Fator K.....	45
5.2.1 – Mapa de Solos	45
5.2.2 - Mapa do Fator K	49
5.3 – Fatores LS.....	51
5.3.1 – MDT e mapas derivados.....	51
5.3.2 – Mapa do Fator LS	54
5.4 – Potencial Natural à Erosão Laminar (Ep)	56
5.5 – Fatores CP	58
5.5.1 – Mapa de uso de terra e cobertura vegetal	58
5.5.2 - Mapa do Fator CP	66
5.6 – Erosão atual na bacia do Carinhanha.....	67
Capítulo 6 – Considerações Finais.....	72
Referências Bibliográficas	74

Lista de Figuras

Figura 01 – Bacias dos rios São Francisco e Carinhanha e limite dos Biomas, segundo IBGE.	2
Figura 02 – Fatores e causas que determinam a qualidade e a sustentabilidade do solo (Lal, 1999).	8
Figura 03 – Localização da sub-bacia do Rio Carinhanha.	11
Figura 04 – Limites Político-administrativos – Bacia do Rio Carinhanha (Fonte: IBGE).	12
Figura 05 – Mapa de Clima – Sub-bacia do Rio Carinhanha (Fonte: CODEVASF).....	15
Figura 06 – Mapa Geológico da Sub-bacia do Rio Carinhanha (Fonte: CPRM).....	16
Figura 07 – Mapa de Solos da sub-bacia do Carinhanha (Fonte: CODEVASF).	19
Figura 08 – Mapa de solos obtido por meio da Análise Morfométrica (Fonte: Quirino, 2007).	20
Figura 09 – Mapa de Geomorfologia da Bacia do Carinhanha (Fonte: Aquino, 2007).	22
Figura 10 – Mapa de Vegetação – Sub-bacia do Rio Carinhanha (Fonte: IBGE, 1991).	24
Figura 11 – Fluxograma representativo da aplicação da EUPS.	25
Figura 12 – Localização das estações pluviométricas utilizadas.	28
Figura 13 – Cartas topográficas 1:100.000, que cobrem a área da Bacia do Carinhanha.	36
Figura 14 - Classificação Isodata (A) sem edição, (B) editada manualmente.	40
Figura 15 – Trajeto percorrido no trabalho de campo e pontos de coleta.	41
Figura 16 – Mapa do Fator R – Erosividade da chuva.	43
Figura 17 – Mapa de solos da Bacia do Carinhanha.....	46
Figura 18 – Área classificada como associação de Plintossolo e Gleissolo. Imagem <i>Landsat 7</i>	48
Figura 19 – Mapa do Fator K – Erodibilidade do solo.	51
Figura 20 – Modelo Digital do Terreno – Bacia do Carinhanha.	52
Figura 21 – Mapas derivados.	53
Figura 22 – Mapa dos Fatores LS – Comprimento de rampa e Declividade.	55
Figura 23 – Mapa de Erosão Potencial da Bacia do Carinhanha.	57
Figura 24 – Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal da Bacia do Carinhanha.	59
Figura 25 – Porcentagem de área ocupada por cada classe de uso e cobertura.	60
Figura 26 – Área classificada como solo exposto.....	63
Figura 27 – Mapa dos Fatores CP – Uso e manejo e Fatores conservacionistas.	67
Figura 28 – Mapa de Erosão Atual (Ea) da Bacia do Carinhanha.	69
Figura 29 – Mapas de Uso (classe área rural de uso diversificado) e Erosão atual.	70
Figura 30 – Mapa de Erosão Potencial reclassificado.	71

Lista de Tabelas

Tabela 01 – Dados demográficos e sócio-econômicos. (Fonte: IBGE Cidades, 2008).	14
Tabela 02 – Relação de estações pluviométricas utilizadas.....	29
Tabela 03 – Dados de pluviosidade.....	30
Tabela 04 – Fator K para cada tipo de solo (Chaves, 1994).....	34
Tabela 05 – Valor de P para práticas conservacionistas (Bertoni e Lombardi Neto,1990).	38
Tabela 06 – Categorias de ocupação e valores correspondentes de CP (Stein et al., 1987).	39
Tabela 07 - Estações Pluviométricas com valores de EI e Fator R.....	44
Tabela 08 – Unidades de Mapeamento de solo na bacia do Carinhanha.	45
Tabela 09 – Legenda do novo Mapa de Solos.....	47
Tabela 10 – Unidades de mapeamento de solo e Fator K.....	50
Tabela 11 – Classes de declividade da Bacia do Carinhanha.	52
Tabela 12 – Classes de Erosão Potencial.....	56
Tabela 13 – Classes de uso da terra e cobertura vegetal da bacia do Carinhanha.	58
Tabela 14 – Valores de CP para os tipos de uso e cobertura vegetal na bacia do Carinhanha.	66
Tabela 15 – Classes de interpretação para o parâmetro estimativa de perda de solo (Carvalho, 1994).....	67
Tabela 16 – Classes de Erosão Atual (2007).	68
Tabela 17 – Classes de Erosão Potencial.....	71

Lista de Fotos*

Foto 1 – Cerrado bem preservado no Parque Nacional Grande Sertão Veredas.	2
Foto 02a – Neossolo Quartzarênico.....	47
Foto 02b – Latossolo Amarelo.	47
Foto 03a – Latossolo Vermelho-amarelo.	49
Foto 03b – Borda de Chapada.	49
Foto 04a – Cerrado bem preservado no Parque Nacional Grande Sertão Veredas.....	60
Foto 04b – Campo cerrado (Parque Nacional Grande Sertão Veredas).	60
Foto 04c – Cerrado degradado, com retirada de material lenhoso.	61
Foto 04d – Cerrado em estágio avançado de regeneração.	61
Foto 04e – Cerrado degradado.	61
Foto 04f – Cerrado.	61
Foto 05a – Área de agricultura intensiva.....	61
Foto 05b – Pequenas chácaras.....	61
Foto 05c – Preparação para plantio.	62
Foto 05d – Plantação de feijão.	62
Foto 05e – Pastagem.....	62
Foto 05f – Pequenas plantações irrigadas.....	62
Foto 05g – Pastagem grande propriedade.....	62
Foto 05h – Área agrícola.	62
Foto 06a – Afloramento de calcário.	63
Foto 06b –Afloramento de arenito Urucuia.....	63
Foto 07 – Solo exposto.	63
Foto 08a – Área desmatada sem nenhum tipo de uso.	64
Foto 08b – Área desmatada sem uso.	64
Foto 09a – Florestas Estacionais.	64
Foto 09b – Florestas Estacionais.	64
Foto 10a – Rio Carinhanha e mata ciliar.	65
Foto 10b – Vereda.	65
Foto 11a – Área de transição.	65
Foto 11b – Área de transição.....	65

* Todas as fotos são de autoria de Kelly Borges, tiradas em 06/2008.

Lista de Siglas e Abreviaturas

ANA – Agência Nacional de Águas

CODEVASF – Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DSG – Diretoria do Serviço Geográfico do Exército

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ENVI – *Environment for Visualizing Images*

EUPS – Equação Universal de Perda de Solos

FPM – Fundo de Participação dos Municípios

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais

MDT – Modelo Digital do Terreno

MME – Ministério de Minas e Energia

PIB – Produto Interno Bruto

POLOCENTRO - Programa de Desenvolvimento do Cerrado

PRODECER - Programa de Cooperação Nipo-Brasileira de Desenvolvimento dos Cerrados

SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

WWF - World Wildlife Fund

Capítulo 1 – Introdução

A ocupação da terra de forma desordenada provoca diversos problemas ambientais ao alterar as condições da cobertura vegetal e dos solos, que podem se tornar compactados, diminuindo a quantidade de água infiltrada e aumentando o escoamento superficial. A degradação do solo acarreta o aumento dos processos erosivos, a perda da fertilidade natural, queda da produtividade e diminuição do volume e da qualidade das águas, em função do assoreamento (Guerra *et al.*, 2005; Camapum de Carvalho *et al.*, 2006).

O Cerrado é um dos Biomas que mais sofrem com a retirada da vegetação natural e intensificação do uso do solo principalmente para fins agropecuários. A expansão da fronteira agrícola na região central do Brasil inicia a partir da década de 1970, e provoca um agravamento na degradação do Bioma (Rezende, 2001b). Além disso, o Cerrado era considerado “pobre” em biodiversidade e somente nas últimas décadas passou a ser reconhecido pela sua grande variedade de espécies nativas.

O Rio São Francisco possui boa parte de sua bacia em área de Cerrado, além de cortar mais dois biomas: Mata Atlântica e Caatinga (Figura 01). É uma das mais importantes bacias brasileiras, fundamental para o desenvolvimento nacional. Possui cerca de 2700 km de extensão e uma área aproximada de 639 mil km². A Bacia como um todo sofre com o uso exaustivo de seus recursos, culminando com o polêmico projeto em andamento de transposição de parte de suas águas, para levar a regiões do semi-árido.

A Bacia do São Francisco, assim como outras bacias hidrográficas brasileiras, apresenta conflitos gerados pela má distribuição espacial e temporal dos recursos hídricos, aliada ao aumento desordenado dos processos de urbanização, industrialização, expansão agrícola e aproveitamento hidrelétrico (Lima e Silva, 2005). Esses conflitos colocam em destaque a disponibilidade hídrica da bacia, cujas mais importantes áreas de recarga estão localizadas na região do Cerrado. Segundo Lima e Silva (2005) a Bacia do São Francisco é totalmente dependente, hidrologicamente, do Cerrado, que com apenas 47% da área, gera 94% da água que flui superficialmente na bacia. Isso ressalta a importância do uso racional dos recursos naturais nestas áreas que normalmente são frágeis. É necessário conhecer a real situação ambiental da Bacia para a recuperação de suas áreas degradadas e proteção de seus recursos naturais.

No presente trabalho a área de estudo é a sub-bacia do Rio Carinhanha, um importante afluente do Rio São Francisco (Figura 01). Esta sub-bacia possui um uso e ocupação do solo

bastante variado, com áreas bem preservadas próximas às nascentes, e áreas de uso intenso, nas proximidades de sua foz e em algumas áreas planas, principalmente nos topos dos interflúvios. A bacia possui importantes remanescentes do cerrado, além de englobar o Parque Nacional Grande Sertão Veredas, área de grande relevância paisagística e ecológica, localizado na região próxima às suas nascentes principais (Foto 1).

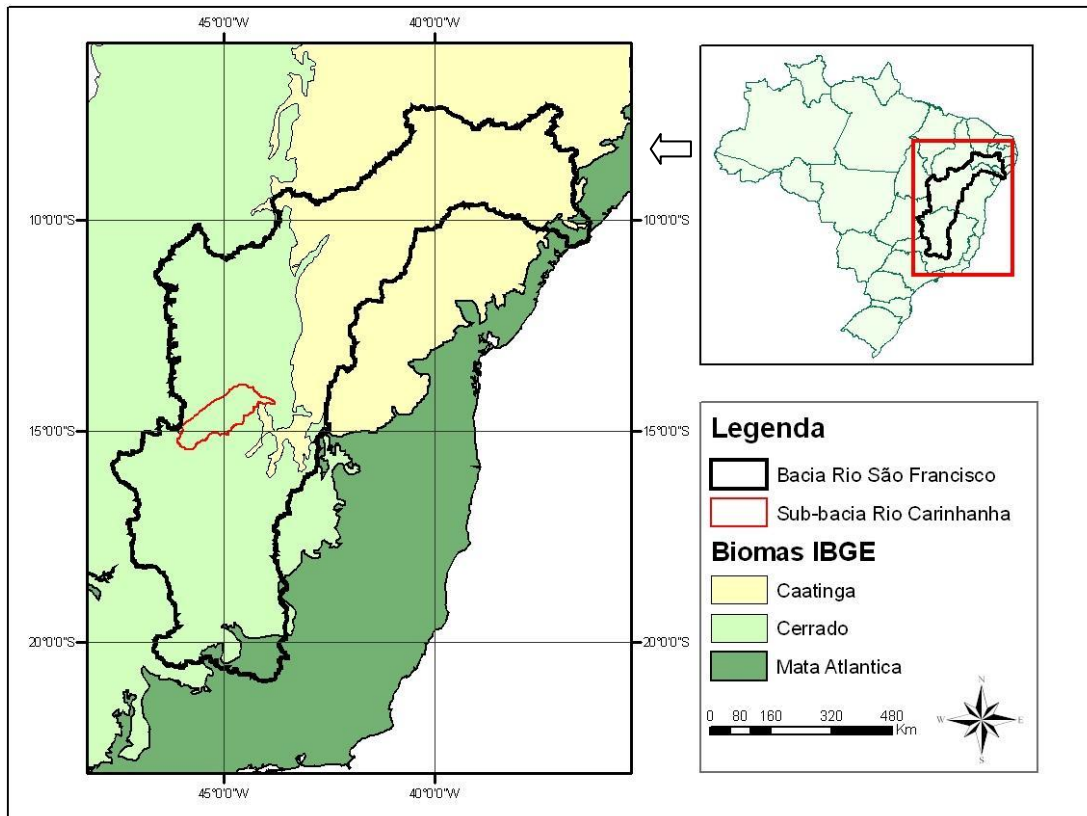


Figura 01 – Bacias dos rios São Francisco e Carinhonha e limite dos Biomas, segundo IBGE.

Na bacia do Carinhonha vem ocorrendo uma intensificação da retirada da vegetação natural para a produção de carvão vegetal e para atividades agropecuárias, que aceleram os processos erosivos.



Foto 1 – Cerrado bem preservado no Parque Nacional Grande Sertão Veredas.

Uma forma de se mapear e analisar a dinâmica do uso da terra é através de técnicas de sensoriamento remoto, aliadas a informações de campo. As áreas de suscetibilidade à erosão do solo podem ser obtidas pelo uso de modelos matemáticos, os quais permitem que os processos erosivos sejam previstos e estudados, o que é importante para o planejamento conservacionista e identificação de áreas críticas.

Para bacias hidrográficas existem diversos modelos indicadores de perda de solo, dentre os quais, o mais conhecido e utilizado é a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), desenvolvida por Wischmeier & Smith em 1978, que além de estimar a perda do solo, também permite simular cenários e indicar a capacidade de uso de cada porção da bacia.

Dentro deste contexto, o objetivo geral do trabalho é mapear e analisar a susceptibilidade erosiva da Bacia do Rio Carinhanha, através da aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), a fim de subsidiar o planejamento territorial ambiental na área.

Como objetivos específicos, pretende-se:

- Caracterizar o meio físico da sub-bacia do rio Carinhanha, a partir de dados pré-existentes, sensoriamento remoto e trabalhos de campo.
- Refinar mapa de solos da sub-bacia do Carinhanha, baseado no resultado das análises das amostras coletadas em campo.
- Gerar mapa de uso da terra e cobertura vegetal da bacia, por meio de sensoriamento remoto e trabalhos de campo.
- Gerar mapas de susceptibilidade à erosão para a bacia do Carinhanha.

Capítulo 2 – Revisão teórica

2.1 - *Bacia hidrográfica como unidade de estudo*

Uma bacia hidrográfica circunscreve um território drenado por um rio principal, seus afluentes e subafluentes permanentes ou intermitentes. O conceito de bacia está associado à noção de sistema, nascentes, divisores de águas, cursos de água hierarquizados e foz. Toda ocorrência de eventos numa bacia hidrográfica, de origem antrópica ou natural, interfere na dinâmica do sistema, na quantidade dos cursos d'água e sua qualidade (Santos, 2004).

Uma bacia hidrográfica ou bacia de drenagem pode ser caracterizada como uma área definida topograficamente que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial. Tal conceito abrange todos os espaços de armazenamento, de circulação e saídas de água e do material por ela transportado, que mantêm relações com esses canais (Coelho, 2007).

Pachechenik (2004), ao tratar dos desequilíbrios sofridos pelo meio ambiente em função da intensa apropriação dos recursos naturais, considera fundamentais os estudos das bacias hidrográficas, pois elas constituem uma unidade fundamental para o estudo ambiental e representam a principal fonte de captação de água para o consumo. Para ele, a interferência antrópica em uma bacia pode gerar alterações nos processos de vazão e no tempo de permanência da água nos seus diversos compartimentos. Além disso, destaca também que o conhecimento das fragilidades presentes no sistema de uma bacia hidrográfica possibilita compreender a realidade e obter uma visão mais clara sobre quais são as opções mais adequadas para o uso do solo na mesma.

Por fim Monteiro (2000) destaca a necessidade de se privilegiar a complexidade das interações geográficas ao se fazer qualquer tipo de análise ambiental. A escolha da bacia hidrográfica como unidade de estudo segue esse princípio, levando em consideração o fato de que todos os componentes físicos de uma bacia estão interligados.

2.2 – *Expansão da ocupação na região do Cerrado*

A agricultura brasileira começa a se transformar a partir de meados da década de 60, quando ocorre a modernização e desenvolvimento do País, durante o governo de Juscelino Kubitschek. Inicialmente as regiões sul e sudeste são atingidas por essa transformação, mas logo ocorre um esgotamento de terras disponíveis para a agropecuária e a necessidade de aumento da produtividade força uma expansão agrícola para novas áreas. O Cerrado passa a

ser então incorporado por essa expansão agropecuária, sob os novos padrões da agricultura moderna, baseada no pacote tecnológico denominado “Revolução Verde” (Silva, 2000).

Dois fatores promoveram a expansão agrícola mais recente no Cerrado: a construção da nova Capital Federal no final dos anos 50 e a adoção de estratégias e políticas de desenvolvimento e investimentos em infraestrutura entre 1968 e 1980 (WWF, 1995).

Nos anos 70, começam as grandes mudanças no cerrado, a partir da implantação de incentivos governamentais, através de diversos programas de desenvolvimento regional, tais como o POLOCENTRO (Programa de Desenvolvimento do Cerrado) e o PRODECER (Programa de Cooperação Nipo-Brasileira de Desenvolvimento dos Cerrados), possibilitando o desenvolvimento de novas tecnologias para os Cerrados (Silva, 2000). Além disso, o baixo preço das terras foi outro fator decisivo na ocupação do cerrado, além das condições planas do relevo, que permitiam o uso de uma forte mecanização (Goedert, 1985).

A expansão da agricultura intensiva na região do Cerrado só foi possível a partir da descoberta de soluções tecnológicas para os problemas de baixa fertilidade natural e elevada acidez dos solos. Além disso, foram descobertas novas variedades de sementes adaptáveis às condições da região e feitas melhorias genéticas e na pesquisa agrícola em geral. Tudo isso resultou em uma grande mudança na aptidão agrícola dos solos de Cerrado no Brasil (Rezende, 2001a).

Verdesio (1993) destaca que a construção de estradas como a Belém-Brasília impulsionou a expansão da fronteira agrícola para a região do cerrado. Para o autor, a estrada tem um papel decisivo na ocupação de uma região. Como exemplo cita o caso do Oeste Baiano, cuja ocupação foi ativada pela construção de uma estrada asfaltada ligando Brasília a Barreiras (BA), uma região onde antes não existia nenhum núcleo urbano em mais de 300 km de percurso e que hoje possui boa parte das terras ocupadas.

Dias (1993) considera que, mesmo com a expansão agrícola, até 1985 o manejo de áreas nativas para a criação de gado ainda era a atividade econômica que ocuparia a maior parte nas paisagens naturais do Cerrado. Nos anos mais recentes é que as pressões sobre o Cerrado passam a ter outras origens, principalmente na expansão da agricultura mecanizada como a soja, algodão e milho. Por outro lado culturas tradicionais como a mandioca, tipicamente associadas a pequenas propriedades, vem decaindo ao longo do tempo. No entanto, o Cerrado continua sendo uma importante região pecuária, onde fazendas de criação extensiva e baixa produtividade coexistem com estabelecimentos modernos e eficientes, pois a expansão da agropecuária não se deu de maneira igual por todo o Cerrado (WWF, 1995).

Outro forte fator responsável pela antropização do Cerrado foi a demanda por carvão vegetal para alimentar as siderúrgicas do sul e sudeste, que há décadas vem motivando a conversão de enormes extensões de Cerrado.

Em função de todos esses aspectos da ocupação, a paisagem do Cerrado foi modificada rapidamente a partir de todas as intervenções, com a retirada da cobertura vegetal natural e a redução drástica de suas reservas naturais, restando poucas manchas de vegetação original (Lima, 1996). O modelo de ocupação agropecuária nas terras do Cerrado caracterizou-se principalmente pelo aumento de produção obtido graças à incorporação de novas terras, e não por meio de ganhos em produtividade. Conseqüentemente, extensas áreas da região foram desmatadas (WWF, 1995). Diante deste quadro, tornaram-se comuns a erosão do solo, a contaminação de aquíferos e a redução da biodiversidade.

2.3 – Erosão do solo

O termo erosão é de origem latina, derivada do verbo “*erodere*”, que significa roer, escavar. Foi usado pela primeira vez na geologia, em 1894, por Penck, para descrever a ação da água dos rios na remoção de material sólido de suas margens (Zachar, 1982). Vilar & Prandi (1993) descrevem a erosão como um conjunto de processos pelo qual os materiais da crosta terrestre são desagregados, dissolvidos ou desgastados e transportados de um ponto a outro pelos agentes erosivos.

Bennet (1939) distingue duas classes de erosão denominadas de geológica e acelerada. A erosão geológica, também conhecida como natural, é um processo lento e contínuo de evolução da superfície da Terra, ao passo que a erosão acelerada é um processo rápido, induzido pelas atividades humanas.

A erosão também pode ser classificada pelo seu fator desencadeante, ou seja, de acordo com o agente erosivo. Os principais agentes são: água, gelo, neve, vento, plantas, animais e homem. Entretanto na natureza geralmente ocorrem diferentes combinações desses fatores e os vários tipos de erosão raramente ocorrem isolados. Do ponto de vista pedogênico, as erosões pluviais e eólicas são as mais importantes, pois afetam grandes áreas e causam maiores prejuízos (Zachar, 1982).

Em ambiente tropical o principal agente erosivo é o hídrico, pois os totais pluviométricos são mais elevados do que em outras regiões do planeta e as chuvas se concentram em certas estações do ano, potencializando o poder erosivo (Guerra *et al.*, 2005). As enxurradas, provenientes das águas da chuva que não ficaram retidas na superfície ou não

infiltraram, transportam partículas do solo em suspensão e elementos nutritivos essenciais em dissolução. Além das perdas graduais na capacidade produtiva dos solos, a erosão também causa prejuízo ao manejo dos recursos hídricos, como: contaminação pelos sedimentos e poluentes de origem difusa; redução da produção de energia elétrica e do volume de água para abastecimento urbano devido ao assoreamento dos reservatórios; e transtornos aos demais setores produtivos da economia (Spörl, 2007).

A erosão hídrica inicia com o *splash* ou salpicamento onde a gota da chuva, ao atingir a superfície desprotegida do solo, desloca as partículas de sua posição original. A quantidade de partículas destacadas e a distância a que são arremessadas dependem de diversos fatores, tais como: tamanho e velocidade da gota da chuva, tipo de solo e relevo (Lal, 1990). Além disso, a ruptura dos agregados pode provocar um selamento do topo do solo e formar crostas que aumentam o escoamento superficial.

Quando o solo fica saturado tem início o escoamento superficial, que realiza o destacamento, transporte e deposição das partículas do solo (Lal, 1990). A água inicialmente acumula-se em depressões na superfície do solo, formando poças, e depois começa a descer pela encosta. A princípio o fluxo é difuso ou laminar e depois pode passar a ser concentrado, formando ravinas e até voçorocas (Guerra *et al.*, 2005).

Desta forma, a erosão pelo escoamento superficial pode ser classificada como: laminar; sulcos e ravinas; e voçorocas (Bennet, 1939). Dentre estes tipos de erosão, o mais comum é a erosão laminar, que ocorre em grandes áreas com vegetação escassa e é imperceptível na maioria das vezes (Silva *et al.*, 2004).

A erosão laminar consiste na remoção de uma camada delgada e uniforme de solo superficial pela água de escoamento (Nishiyama, 1995), sendo difícil de ser detectada, pois ocorre de forma difusa, erodindo, teoricamente, uma lâmina homogênea de solo (Baptista, 1997). Este tipo de erosão não é percebido de imediato pelos agricultores, pois age mais lentamente que a erosão por ravinamento ou voçorocamento. No entanto gera um declínio da produtividade, pois retira os nutrientes das camadas superiores do solo (Spörl, 2007).

Quando a velocidade do fluxo aumenta, o escoamento superficial produz incisões ou ravinas e passa a escoar através delas (Nishiyama, 1995). As voçorocas consistem em um estágio mais avançado e complexo da erosão, cujo poder destrutivo local é superior ao das outras formas e de mais difícil contenção (Rodrigues, 1982).

Pinto & Garcia (2005) destacam que há sempre um forte sinergismo entre a dinâmica da ocupação das terras e processos erosivos dos solos, particularmente aqueles promovidos pelas águas pluviais que escoam pela superfície das vertentes. Os autores ainda destacam que

“o conhecimento da situação das condições dos solos do território brasileiro, em termos da presença dos processos de erosão acelerada, e mesmo com referência à sua potencialidade, enseja a realização de trabalhos em escala local e regional para caracterizar seus indicadores e correspondente cartografia”.

O crescimento populacional provoca uma pressão por aumento na utilização dos recursos naturais, que muitas vezes são explorados sem o devido planejamento. Lal (1999) aborda o conceito de sustentabilidade do solo, que pode ser estimada por avaliações periódicas de indicadores relacionados a processos. O autor demonstra em um diagrama (Figura 02) alguns fatores e causas que determinam a qualidade e a sustentabilidade do solo.



Figura 02 – Fatores e causas que determinam a qualidade e a sustentabilidade do solo (Lal, 1999).

Fatores como o desmatamento, uso intensivo da terra e uso crescente de insumos agrícolas, citados no diagrama provocam diversos problemas ambientais, além de alterar a produtividade do solo. A erosão do solo é um dos problemas que mais trazem prejuízos ao meio ambiente e à produtividade dos solos.

Uma das formas de se descrever e prever a ocorrência de processos erosivos é através da utilização de modelos matemáticos e estatísticos. Nesses modelos os diversos fatores da paisagem, tais como: topologia, clima, propriedade dos solos e práticas conservacionistas, são representados por expressões matemáticas.

Rosa (1995) considera que os processos de erosão laminar são o resultado da integração de dois potenciais: o natural e o antrópico. Os fatores climáticos (erosividade da chuva), os fatores pedológicos (erodibilidade do solo) e os fatores topográficos (comprimento de rampa e declividade do terreno) compõem o potencial natural à erosão laminar, enquanto que o potencial antrópico é composto pelas variáveis uso e manejo, e práticas conservacionistas. Esses dois potenciais de erosão laminar constituem os componentes da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), de Wischmeier e Smith (1978), mundialmente conhecida e utilizada neste trabalho.

2.4 – Modelos de cálculo de perda de solos

Diversos modelos matemáticos vêm sendo desenvolvidos e aperfeiçoados com o intuito de prever a magnitude das perdas do solo. Estes modelos podem ser divididos em dois tipos: os empíricos ou estatísticos e os determinísticos ou baseados em parâmetros físicos. Dentre os Modelos empíricos pode-se citar: a USLE (ou EUPS), *Universal Soil Loss Equation* (Wischmeier & Smith, 1958, 1978) e a MUSLE, *Modified Universal Soil Loss Equation* (Williams, 1975). Como exemplos de modelos baseados em parâmetros físicos pode-se citar: a EUROSEM, *European Soil Erosion Model* (Morgan *et al.*, 1992) e a GeoWEPP, *Geospatial interface for the Water Erosion Prediction Project* (Renschler *et al.*, 2002). Existem também os modelos híbridos, que incluem componentes teóricos e empíricos como o modelo AGNPS, *Agricultural Nonpoint Source* (Young *et al.*, 1987).

Para Roig (2005), os modelos determinísticos vêm ganhando espaço porque diminui a subjetividade e incluem o fator temporalidade. No entanto, esses modelos são mais indicados para pequenas áreas, pois apesar de serem mais eficientes, são de difícil aplicação em áreas maiores, em função principalmente do número de variáveis necessárias para sua implementação e da complexidade do modelo.

Os modelos empíricos são os mais usados no planejamento conservacionista, pela sua simplicidade e disponibilidades de dados. Dentre os modelos empíricos usados para a predição da erosão hídrica, a EUPS ou USLE (*Universal Soil Loss Equation*) é a que possui maior divulgação principalmente pela facilidade de uso com um cálculo simples e menos complexo (Fujihara, 2002). A EUPS foi desenvolvida em 1954 no *National Runoff and Soil Loss Data Center* pela *Agricultural Research Service* em colaboração com a Universidade de Purdue (EUA), revisada por Wischmeier & Smith em 1965 e posteriormente em 1978, sendo esta última a mais difundida.

A EUPS apresenta algumas limitações, tais como: (a) não considera a ocorrência simultânea dos processos de erosão e de deposição ao longo da vertente; (b) não considera a deposição nos pés das encostas; e (c) não incorpora a erosão por voçorocas, o que pode causar neste caso uma subestimativa da perda de solos (Valentim, 2008). Apesar de suas limitações a EUPS continua sofrendo atualizações e modificações, sendo um valioso instrumento para a conservação do solo (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

A EUPS é determinada a partir da integração de fatores naturais e antrópicos que atuam na perda de solos por erosão laminar. Esses fatores, por sua vez, podem ser estimados e espacializados a partir de técnicas de geoprocessamento.

A utilização da EUPS em escalas regionais é válida para estudos qualitativos sobre erosão laminar, fornecendo uma estimativa inicial sobre delimitação e espacialização de áreas com maior ou menor susceptibilidade erosiva (Leprun, 1988). Desta forma, a EUPS é amplamente utilizada para identificar áreas susceptíveis à erosão, em uma abordagem qualitativa, com o propósito de subsidiar o planejamento ambiental (Araujo Junior, 2003).

Os fatores condicionantes propostos na equação são:

$$A = R * K * L * S * C * P \quad (1)$$

onde,

- A= perda de solo, em t/ha.ano;

Fatores que dependem das características naturais do meio físico:

- R = fator de erosividade das chuvas, em Mj.mm/ha.h.ano;
- K = fator de erodibilidade do solo, em t.h/Mj.mm;
- L = fator comprimento de rampa (m);
- S = declividade (%)

Fatores relacionados às formas de ocupação e uso do solo:

- C = fator uso e manejo (adimensional);
- P = fator práticas conservacionistas (adimensional).

A utilização de modelos deste tipo requer boa capacidade de manipulação e cruzamento de dados e, para isso, é essencial a utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Para Desmet & Govers (1996), outro ponto a favor da EUPS é a fácil implementação em ambientes de SIG.

Capítulo 3 – Caracterização da Bacia do Rio Carinhanha

O Rio Carinhanha é afluente da margem esquerda do Rio São Francisco localizando-se entre os paralelos 13°50' e 15°30' de latitude sul e os meridianos 43°40' e 46°10' de longitude oeste de Greenwich, abrangendo uma área aproximada de 1.730.000 hectares. A sub-bacia do Rio Carinhanha está situada na divisa dos estados de Minas Gerais e Bahia (Figura 03), faz parte da região denominada Médio São Francisco.

Segundo levantamento realizado em 2004 pela Agência Nacional de Águas – ANA – o Rio Carinhanha contribui com cerca de 150 m³/s de vazão para a média anual do Rio São Francisco. A quantidade de sedimentos lançada é de aproximadamente 710 toneladas por dia, segundo a mesma fonte. A produção específica de sedimentos em suspensão na bacia é classificada pela ANA como baixa (17 t/km² ano), no entanto esta medição deve ser considerada com ressalvas, pois existe apenas uma estação sedimentométrica em toda a bacia do Carinhanha, localizada no município de Juvenília-MG (ANA *et al.*, 2004).

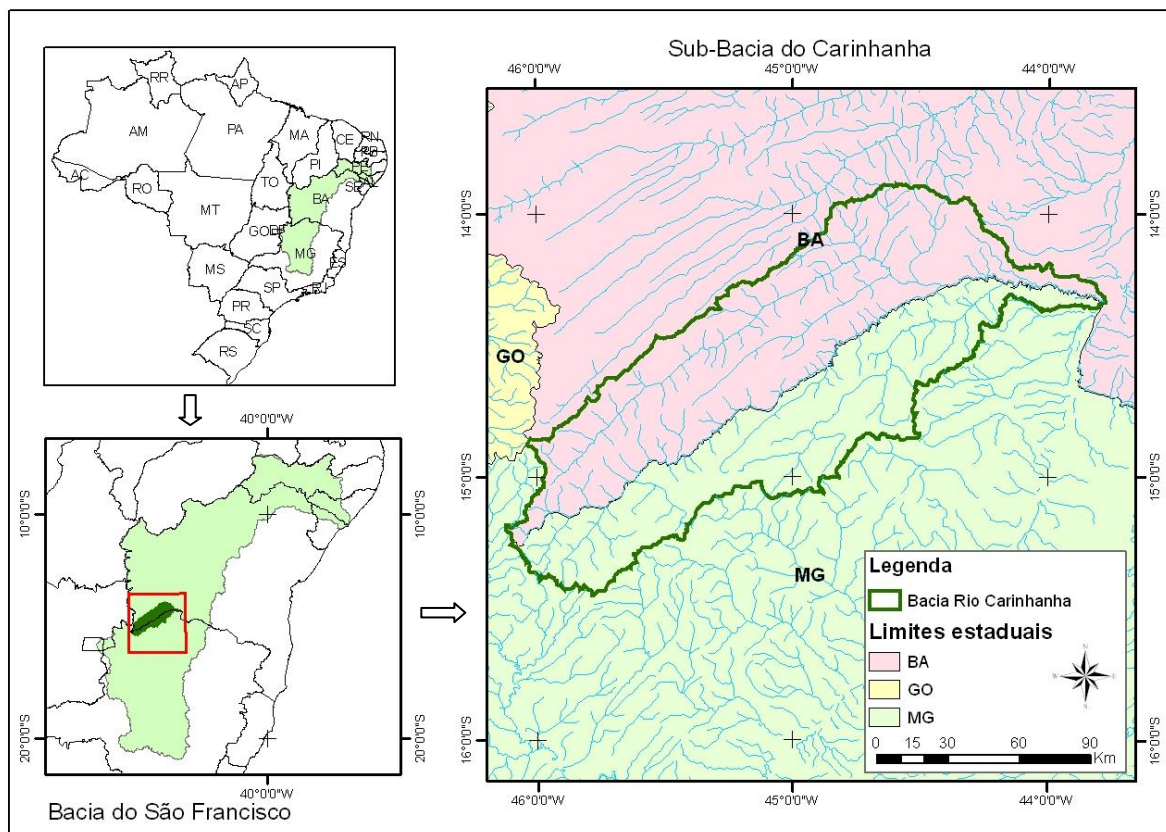


Figura 03 – Localização da sub-bacia do Rio Carinhanha.

3.1 – Aspectos Sócio-Econômicos

A bacia do Carinhanha abrange parcialmente 8 municípios mineiros (Arinos, Bonito de Minas, Chapada Gaúcha, Cônego Marinho, Formoso, Januária, Juvenília e Montalvânia) e 4 baianos (Cocos, Coribe, Feira da Mata e Carinhanha) (Figura 04).

Os dados referentes à população, atividade econômica principal e produto interno bruto (PIB) (IBGE Cidades, 2008) de cada município da sub-bacia do Carinhanha estão apresentados na Tabela 01. Pode-se observar que todos os municípios são pouco populosos, sendo que a maior população está em Januária (MG).

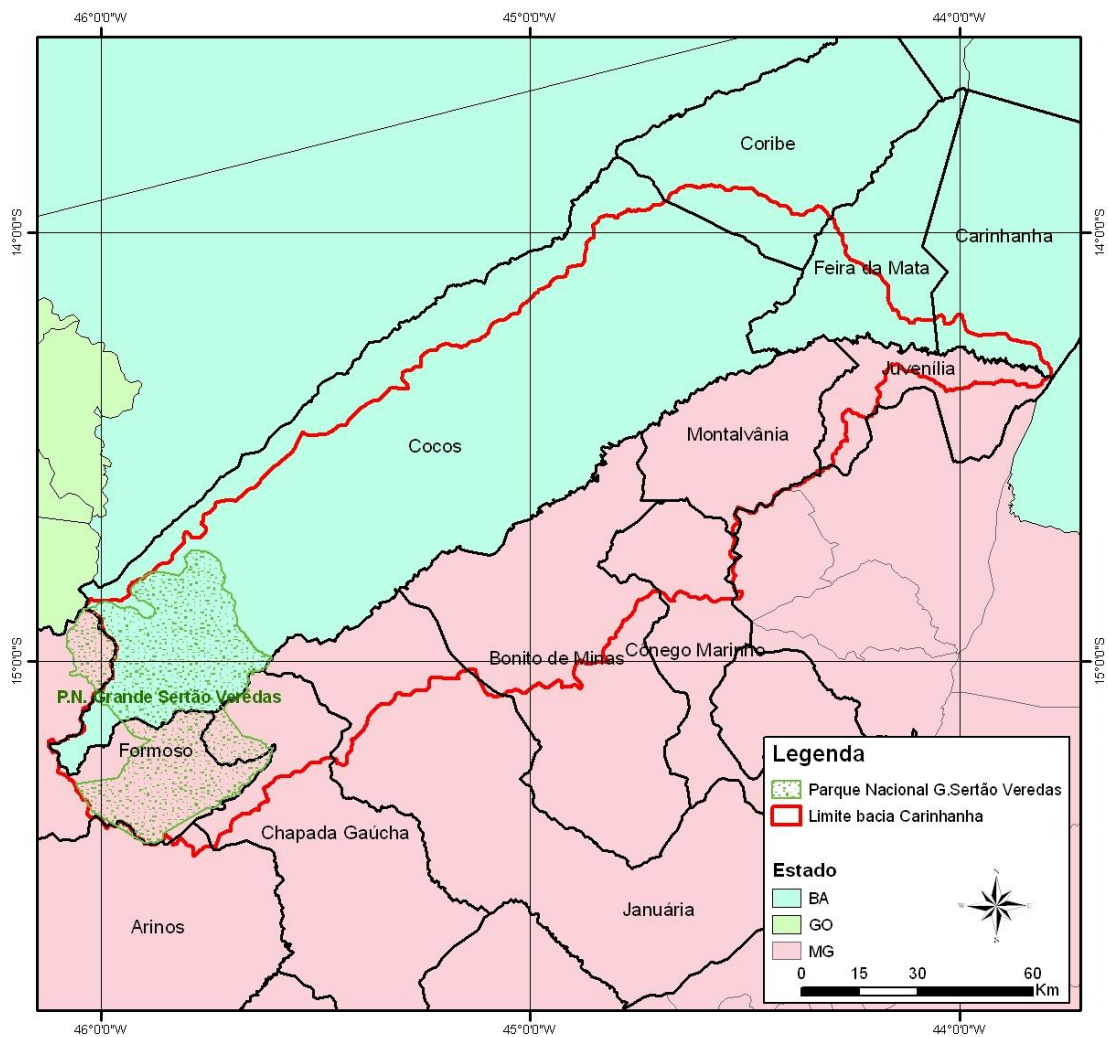


Figura 04 – Limites Político-administrativos – Bacia do Rio Carinhanha (Fonte: IBGE).

A maioria dos municípios vive basicamente de serviços, ou seja, a principal atividade econômica é a terciária. Isso se deve em parte ao fato de serem municípios pouco desenvolvidos economicamente, que dependem muito do Fundo de Participação dos

Municípios (FPM), verba repassada pela União, cujo percentual é determinado principalmente pela proporção do número de habitantes estimado anualmente pelo IBGE. A pesquisa do IBGE de “Perfil dos Municípios Brasileiros - Finanças Públicas”, sobre receitas e despesas de todos os municípios brasileiros de 1998 a 2000, revelou que o FPM é responsável por grande parte das receitas disponíveis das prefeituras de municípios pequenos.

A agropecuária exerce um papel importante na economia de todos os municípios da bacia, destacando-se em Cocos (BA) e Formoso (MG) como a atividade econômica mais importante. Nos demais municípios a atividade aparece como a segunda atividade econômica mais importante.

Na porção sudoeste da área de estudo está localizado o Parque Nacional Grande Sertão Veredas (Figura 04), a única Unidade de Conservação Federal da bacia do Carinhanha. Trata-se de uma área rica em biodiversidade, com grande representatividade das fitofisionomias do Cerrado. Lago *et al.* (2001) consideram o Parque como uma área singular do Cerrado, caracterizada pela presença de grandes campos e pela ocorrência de extensas veredas.

O Parque Nacional Grande Sertão Veredas foi criado em 1989 e passou por uma ampliação em 2004, quando sua área mais que dobrou, passando a 231 mil hectares (Figura 04). É uma das mais importantes unidades de conservação do Bioma Cerrado, além de englobar importantes áreas de recarga de aquíferos e nascentes do Rio Carinhanha, que contribui em cerca de 20% com a perenidade do Rio São Francisco no período das secas. A área é também caracterizada pela existência de grandes áreas conservadas e com pouca presença humana (IBAMA, 2008).

As principais ameaças à integridade do Parque correspondem à criação extensiva de gado, uso do fogo para a renovação do pasto e as grandes conversões de vegetação nativa em monoculturas de grãos (Lago *et al.*, 2001). Essa agricultura mecanizada é feita na área da chapada, que margeia o limite sudoeste do Parque, no município de Chapada Gaúcha (MG). A criação de gado ocorre não apenas em áreas do entorno como também no interior do Parque, que ainda não foi totalmente regularizado. Vários fazendeiros ainda não tiveram as suas terras indenizadas e por isso continuam exercendo suas atividades produtivas, principalmente na parte correspondente à área ampliada em 2004.

Tabela 01 – Dados demográficos e sócio-econômicos. (Fonte: IBGE Cidades, 2008).

Estado	Município	População (2007)	Principal atividade econômica	PIB (mil reais) - 2005
BA	Carinhanha	28.879	Serviços	55.488,00
BA	Cocos	17.394	Agropecuária	105.732,00
BA	Coribe	14.555	Serviços	37.334,00
BA	Feira da Mata	6.328	Serviços	22.491,00
MG	Arinos	17.592	Serviços	79.720,00
MG	Bonito de Minas	8.787	Serviços	17.744,00
MG	Chapada Gaúcha	10.266	Serviços	36.891,00
MG	Cônego Marinho	6.279	Serviços	18.750,00
MG	Formoso	6.612	Agropecuária	70.860,00
MG	Januária	64.985	Serviços	212.458,00
MG	Juvenília	6.050	Serviços	17.274,00
MG	Montalvânia	15.961	Serviços	47.001,00

3.2 – Aspectos Físicos

3.2.1 – Clima

O Bioma Cerrado caracteriza-se por ter as seguintes características climáticas: precipitação média anual com valores entre 750 e 2000 mm (Novaes et al., 1993); temperatura média anual varia de 22°C, ao sul da região, e 27° ao norte; e com a duração do período seco, que oscila entre 5 e 6 meses (Goedert, 1985).

O mapa da Classificação Climática de Thornthwaite (Ayoade, 1988) foi elaborado pela CODEVASF para todo o Vale do São Francisco. Por esta classificação, a maior parte da sub-bacia do Carinhanha possui clima subúmido seco. Na porção oeste há uma zona de clima úmido e a leste, uma pequena área de clima semi-árido, já próximo ao Rio São Francisco (Figura 05).

O Clima Semi-árido, a leste da bacia, é do tipo Dd'A'd, onde “D” é o clima semi-árido; “d” significa concentração da eficiência térmica no verão acima de 88%; “A” corresponde ao clima megatérmico com evapotranspiração potencial acima de 114 cm; “d” representa pequeno ou nenhum excedente de água no verão

O Clima Sub-úmido Seco, que ocupa a maior parte da bacia do Carinhanha é do tipo C₁dA'a', onde “C₁” é o clima subúmido seco; “D” corresponde a pequeno ou nenhum

excedente de água no verão; “A” é megatérmico com evapotranspiração potencial acima de 114 cm; “a” representa a concentração da eficiência térmica no verão abaixo de 48%.

A porção oeste da bacia é classificada como Clima Úmido do tipo $B_2sB'_4a'$, onde “ B_2 ” é o clima úmido; “s” significa déficit de umidade moderado no verão; “ B'_4 ” corresponde à mesotérmico com evapotranspiração potencial entre 99,7 e 114 cm; “a” representa concentração da eficiência térmica no verão abaixo de 48%.

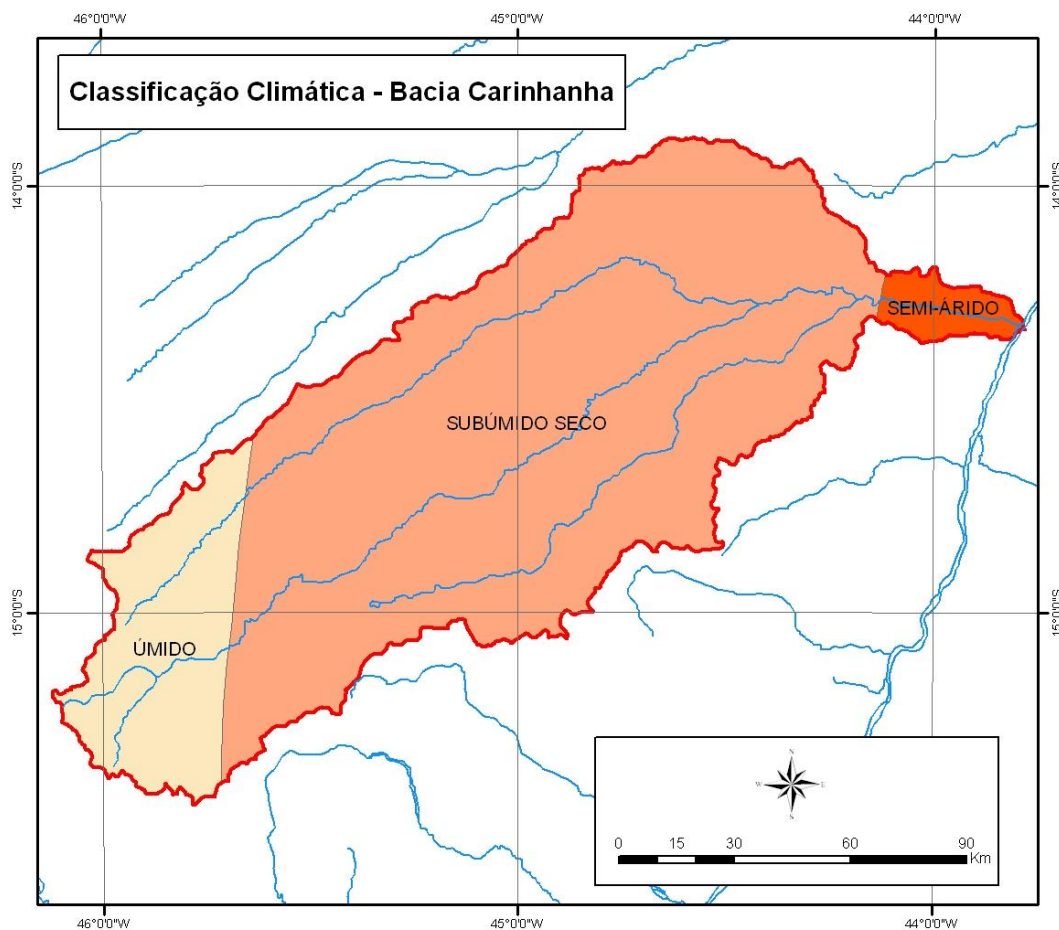


Figura 05 – Mapa de Clima – Sub-bacia do Rio Carinhanha (Fonte: CODEVASF).

3.2.2 – Geologia

O mapa de Geologia da Bacia do São Francisco, produzido pela CPRM, na escala de 1:1.000.000, foi utilizado como base para a caracterização geológica da área de estudo. A figura 06 mostra as unidades geológicas presentes na sub-bacia do Carinhanha.

A maior parte do embasamento da Bacia Sanfranciscana é formada pelo Grupo Bambuí, constituída essencialmente de calcários, metassiltitos e ardósias. As rochas do Grupo Bambuí pertencem ao Supergrupo São Francisco e datam do Proterozóico Superior

(Schobbenhaus *et al.*, 1984). A denominação Supergrupo foi proposta por Pflug & Renger em 1973 (apud Schobbenhaus *et al.*, 1984), e engloba as unidades litoestratigráficas depositadas durante o Ciclo Brasileiro na região de influência do cráton do São Francisco, em condições plataformais ou constituindo faixas dobradas em suas zonas marginais.

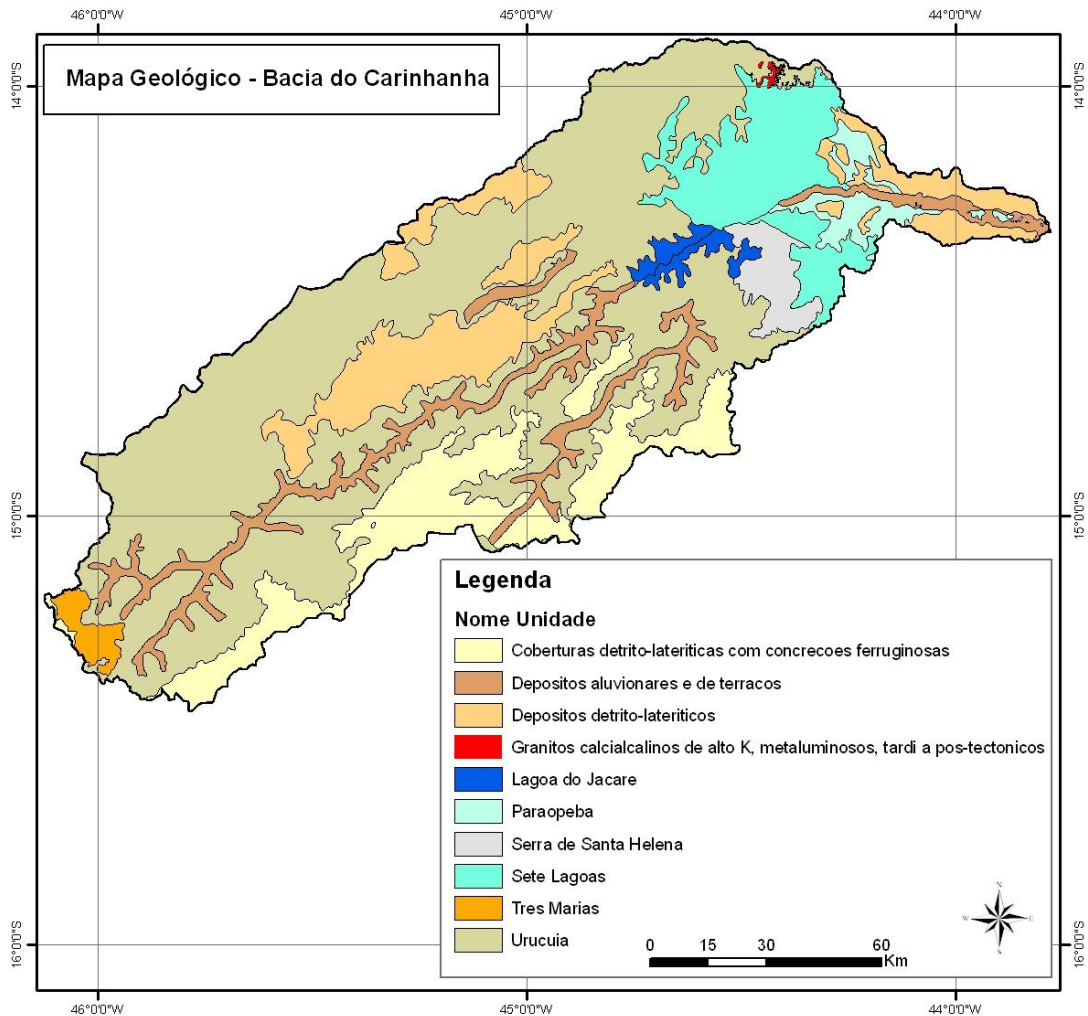


Figura 06 – Mapa Geológico da Sub-bacia do Rio Carinhanha (Fonte: CPRM).

Segundo Schobbenhaus *et al.* (1984), os sedimentos do Grupo Bambuí foram depositados sobre uma plataforma epicontinental estável, em uma bacia “caracterizada por um gradiente muito fraco de seu fundo e por águas rasas, o que explica a constância das litofácies sobre grandes distâncias e suas variações muito rápidas em função de modificações menores da paleogeografia”.

As rochas do Grupo Bambuí afloram nas porções mais dissecadas da bacia do Rio Carinhanha, já próximo ao seu encontro com o Rio São Francisco. As litologias presentes na região, de acordo com o mapeamento da CPRM (Figura 06) pertencem ao Subgrupo

Paraopeba, às Formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena e Lagoa do Jacaré. Nas partes mais altas da bacia, próximo ao divisor de águas do Rio São Francisco afloram rochas da Formação Três Marias.

Subgrupo Paraopeba, segundo MME (1981), é o termo utilizado para representar o conjunto pelito-areno-carbonático mapeado na escala de trabalho de 1:1.000.000, sendo passível de ser subdividido em unidades menores. Agrupa as Formações Sete Lagoas-Januária, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré-Nhandutiba, Serra da Saudade, descritas a seguir.

As rochas da Formação Sete Lagoas são caracterizadas por uma seqüência carbonatada com calcários e dolomitos que podem ser divididos em vários horizontes. Já a Formação Serra de Santa Helena é composta essencialmente por folhelhos, argilitos, siltitos, margas e intercalações de calcários pretos. A Formação Lagoa do Jacaré é constituída por intercalações repetidas de siltitos, margas, calcários pretos cristalinos fétidos e calcários oolíticos e pisolíticos.

A Formação Três Marias é composta por arcósios e siltitos verde a cinza esverdeado. Aflora nas áreas de nascentes do curso principal do Rio Carinhanha, praticamente no limite oeste da bacia. Sua espessura é bastante variável, mas nessa região pode chegar a 1000 metros.

Schobbenhaus *et al.* (1984), descreve a presença de granitóides no nordeste de Minas Gerais e no sul da Bahia, cuja origem é interpretada como ligada à fase tardia ou pós-tectônica do ciclo Brasileiro. A figura 06 mostra que foi mapeada uma incidência de Granitos bem próximos ao limite da Bacia, no sul da Bahia. Silva Filho *et al.* (1974), apud Schobbenhaus *et al.* (1984), referem-se a alguns granitóides no sul da Bahia, como biotita-granitos equigranulares com pegmatitos associados ou como granitóides profiróides, cuja origem é provavelmente intrusiva.

Segundo Schobbenhaus *et al.* (1984), o período Fanerozóico é representado na região da bacia do São Francisco pelos sedimentos cenozóicos. As unidades que a compõem são, a partir da base, as formações Areado, Mata do Corda e Urucuia.

Petri & Fúlvaro (1983) destacam que a Bacia do São Francisco como um todo se encontra hoje muito dissecada, com as rochas cretáceas aflorando em manchas isoladas no meio do Pré-cambriano. Na Sub-bacia do Rio Carinhanha, no entanto, as rochas do período Cretáceo estão bem representadas pela Formação Urucuia, que estão diretamente assentadas sobre as rochas do Grupo Bambuí. Observa-se no Mapa Geológico (Figura 06), que a Formação Urucuia é a unidade geológica cuja distribuição é mais representativa na Sub-bacia

do Rio Carinhanha, ocupando quase toda a porção menos dissecada do relevo, sendo recoberta em alguns interflúvios por depósitos detrítico-lateríticos.

Urucuia é a formação cenozóica de maior extensão geográfica em toda a bacia do São Francisco, cujos sedimentos foram depositados em um ambiente desértico na parte sul da bacia, tendendo a fluvial, na sua região central e finalmente fluvial com contribuição eólica, na porção setentrional (Schobbenhaus *et al.*, 1984).

Petri & Fúlfaro (1983) descrevem as rochas da Formação Urucuia como “arenitos variegados, finos a médios, com cimento argiloso ou siltoso, com grãos arredondados. A matriz pode ser montmorilonítica ou caulínica. Subordinadamente ocorrem leitos descontínuos de folhelhos e conglomerados. Estratificações cruzadas, em geral de pequena amplitude, estão presentes”.

Nos topos dos principais interflúvios ocorrem depósitos detrítico-lateríticos ou coberturas detrítico-lateríticas com concreções ferruginosas, em áreas de topo plano. Próximo ao encontro do Carinhanha com o São Francisco os mesmos depósitos detrítico-lateríticos podem ser observados, acompanhando uma faixa de depósitos aluvionares ao longo do leito do rio.

Acompanhando praticamente todo o leito principal do Rio Carinhanha e alguns poucos secundários podem ser encontradas faixas de depósitos aluvionares e de terraços. Essas faixas estão associadas a planícies de inundação das drenagens e são caracterizadas por depósitos resultantes do retrabalhamento fluvial recente de materiais detríticos diversos.

3.2.3 – Solos

De acordo com o mapa pedológico na escala de 1:500.000, organizado pela CODEVASF (Figura 07) a bacia do Rio Carinhanha apresenta pouca variação de tipos de solo, predominando em boa parte da área os Latossolos Vermelho-amarelos. Na porção mais baixa da bacia do Carinhanha, próximo ao Rio São Francisco, outros tipos de solos podem ser encontrados: Argissolos Vermelho-amarelo (antigos Podzólicos), Neossolos Quartzarênicos (antigos Arenoquartzosos profundos) e uma faixa de Latossolos Vermelhos (antigo vermelho escuro), além de pequenos trechos de solos Aluviais e Cambissolos. Nos limites da bacia, próximo às nascentes, ocorre uma incidência muito pequena de solos Litólicos e Cambissolos.

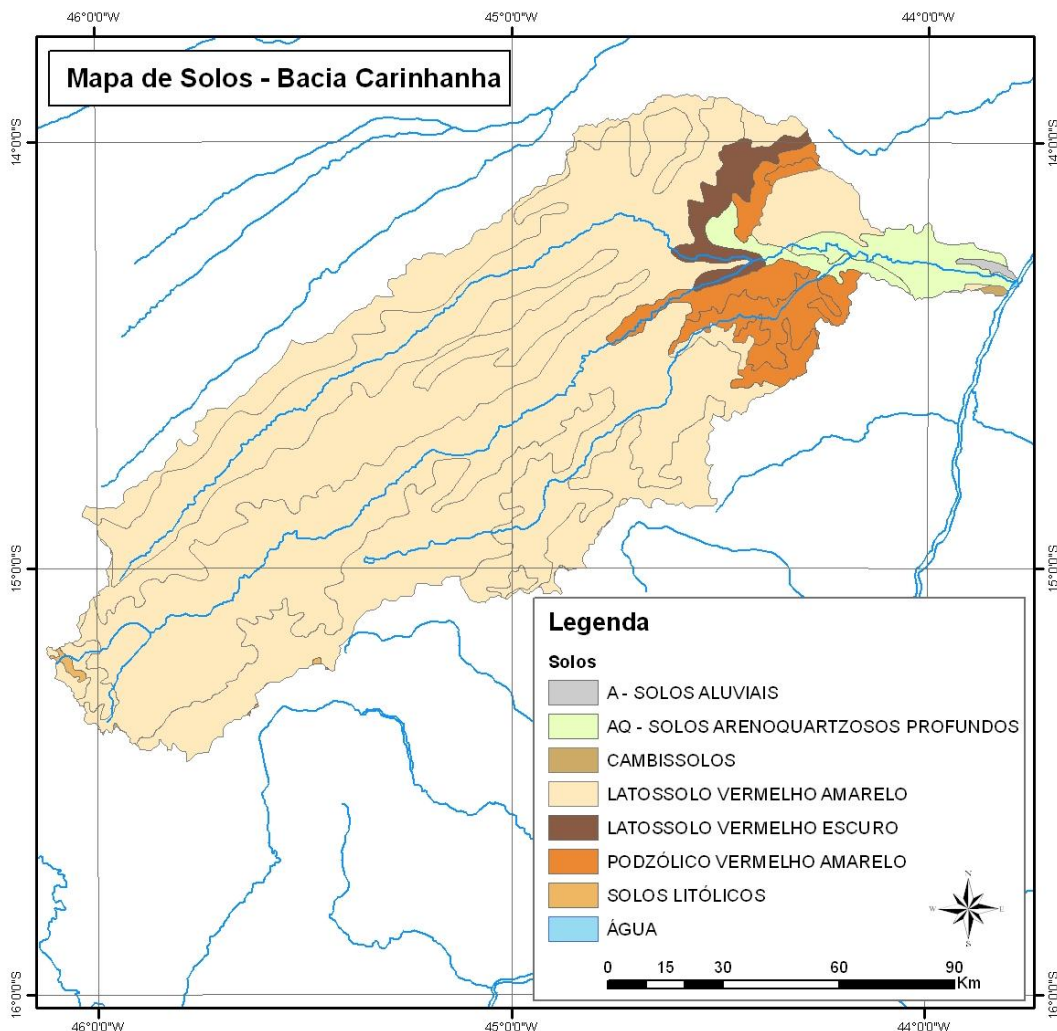


Figura 07 – Mapa de Solos da sub-bacia do Carinhanha (Fonte: CODEVASF).

Quirino (2007) realizou um detalhamento do mapa de solos da CODEVASF, baseado na análise de parâmetros morfométricos (Figura 08). Este método valoriza a análise das relações entre os solos e as formas da paisagem, utilizando técnicas de processamento digital de imagens para a obtenção da cobertura pedológica de uma área.

Para o detalhamento do mapa pedológico, Quirino (2007) utilizou procedimento similar ao descrito por Hermuche *et al.* (2003), onde o processamento digital de dados morfométricos provenientes do MDT (altimetria, declividade, aspecto e área de contribuição) é usado para aprimorar mapeamentos de solos.

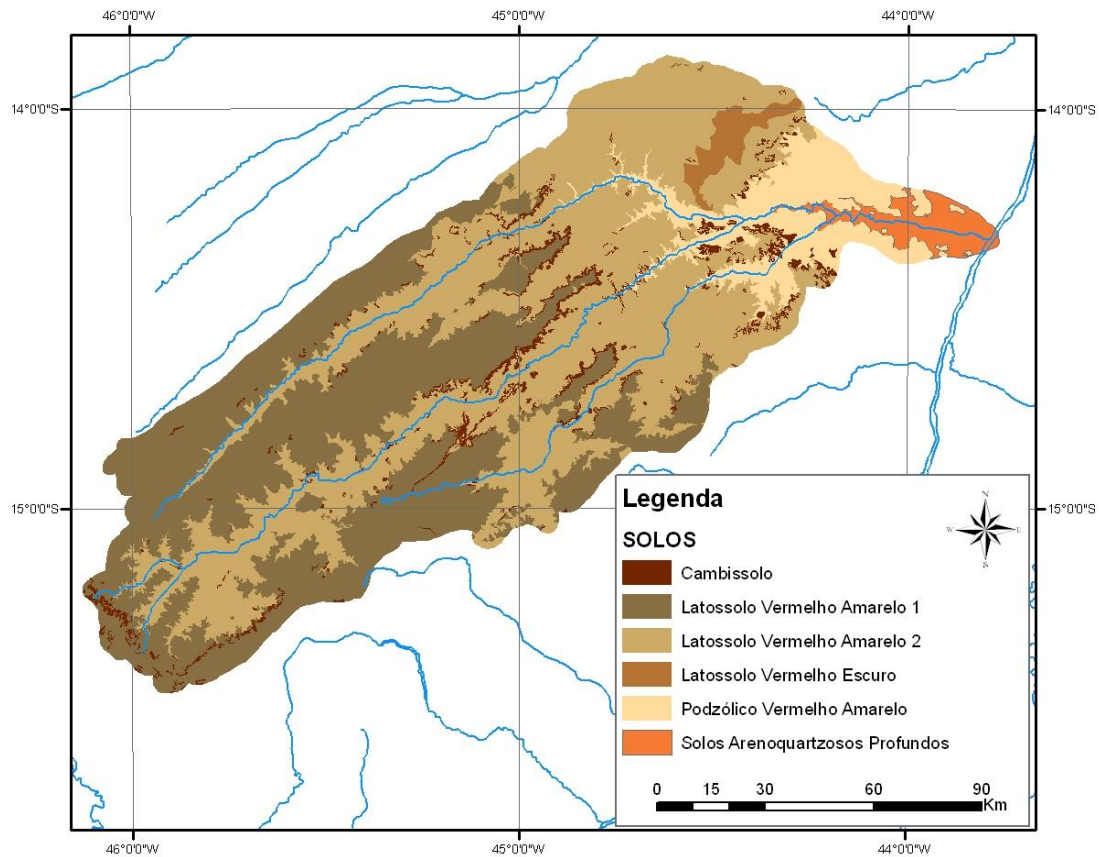


Figura 08 – Mapa de solos obtido por meio da Análise Morfométrica (Fonte: Quirino, 2007).

Os Latossolos são solos profundos, em avançado estágio de intemperização, forte a moderadamente drenados e normalmente apresentam baixa fertilidade natural. São solos que ocorrem em todo o território nacional e são muito explorados por lavouras mecanizadas, quanto possuem textura argilosa, e por pastagens, quando possuem textura média.

Os Argissolos são solos minerais, não hidromórficos, bem desenvolvidos, ácidos, profundos ou medianamente profundos. Têm como características diferenciais argila de atividade baixa e horizonte B textural (Bt), imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial. Parte dos solos desta classe apresenta um evidente incremento no teor de argila, com ou sem decréscimo, do horizonte B para baixo no perfil. Sua seqüência de horizontes normalmente apresenta uma acentuada diferenciação de textura, cor e estrutura, usualmente com transições abruptas do A para o Bt.

Os Cambissolos são solos com horizonte B incipiente, imediatamente abaixo do horizonte A ou horizonte hístico com espessura inferior a 40 cm. Como solos pouco desenvolvidos, possuem na fração de areia, além de quartzo, minerais primários menos resistentes ao intemperismo, como calcita, olivina, biotita e sericita, dentre outros.

Neossolos Quartzarênicos (antigos arenoquartzosos) são solos pouco desenvolvidos, profundos, originários de sedimentos arenoquartzosos não consolidados ou de arenitos. A seqüência de horizontes é AC, textura arenosa, com percentagens superiores a 80% de areia. São muito permeáveis, possuem pouca argila e, portanto baixa capacidade de retenção de umidade, além de baixa fertilidade natural.

Os solos aluviais são pouco desenvolvidos, formados a partir de deposições fluviais recentes e de natureza diversa. Geralmente são encontrados nas planícies dos principais rios, possuem boa fertilidade natural.

Os Neossolos Litólicos (antigos Litólicos) são pouco desenvolvidos, rasos e muito rasos e o horizonte A assentado diretamente sobre as rochas. Possuem teores elevados de minerais primários menos resistentes ao intemperismo e blocos de rochas semi-intemperizados de diversos tamanhos.

A caracterização pedológica será posteriormente mais detalhada, pois um dos objetivos específicos deste trabalho é melhorar o detalhamento do mapa de solos para a área de estudo.

3.2.4 - Geomorfologia

Aquino (2007) realizou uma caracterização geomorfológica da Bacia do Carinhanha, definindo três feições principais: chapadas, áreas intermediárias e depressão próxima ao exutório da bacia.

A região de chapada na área de estudo está associada aos sedimentos da Formação Urucuaia, ocupando as áreas de topo plano. A região entre os interflúvios dos Rios Carinhanha, Itaguari e Coxá caracteriza-se por conter feições planas ou suavemente onduladas.

Nas altitudes intermediárias predominam as áreas de vale com feições de dissecação e dissolução caracterizando uma área de patamar entre a região de chapada e a depressão, próxima ao Rio São Francisco (Aquino, 2007).

A feição mais rebaixada da bacia, região próxima ao Rio São Francisco, constitui-se em uma depressão, com afloramentos do Grupo Bambuí. Ocorre a presença de depressões do tipo dolinas associadas à presença de sedimentos cársticos (Figura 09).

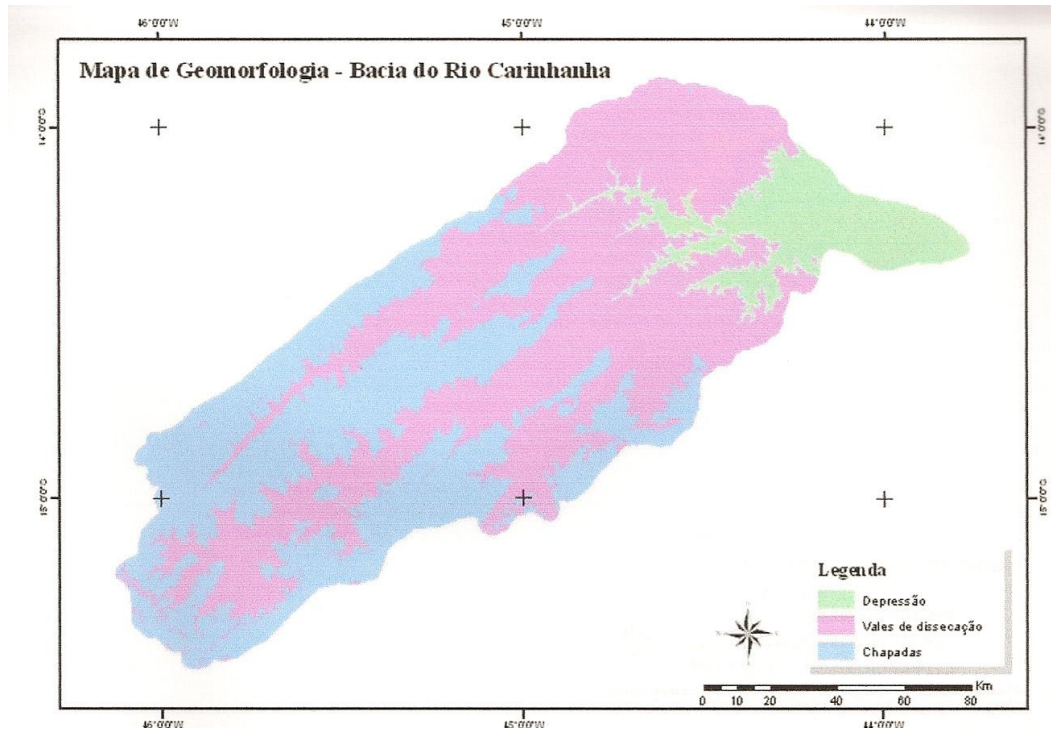


Figura 09 – Mapa de Geomorfologia da Bacia do Carinhanha (Fonte: Aquino, 2007).

3.2.5 – Vegetação

A sub-bacia do Carinhanha está totalmente inserida dentro da área mapeada pelo IBGE como Bioma Cerrado (Figura 01).

O mapeamento realizado por IBGE, na escala de 1:5.000.000, mostra que na Sub-bacia do Rio Carinhanha estão presentes os seguintes tipos de vegetação: savanas, floresta estacional decidual, floresta estacional semidecidual e áreas de tensão ecológica (Figura 10).

A maior parte da área de estudo está coberta pela savana ou cerrado, englobando as áreas classificadas no mapa de Clima (Figura 05) como de clima úmido, subúmido e até mesmo uma pequena parte de clima semi-árido. Novaes *et al.* (1993), ao descrever o cerrado, destaca a influência do clima tropical com precipitação variando de 750-2000 mm/ano em média.

A savana é definida como vegetação xeromorfa, preferencialmente de clima estacional, como aproximadamente 6 meses secos, apesar de também ser encontrada em áreas de climas mais úmidos. Caracteriza-se por árvores baixas e tortuosas, com casca grossa e rugosa, folhas grandes e duras, e um tapete gramíneo. Geralmente está associada a florestas de galeria.

A savana é uma vegetação de fisionomias diversas, de arbórea densa, com porte quase florestal, a gramíneo-lenhosa, fisionomia essencialmente campestre. Pode ser subdividida em

subgrupos: Savana Florestada (cerradão), Savana Arbórea aberta (campo-cerrado), Savana Parque e Savana Gramíneo-lenhosa (MME, 1981).

A Savana Florestada ou cerradão é do tipo arbóreo, uniforme, com árvores de pouco mais de 5 metros de altura, densamente dispostas e cujas copas não se tocam. A Savana Arbórea aberta ou campo cerrado é do grupo arbóreo, com árvores de 2 a 5 metros de altura, engalhadas, tortuosas e dispersas, que se dispõem sobre um tapete gramíneo contínuo. A Savana Parque ou campo caracteriza-se por extensas áreas de campo, de forma gramínea, com fanerófitas altas e baixas, geralmente de uma só espécie. A Savana Gramíneo-Lenhosa ou Campo Limpo caracteriza-se por um tapete gramíneo e ralo em mistura com arbustos, sendo comum a ocorrência de palmeiras anãs.

O segundo tipo de vegetação, em área ocupada na sub-bacia do Carinhanha, é a floresta estacional decidual. Ocorre em área de clima subúmido, de acordo com a figura 05. Sua principal característica é que predomina a decidualidade superior a 50% nas espécies componentes do dossel arbóreo, na época seca. Estruturalmente caracteriza-se por árvores altas e de troncos finos e retilíneos, além de uma densa submata de arbustos e uma grande quantidade de plantas em regeneração (MME, 1981).

Mais próximo ao Rio São Francisco, onde o clima já é classificado como semi-árido, ocorrem trechos de floresta estacional semidecidual e uma pequena faixa de floresta estacional decidual. A floresta estacional semi-decidual difere da floresta estacional decidual pela queda parcial da folhagem de suas árvores mais altas. Também apresenta densa submata com arbustos de arvoretas, além de ter um aspecto sempre verde. Ambas as estão ligadas à dupla estacionalidade climática, uma tropical com épocas de intensas chuvas de verão, seguida por estiagens acentuadas.

As áreas de tensão ecológica são caracterizadas por espécies de transição entre tipos de vegetação diferentes. No caso da sub-bacia do Carinhanha ocorre um pequeno trecho classificado pelo IBGE como área de tensão ecológica, transição entre caatinga (savana estépica) e floresta estacional.

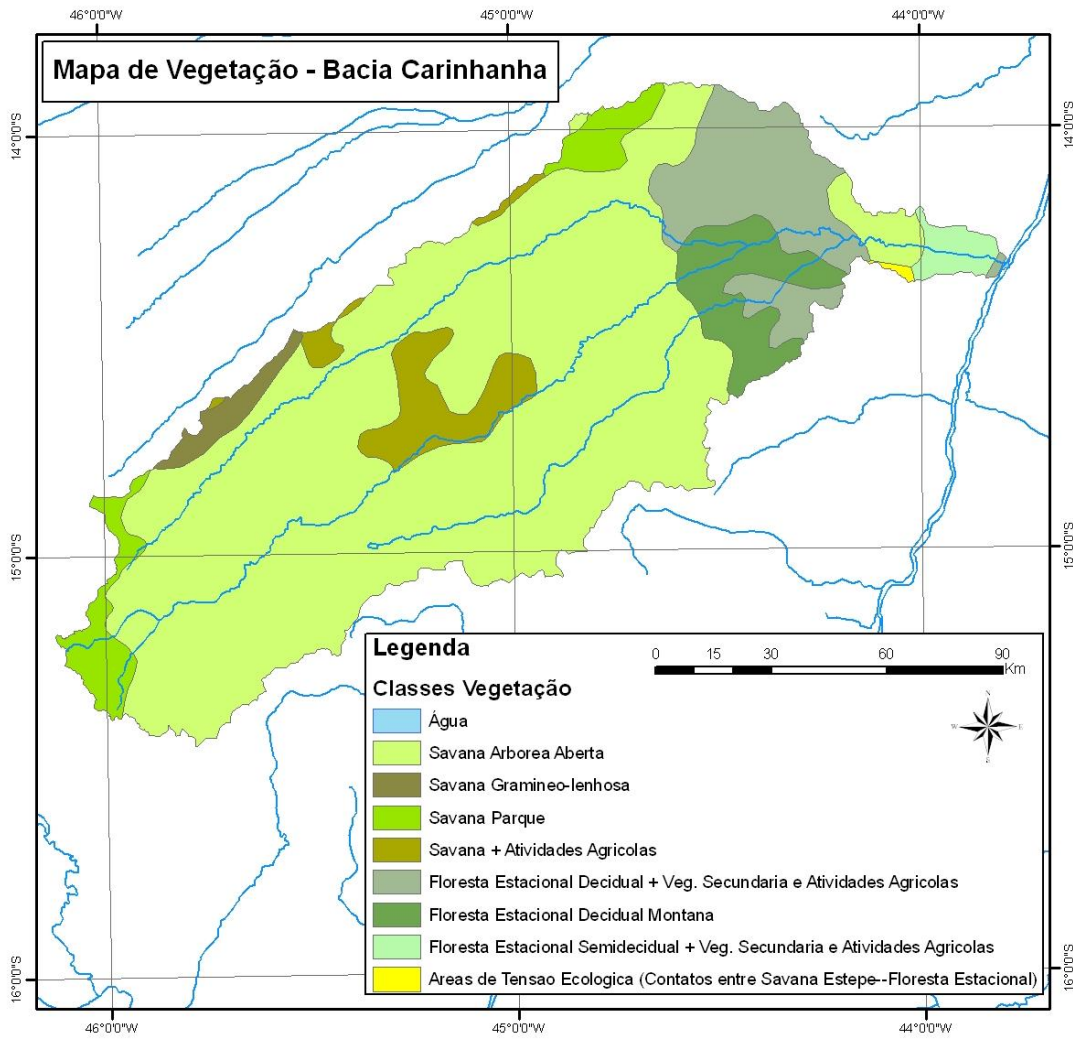


Figura 10 – Mapa de Vegetação – Sub-bacia do Rio Carinhanha (Fonte: IBGE, 1991).

Capítulo 4 – Metodologia

A metodologia utilizada abrange basicamente 5 etapas principais: (a) geração da base dados, incluindo o Modelo Digital do Terreno e mapas derivados; (b) realização de trabalho de campo, com os objetivos principais de auxiliar na classificação das imagens de satélite e coletar amostras de solos; (c) classificação de imagens de satélite *Landsat*, para obtenção do mapa de uso da terra e cobertura vegetal; (d) elaboração de um mapa de solos para a área de estudo; e (e) processamentos das variáveis da EUPS.

O fluxograma das etapas metodológicas para a aplicação da EUPS está demonstrado na Figura 11. Os procedimentos para o cálculo de cada um dos fatores da EUPS estão descritos a seguir.

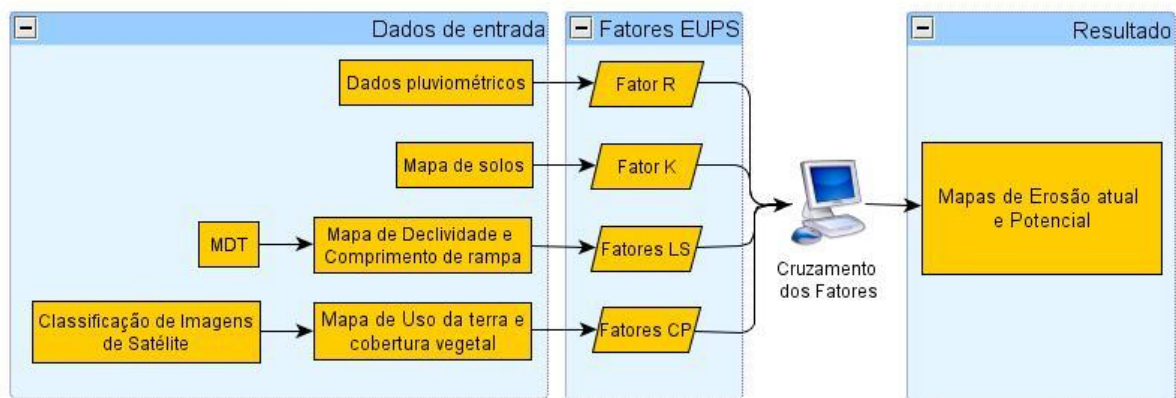


Figura 11 – Fluxograma representativo da aplicação da EUPS.

4.1 – Erosividade da Chuva – Fator R

A chuva é um dos fatores climáticos mais importantes na erosão dos solos. O volume e a velocidade da enxurrada dependem da intensidade, duração e frequência da chuva. A intensidade é o fator pluviométrico mais importante na erosão (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

Para Wischmeier e Smith (1958) quando todos os outros fatores, com exceção da chuva, são mantidos constantes, a perda de solo por unidade de área de um terreno desprotegido de vegetação é diretamente proporcional ao produto de duas características da chuva: energia cinética (E) por sua intensidade máxima em 30 minutos (I_{30}). O índice EI_{30} , de Wischmeier e Smith (1958), vem sendo bastante utilizado em todo o mundo.

Bertoni e Lombardi Neto (1990) consideram que esta é a melhor correlação encontrada para expressar o potencial erosivo da chuva. No entanto a realidade é que em muitos países em desenvolvimento, como o Brasil, ocorre uma grande escassez e até mesmo inexistência de dados pluviográficos necessários para a obtenção do I_{30} . Por esse motivo diversos autores buscaram o estabelecimento de correlações entre o índice de erosividade (R) e características das chuvas de mais fácil mensuração e que não requeiram registros de sua intensidade.

Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) propuseram uma equação para determinação da erosividade da chuva, considerando os valores de precipitação média mensal (mm) e de precipitação média anual (mm). O índice de erosividade média anual da precipitação de um dado local é então computado como o somatório dos valores dos índices médios mensais de erosividade.

Como na área de estudo não existem dados pluviográficos, foi utilizado o método proposto por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) para o cálculo do Fator R. Assim, a erosividade da chuva foi estimada com base nos dados pluviométricos disponíveis e pelo uso da seguinte equação:

$$EI = 67,355 (r^2/P)^{0,85} \quad (2)$$

onde:

- EI é a média mensal do índice de erosão, em MJ.mm/ha.h.ano,
- r é a precipitação média mensal, em mm,
- P é a precipitação média anual, em mm.

A equação 2, proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), foi obtida a partir da utilização de 22 anos de registros de precipitação de Campinas e apresentou alto coeficiente de correlação para a regressão linear entre o índice médio mensal de erosão e o coeficiente chuva (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

O Fator R é, portanto, um valor numérico que representa essa capacidade da chuva de causar erosão em uma área sem proteção. Pode ser obtido pela soma dos valores mensais dos índices de erosão (EI), expressado pela equação 3 a seguir:

$$R = \sum EI \quad (3)$$

Onde:

- R = Erosividade de chuva, em MJ.mm/ha.h;
- EI é a média mensal do índice de erosão, em MJ.mm/ha.h.ano.

4.1.1 - Procedimentos para a elaboração do Mapa de Erosividade da bacia do Carinhanha

Para o cálculo do Fator R na bacia do Rio Carinhanha foram utilizados dados diários de 21 estações pluviométricas localizadas dentro e fora da bacia (Figura 12). A tabela 02 apresenta a lista das estações pluviométricas utilizadas. Os dados de precipitação para cada estação, obtidos no site Hidroweb, da Agencia Nacional de Águas (ANA, 2008), estão apresentados na tabela 03. As séries históricas utilizadas variam de 20 a 30 anos, em função da disponibilidade dos dados. Diversos autores indicam um tempo mínimo de 20 anos para a coleta de dados.

O nível de consistência dos dados é classificado pela ANA como 1 ou 2. O nível 1 é o nível bruto e o 2, o consistido, ou seja, dados já analisados. Buscou-se utilizar o máximo de dados consistidos, mas nem sempre foi possível, pois algumas estações apresentavam somente dados brutos.

Embora a chuva seja um fenômeno contínuo no espaço, medidas pluviométricas são feitas em alguns pontos do terreno, assim a extrapolação dos dados é necessária. Diversas técnicas podem ser utilizadas para se extrapolar medidas pontuais de chuva para toda a área, destacando-se: Médias ponderadas pelo inverso do quadrado da distancia (*IDW*) e *Kriging*. Independente da técnica de interpolação utilizada, os resultados da espacialização de dados pontuais recebem influencia da quantidade e distribuição destes pontos de observação (Valentin, 2008).

Após o cálculo do Fator R para todas as 21 estações pluviométricas, foi feita uma interpolação dos pontos utilizando-se o *Topogrid*, no *ArcGis*, para a obtenção de um mapa de erosividade da chuva. Foram testados outros interpoladores – *Kriging* e *IDW*, porém o *Topogrid* foi o que apresentou um resultado mais consistente.

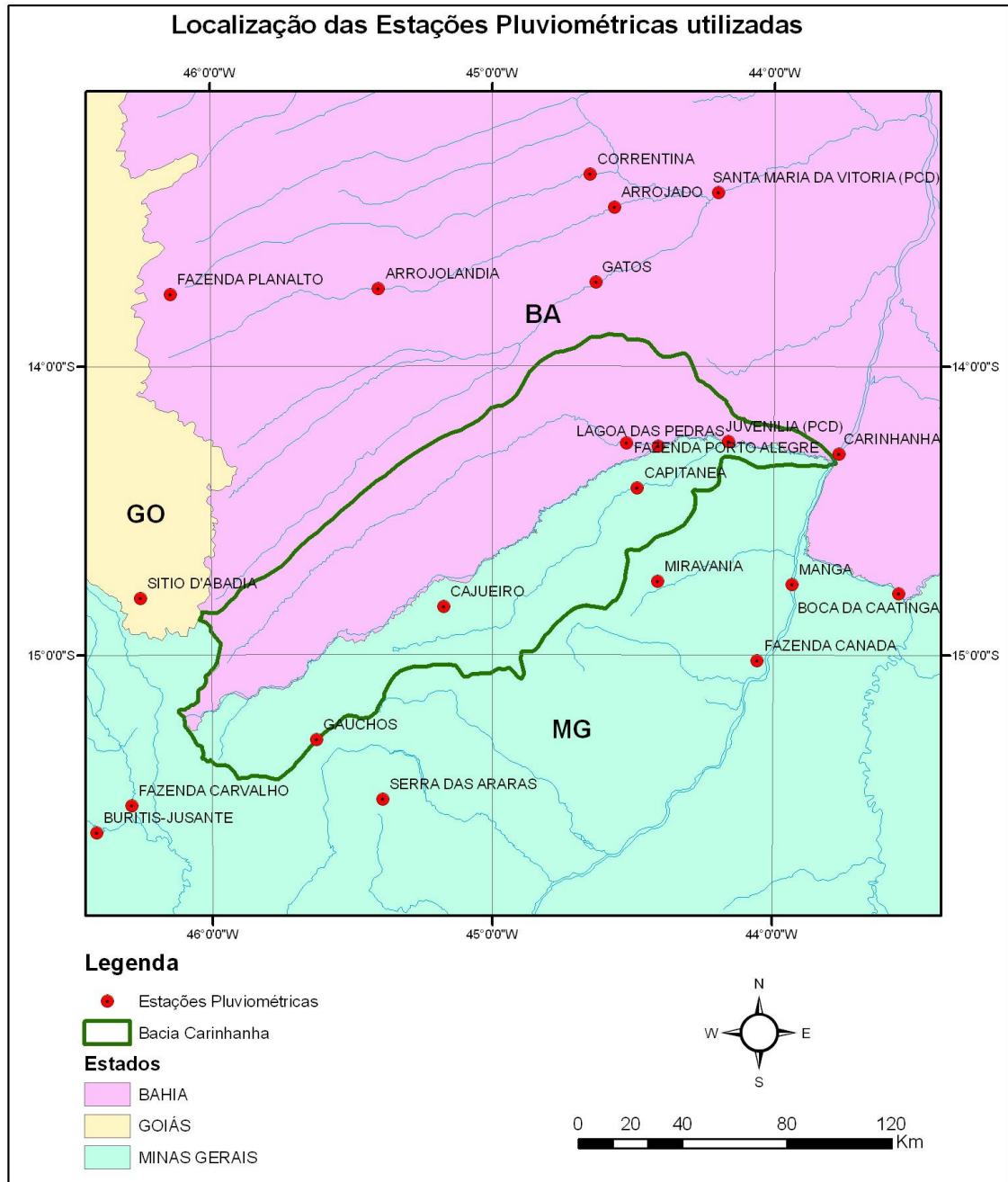


Figura 12 – Localização das estações pluviométricas utilizadas.

Tabela 02 – Relação de estações pluviométricas utilizadas.

Codigo	Nome da Estação	Rio	Município	Responsável	Operadora	Tempo de dados
1344013	GATOS	Rio Formoso	Jaborandi - BA	ANA	CPRM	29
1344014	CORRENTINA	Rio das Éguas ou Corrente	Correntina - BA	ANA	CPRM	30
1344016	ARROJADO	Rio Arrojado	Correntina - BA	ANA	CPRM	30
1344017	SANTA MARIA DA VITORIA (PCD)	Rio Corrente	Santa Maria da Vitória - BA	ANA	CPRM	29
1345000	ARROJOLANDIA	Rio Arrojado	Correntina - BA	ANA	CPRM	25
1346006	FAZENDA PLANALTO		Correntina - BA	ANA	CPRM	26
1443000	BOCA DA CAATINGA	Rio Verde Grande	Matias Cardoso - MG	ANA	Desativada	30
1443001	MANGA	Rio São Francisco	Manga - MG	ANA	CPRM	30
1443002	CARINHANHA	Rio São Francisco	Carinhanha - BA	ANA	CPRM	30
1444001	CAPITANEA (VARZEA DA LARGA)	Rio Coxá	Montalvânia - MG	ANA	CPRM	30
1444003	MIRAVANIA	Rio Itacarambi	Miravânia - MG	ANA	CPRM	30
1444004	JUVENILIA (PCD)	Rio Carinhanha	Juvenília - MG	ANA	CPRM	30
1444005	LAGOA DAS PEDRAS	Rio Carinhanha	Montalvânia - MG	ANA	CPRM	30
1444017	FAZENDA PORTO ALEGRE	Rio Itaguari	Cocos - BA	ANA	CPRM	30
1445000	CAJUEIRO	Rio Carinhanha	Bonito de Minas - MG	ANA	CPRM	25
1446004	SITIO D'ABADIA	Córrego Suçuarana	Sitio D'Abadia - GO	ANA	CPRM	23
1544018	FAZENDA CANADA	Rio São Francisco	Itacarambi - MG	ANA	CPRM	30
1545002	SERRA DAS ARARAS	Rio Pardo	Chapada Gaúcha - MG	ANA	CPRM	24
1545004	GAUCHOS	Rio Pardo	Chapada Gaúcha - MG	ANA	CPRM	20
1546001	BURITIS-JUSANTE	Rio Urucuia	Buritis - MG	ANA	CPRM	25
1546010	FAZENDA CARVALHO	Rio São Domingos	Buritis - MG	ANA	CPRM	20

Tabela 03 – Dados de pluviosidade.

Médias de pluviosidade														
ESTAÇÃO	CODIGO	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total Ano
GATOS	1344013	180,15	147,23	142,97	58,24	9,05	2,79	0,80	1,74	13,09	77,17	183,72	250,64	1067,57
CORRENTINA	1344014	173,77	132,58	138,86	46,61	8,06	2,17	1,00	1,16	13,18	84,37	168,25	208,42	978,44
ARROJADO	1344016	170,06	141,81	133,54	51,12	12,70	2,56	1,21	1,69	15,24	77,35	172,87	209,94	990,08
SANTA MARIA DA VITORIA	1344017	173,20	144,40	142,72	45,42	7,86	4,92	1,46	2,16	12,33	61,06	157,11	205,31	957,96
ARROJOLANDIA	1345000	133,01	118,31	137,00	54,37	8,98	1,13	0,63	3,16	17,54	64,58	134,49	222,95	896,15
FAZENDA PLANALTO	1346006	180,94	176,56	193,30	80,35	20,80	3,33	0,42	4,19	25,57	93,42	195,13	267,85	1241,87
BOCA DA CAATINGA	1443000	147,61	95,36	120,17	37,34	5,49	3,31	1,71	0,93	12,96	57,70	126,13	182,86	791,58
MANGA	1443001	146,61	103,88	98,06	35,00	4,02	3,29	0,22	4,17	10,42	61,32	138,69	187,12	792,80
CARINHANHA	1443002	163,30	109,90	109,47	42,74	6,08	3,94	0,59	1,04	12,72	47,40	137,19	198,62	832,99
CAPITANEA	1444001	161,73	114,97	129,36	51,33	8,89	3,79	0,57	3,44	14,36	77,41	145,12	230,65	941,61
MIRAVANIA	1444003	177,68	134,34	142,77	37,68	7,82	3,68	0,94	2,97	11,50	75,05	169,93	226,48	990,83
JUVENILIA (PCD)	1444004	138,95	119,52	116,28	42,36	6,02	2,72	0,93	1,25	12,76	51,93	141,79	224,97	859,48
LAGOA DAS PEDRAS	1444005	172,87	130,53	126,66	46,20	8,63	4,00	0,63	3,05	13,02	72,99	160,23	242,83	981,64
FAZENDA PORTO ALEGRE	1444017	183,52	121,77	135,56	46,17	9,47	4,86	0,68	2,17	13,50	70,89	163,02	236,68	988,29
CAJUEIRO	1445000	191,32	148,18	158,36	54,55	17,34	2,96	2,15	7,29	20,77	82,29	208,64	246,53	1140,38
SITIO D'ABADIA	1446004	180,42	163,28	197,83	88,82	28,47	4,87	1,67	6,18	31,93	102,53	193,80	242,36	1242,15
FAZENDA CANADA	1544018	153,41	98,68	110,11	32,18	9,78	3,07	0,37	0,37	9,64	64,65	145,29	210,03	837,58
SERRA DAS ARARAS	1545002	207,71	153,59	177,15	68,47	12,92	3,43	2,15	3,64	19,08	73,69	195,80	289,59	1207,23
GAUCHOS	1545004	167,33	152,26	211,78	82,04	20,19	1,80	0,00	1,82	11,93	87,68	239,35	266,38	1242,54
BURITIS-JUSANTE	1546001	218,98	168,58	155,53	73,65	24,69	4,35	5,93	11,97	25,18	95,30	214,91	256,18	1255,24
FAZENDA CARVALHO	1546010	173,31	170,12	224,44	53,56	14,59	4,15	0,42	2,05	20,71	86,34	219,96	236,64	1206,29
Média		171,23	135,52	147,71	53,72	11,99	3,39	1,17	3,16	16,07	74,53	171,97	230,62	1021,08
Mínimo		133,01	95,36	98,06	32,18	4,02	1,13	0,00	0,37	9,64	47,40	126,13	182,86	791,58
Máximo		218,98	176,56	224,44	88,82	28,47	4,92	5,93	11,97	31,93	102,53	239,35	289,59	1255,24

4.2 – Erodibilidade do solo – Fator K

A erodibilidade de um solo (Fator K) é definida como sua capacidade de resistir aos processos erosivos e depende das características intrínsecas do solo e de fatores subsidiários como ciclos de umedecimento e secagem, além da composição química da água nele presente (Vilar e Prandi, 1993).

Camapum de Carvalho *et al.* (2006) destacam que a erosividade da chuva e a erodibilidade do solo são dois importantes fatores físicos que afetam a magnitude da erosão do solo. Ressaltando o papel do solo no processo, os autores observam que mesmo que a chuva, a declividade do terreno e a cobertura vegetal sejam as mesmas, alguns solos são mais susceptíveis ao destacamento e ao transporte de partículas pelos agentes de erosão que outros.

As propriedades do solo que influenciam a erodibilidade pela água são aquelas que: (a) afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade total de armazenamento de água; (b) resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento (Wischmeier e Smith, 1965).

O Fator K é, portanto, uma característica intrínseca do solo. Tem seu valor quantitativo determinado experimentalmente em parcelas unitárias, sendo expresso como a perda de solo (A), por unidade de índice de erosão da chuva (EI), enquanto todos os outros fatores (L,S,C,P) têm valor unitário (Bertoni e Lombardi Neto, 1990). A equação 4 expressa como deveriam ser calculados os valores de K:

$$K = A/EI \quad (4)$$

Onde:

- A = perda de solo;
- EI = índice de erosão da chuva.

No entanto, medidas experimentais do valor de K, conforme as normas estabelecidas por Wischmeier e Smith (1978) para a Equação Universal de Perdas de Solos são custosas e requerem muitos anos de estudos, além da dificuldade em se isolar os efeitos de solo de outros fatores. Por isso outros meios passaram a ser utilizados para a estimativa da erodibilidade do solo (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

Existem três maneiras diferentes de se determinar a erodibilidade do solo (Silva *et al.*, 2000). A primeira envolve a determinação do fator K em condições de campo, sob chuva natural, método oneroso e muito demorado. O segundo método é semelhante ao primeiro,

porém baseia-se na quantificação do fator K em razão das perdas de solo e do fator erosividade, sob condições de chuva simulada. Estes dois métodos são considerados padrões e refletem a erodibilidade do solo como é preconizada pela Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) (Wischmeier e Smith, 1978). O terceiro método baseia-se em regressões múltiplas que contenham como variáveis independentes atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do solo ou relações destes, correlacionados com o fator K obtido pelos métodos padrões. Este último é classificado como método indireto.

Dentre os procedimentos de obtenção de forma indireta do fator K, pode-se destacar o uso do nomograma, desenvolvido por Wischmeier *et al.* (1971), bastante difundido e utilizado. O nomograma utiliza os seguintes parâmetros do solo: porcentagem de silte, areia muito fina, areia, matéria orgânica, estrutura e permeabilidade. Os atributos utilizados referem-se ao horizonte superficial do solo, já que a EUPS trabalha com erosão laminar.

Denardin (1990) desenvolveu uma equação para determinar o Fator K de forma indireta, compilando os valores medidos em mais de trinta localidades diferentes no Brasil. Chaves (1994) também desenvolveu uma equação para determinar indiretamente a erodibilidade dos solos da Bacia do São Francisco:

$$K = 2,47 \times 10^{-3} (SIL) - 5,23 \times 10^{-3} (OAL) + 8,89 \times 10^{-3} (CO)^2 + 1,15 \times 10^{-2} (OFE)^4 + 1,42 \times 10^{-4} (OSI + OSI^2) - 1,89 \times 10^{-2} \left[\frac{OSI}{(OFE + OAL)} \right]^6 \quad (5)$$

Onde:

- SIL = porcentagem de silte no solo;
- OAL = porcentagem de óxido de alumínio;
- CO = porcentagem de carbono orgânico;
- OFE = porcentagem de óxido de ferro;
- OSI = porcentagem de óxido de silício, sendo todos os óxidos extraíveis por ácido sulfúrico.

4.2.1. Procedimentos para a elaboração do Mapa de Erodibilidade da bacia do Carinhanha

O mapa de erodibilidade da sub-bacia do Carinhanha foi elaborado a partir do mapa pedológico gerado para a área de estudo. Na elaboração deste mapa foram utilizados como base o mapa de solos da CODEVASF (Figura 07), juntamente com o mapa gerado por Quirino (2007) (Figura 08), que definiu melhor os limites das unidades de mapeamento.

A coleta de amostras realizada no trabalho de campo permitiu a identificação dos tipos de solo em alguns pontos da bacia do Carinhanha, demonstrando ser possível melhorar o detalhamento do mapa pedológico. Foram realizadas coletas em 67 pontos, totalizando 172 amostras, coletadas com o objetivo de identificar os tipos de solo. Foram feitas coletas em duas profundidades: 20 e 40 cm, com exceção de alguns pontos onde o solo era muito raso, nos quais foi coletada apenas uma amostra. As análises químicas, físicas e leitura de cor, bem como a identificação dos solos foram realizadas pela EMBRAPA Cerrados.

Além dos mapas pré-existentes (Figuras 07 e 08) e dos resultados das análises dos solos coletadas, foram utilizados como apoio o Mapa Geológico, o Modelo Digital do Terreno e as imagens de satélite *Landsat* para a delimitação das unidades de mapeamento.

A determinação do Fator K para a sub-bacia do Carinhanha baseou-se no estudo de Chaves (1994) para toda a Bacia do São Francisco. Os valores foram repassados pela CODEVASF, juntamente com o mapa de solos (Figura 07), tendo sido obtidos pela aplicação da equação 5.

Durante a elaboração do novo mapa de solos da bacia do Carinhanha, não foi possível individualizar os tipos de solo em todas as áreas, em função da baixa disponibilidade de informações e de amostras coletadas para análise. Por isso a maior parte das unidades de mapeamento é formada por associações de tipos de solo. Nesses casos, o valor de K para cada classe foi obtido a partir do cálculo da média ponderada, baseada em uma estimativa do percentual de predominância de cada tipo de solo. Admite-se que, havendo duas unidades taxonômicas, a primeira representa 60% da área e a segunda 40% e, no caso de quatro unidades, a primeira representa 40% da área e as outras três, 20% cada.

Os valores de K utilizados como base para o cálculo das médias ponderadas são apresentados na Tabela 04, juntamente com cada tipo de solo encontrado na área de estudo, de acordo com levantamento da CODEVASF, e as nomenclaturas antiga e nova.

Tabela 04 – Fator K para cada tipo de solo (Chaves, 1994).

Tipo de solo (nomenclatura antiga)	Nova nomenclatura	Fator K
Solos Aluviais	Neossolo Flúvico	0,047
Solos Arenoquartzosos Profundos	Neossolo Quartzarênico	0,0078
Cambissolos	Cambissolos	0,06
Latossolo Amarelo	Latossolo Amarelo	0,028
Latossolo Vermelho-amarelo	Latossolo Vermelho-amarelo	0,02
Latossolo Vermelho escuro	Latossolo Vermelho	0,013
Podzólico Vermelho amarelo	Argissolo Vermelho-amarelo	0,0293
Solos Litólicos	Neossolo Litólico	0,035

4.3 – Fator Topográfico (LS)

Bertoni e Lombardi Neto (1990) descrevem o Fator LS como a relação esperada de perdas de solo por unidade de área em um declive qualquer em relação a perdas de solo correspondentes de uma parcela unitária de 25m de comprimento com 9% de declive.

As características do relevo influenciam fortemente a intensidade da erosão hídrica. Os fatores que representam o relevo na EUPS são o comprimento de rampa e a declividade, respectivamente L e S. O Fator L, que é adimensional, adota o comprimento de rampa medido em metros, sem a unidade. Já o Fator S é caracterizado como o ângulo ou o índice de inclinação do terreno (Farinasso, 2005).

O comprimento de rampa é a distância entre o ponto de início do escoamento até o ponto onde o gradiente do declive decresce, permitindo o início da deposição, ou onde a água encontra um canal bem definido. A declividade é caracterizada pelo ângulo de inclinação do terreno. Quanto maiores o comprimento de rampa e o declive, maiores podem ser as perdas de solo na área (Wischmeier e Smith, 1978).

A EUPS foi inicialmente desenvolvida para predição de erosão em trechos de declives mais uniformes. Como as vertentes são geralmente heterogêneas, vários procedimentos foram propostos para calcular o comprimento de rampa. Wischmeier e Smith (1978) passaram a atribuir pesos para cada trecho da vertente, conforme fosse côncava ou convexa. Com isso, o cálculo do comprimento de rampa se tornou muito mais complexo, exigindo novas soluções, pois os métodos manuais tornaram-se insuficientes. O uso de ambientes computacionais a partir do Modelo Digital de Terreno permite uma otimização no cálculo das variáveis da EUPS (Carvalho Junior *et al.*, 2001b).

4.3.1 – Elaboração do Modelo Digital do Terreno e Mapas derivados

O Modelo Digital do Terreno (MDT) foi gerado a partir dos dados de curvas de nível, pontos cotados e hidrografia das cartas topográficas de 1:100.000. A distância das curvas de nível é de 40 ou 50 metros, variando de uma carta para outra. As cartas topográficas utilizadas são da Diretoria de Serviços Geográficos do Exército (DSG) e da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) (Figura 13). As cartas foram previamente digitalizadas e vetorizadas pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF). A junção e primeira correção das cartas foi feita por Quirino (2007), com a utilização dos softwares *ArcView* e *ArcGis*. Foram feitas novas correções nos dados topográficos para a realização deste trabalho.

O método utilizado para interpolação foi o *Topogrid* do *Arcinfo* desenvolvido para estudos hidrológicos (Hutchinson, 1989). O método *Topogrid* é descrito como um dos melhores métodos para a geração de MDT hidrológicamente consistente, sendo um dos mais referenciados modelos utilizados em bacias hidrográficas (Valentin, 2008; Guimarães, 2000). Devido à grande extensão da área de estudo o MDT foi gerado com uma resolução espacial de 60 metros.

A partir do MDT foram então gerados os mapas derivados, utilizando-se o SINMAP (*Stability Index MAPping*), extensão para o *ArcGis* e *ArcView*, desenvolvida por Tarboton (Pack *et al.*, 2005), que possibilita a análise computacional dos dados digitais de elevação. Os mapas derivados gerados foram: direção de fluxo, declividade e área de contribuição.

Foi feita também a delimitação da bacia de forma automática com o uso da extensão *Terrain analysis using Digital Elevation Models* (TauDEM), do *ArcGis*. O aplicativo utiliza como base o Modelo Digital do Terreno (MDT), a partir do qual gera a direção de fluxo e o fluxo acumulado. O ponto exutório (*outlet*) foi determinado anteriormente utilizando-se como base a Hidrografia convertida para o formato *raster*, para melhorar a precisão do mesmo. Posteriormente foram feitas edições para corrigir algumas incongruências geradas no processo.

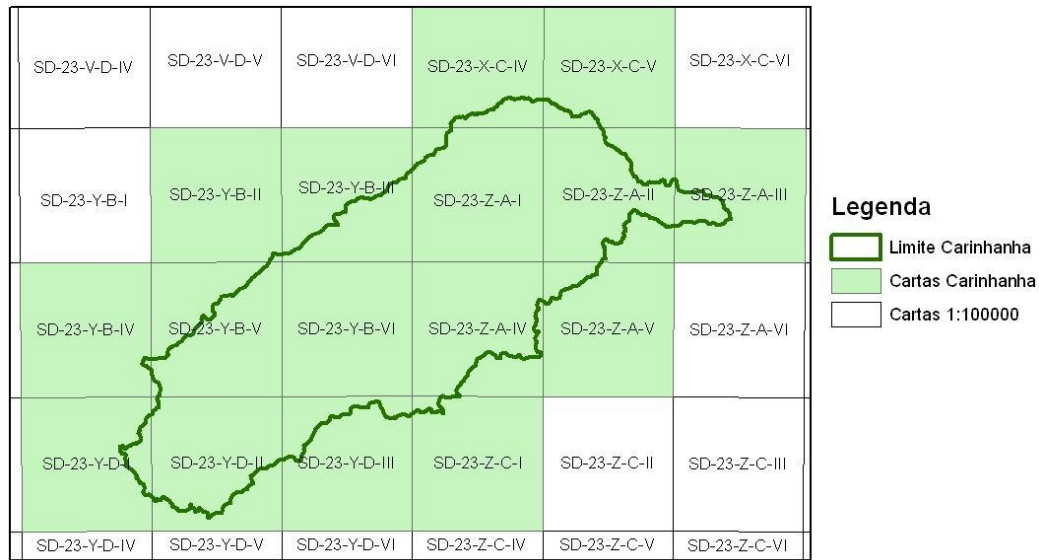


Figura 13 – Cartas topográficas 1:100.000, que cobrem a área da Bacia do Carinhanha.

4.3.2. Procedimentos para o Cálculo do Fator LS na bacia do Carinhanha

O Fator LS apresenta dificuldades para ser modelado em ambiente computacional em virtude da variável comprimento de rampa. Para regiões maiores, como bacias hidrográficas, o conceito de comprimento de rampa torna-se inviável do ponto de vista operacional. Sua estimativa pode, então, ser feita a partir da área de contribuição, entendida como a área drenada à montante de cada célula de uma matriz computacional representativa do relevo (Farinasso *et al.*, 2006).

Desta forma, Desmet e Govers (1996) desenvolveram um modelo matemático (equação 6) para o cálculo do fator L da EUPS:

$$L_{ij} = [(A_{i-j-in} + D^2)^{m+1} - (A_{i-j-in})^{m+1}] / [D^{m+2} \cdot x_{ij}^m \cdot (22,13)^m] \quad (6)$$

Onde:

A_{i-j-in} = área de contribuição da célula com coordenada (i,j) (m^2);

D = tamanho da célula (m);

m = coeficiente função da declividade para a grade de célula com coordenada (i,j) onde o coeficiente “m” é obtido a partir das classes de declividade. Sendo m=0,5, se a declividade for >5%; m=0,4 para o intervalo de 3 a 5%; m=0,3 para o intervalo de 1 a 3%; e m=0,2 para declividade inferior a 1%;

x = coeficiente função do aspecto para a grade de célula com coordenada (i,j), obtido pela equação $x = \text{sena}/\text{cosa}$ onde α é a direção do fluxo na vertente.

O algoritmo de Desmet e Govers emprega o conceito de área de contribuição, utilizando em sua formulação o fluxo acumulado. A área é segmentada de acordo com a resolução do MDT e cada célula passa a ter uma determinada declividade, direção de fluxo e a quantidade de fluxo que se acumulou na mesma (Silva, 2001).

Carvalho Júnior e Guimarães (2001) desenvolveram um programa em linguagem IDL com o objetivo de automatizar os procedimentos de cálculo definidos na equação 6, por Desmet e Govers (1996). Posteriormente, em 2003, desenvolveram o mesmo programa em linguagem AML (*Arcinfo Macro Language*), utilizado neste trabalho para a obtenção do LS. Os dados de entrada são os mapas em formato GRID de declividade (S), aspecto e o mapa da área de contribuição, obtidos a partir do MDT. A metodologia para obtenção do MDT e dos mapas derivados está descrita no subitem 4.3.1.

Para a obtenção do mapa de área de contribuição foi utilizado o método D_{∞} , desenvolvido por Tarboton (1997), que calcula a direção do fluxo d'água de acordo com a declividade do terreno, distribuindo o fluxo proporcionalmente entre as células vizinhas, o que representa o caminho seguido pelo fluxo da água de forma mais real. Este método foi desenvolvido na tentativa de solucionar as inconsistências comuns produzidas por métodos tradicionais de cálculo de direção de fluxo, como o D8 (O'Callaghan e Mark, 1984). O método D_{∞} foi o escolhido porque apresenta resultados mais precisos que o método D8, o qual utiliza um *pixel* como base e direciona o fluxo para o que tiver menor valor. Diversos autores como Silva (2001), Roig (2005), Valentin (2008), e Farinasso (2005) compararam os métodos D8 e D_{∞} para geração da área de contribuição e concluíram que o segundo é o que apresenta melhores resultados.

4.4 – Uso e manejo da terra e práticas conservacionistas - Fator CP

Os fatores C e P estão relacionados ao uso da terra e cobertura vegetal da Bacia, podendo portanto variar ao longo dos anos em função de mudanças na forma e intensidade deste uso.

O Fator C, uso e manejo, é um valor adimensional, obtido de forma empírica. É a relação esperada entre a perda de solo de um terreno sob um uso e manejo qualquer e as perdas correspondentes de um terreno de mesmo solo, mantido continuamente descoberto. Esse fator mede o efeito combinado de todas as relações das variáveis de cobertura e manejo (Wischmeier & Smith, 1978).

Bertoni e Lombardi Neto (1990) consideram que os efeitos das variáveis uso e manejo não podem ser avaliados independentemente, devido às diversas interações que ocorrem. A forma como cada cultura é plantada, como seus restos são tratados, como o solo é preparado são alguns dos fatores cujas combinações apresentam diferentes efeitos nas perdas de solo. Além dessas variáveis, ainda devem ser considerados o tipo de vegetação e seu desenvolvimento, bem como a quantidade de chuvas erosivas que ocorrem durante os períodos de proteção mínima do solo. O fator C mede o efeito combinado de todas essas relações das diversas variáveis de cobertura e manejo acima enumeradas.

Valentin (2008) destaca que, com relação ao Fator C, quanto maior a densidade da cobertura vegetal, maior é a sua importância na redução da remoção de sedimentos no processo de escoamento superficial e na conseqüente conservação do solo.

O Fator P está relacionado às práticas conservacionistas. Representa a relação entre a intensidade de perdas de solo com determinada prática de manejo e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive. Bertoni e Lombardi Neto (1990) apresentam os valores de P para as principais práticas conservacionistas utilizadas na agricultura do Brasil (tabela 05).

Stein *et al.* (1987) consideram que os Fatores C e P só devem ser tratados separadamente quando o objetivo do trabalho for definir formas mais adequadas de produção agrícola, minimizando os impactos gerados sobre o meio físico. Porém, quando o trabalho enfoca a perda de solos por erosão, essas variáveis estão de tal forma interrelacionadas que devem ser analisadas conjuntamente. Neste caso os dados de C e P não são mais analisados em função do estágio de desenvolvimento da cultura, mas sim pelo uso e ocupação da terra.

Tabela 05 – Valor de P para práticas conservacionistas (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

Práticas Conservacionistas	Fator P
Plantio Morro abaixo	1,0
Plantio em contorno	0,5
Alternância de capinas + Plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2

Stein *et al.* (1987) buscaram correlacionar as classes de uso e ocupação do solo com as variáveis CP integradas na tabela 06. Neste processo consideraram o valor de P=1, constante, por ser a pior situação quanto às perdas de solo em função das práticas conservacionistas, já que não conseguiram obter valores confiáveis de P para toda sua bacia de estudo. Como neste trabalho o mapa de uso da terra e cobertura vegetal foi gerado por meio de sensoriamento

remoto, também não foi possível obter valores confiáveis de P, pois o mapeamento foi feito em escala regional.

O mapa de uso da terra e cobertura vegetal foi gerado a partir da interpretação da classificação de imagens de satélite *Landsat 5*, do ano de 2007, com auxílio de informações obtidas em campo. A metodologia utilizada na classificação está descrita no subitem a seguir. Baseado neste mapa, foram atribuídos os valores de CP para cada classe, adaptados da proposta de Stein *et al.* (1987), dispostos na tabela 06.

Tabela 06 – Categorias de ocupação e valores correspondentes de CP (Stein et al., 1987).

Grupo	Categoria	CP (Adimensional)
1. Vegetação de porte alto a médio, com cobertura total do terreno		0,00004
	1a. Floresta	0,00004
	1b. Vegetação secundária	0,00004
	1c. Cerradão	0,00004
	1d. Reflorestamento	0,0001
2. Vegetação de porte médio a baixo, cobertura total do terreno		0,01035
	2a. Cobertura residual	0,0007
	2b. Cerrado	0,0007
	2c. Cultura permanente	0,02
	2d. Cana-de-açúcar	0,05
3. Vegetação de porte médio a baixo, cobertura parcial do terreno		0,25
	3a. Cobertura residual	0,25
	3b. Cultura perene	0,25
4. Vegetação de porte baixo a rasteiro, cobertura total do terreno		0,01
	4a. Cobertura residual	0,01
	4b. Pastagem	0,01
	4c. Cultura temporária	0,20
	4d. Campo cerrado	0,01
	4e. Campo natural	0,01
5. Vegetação de porte baixo a rasteiro, cobertura parcial do terreno		0,10
	5a. Cobertura residual	0,10
	5b. Pastagem	0,10
	5c. Cultura temporária	0,20
6. Ocupações naturais diversas		0,00
	6a. Várzea	0,00
	6b. Espelho d'água	0,00
7. Ocupações antrópicas diversas		0,00
	7a. Área urbanizada	0,00

4.4.1 – Classificação das Imagens de Satélite

Para se obter o mapa de uso da terra e cobertura vegetal foi feita a classificação de imagens de 2007 do satélite TM-Landsat 5 referentes a três órbitas-pontos: 219-070, 220-070 e 220-071. As imagens foram obtidas junto ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).

As imagens receberam correção radiométrica e geométrica. Desta forma, os valores digitais originais foram transformados em reflectância, favorecendo a junção de imagens em mosaicos e comparação de dados multitemporais ou com espectros provenientes de bibliotecas espectrais. No georrefenciamento das imagens foram adotadas as imagens ortorretificadas do projeto *Global Land Cover Facility (GLCF)*, organizado pela *NASA* e pela *University of Maryland*.

A metodologia utilizada para a obtenção do mapa de uso da terra e cobertura vegetal consistiu em duas etapas: (a) classificação não-supervisionada *Isodata*; e (b) edição das classes previamente obtidas por interpretação visual em tela. Na classificação pela *Isodata* foram adotados os seguintes parâmetros: número de interações 50, mínimo de 100 pixels por classe, e número de classes de 5 a 10. Sobre a imagem previamente classificada e com as informações levantadas em campo foi realizado um refinamento da classificação por interpretação visual. A figura 14A mostra o resultado da classificação *Isodata* antes da edição e a 14B mostra o resultado final, após a edição manual e generalização das classes.

O mapa final apresenta 11 classes: Água; Área úmida / veredas; Afloramento de rochas; Cerrado; Floresta estacional; Mata ciliar; Área de transição (cerrado/caatinga); Área desmatada sem uso / vegetação secundária; Área rural de uso diversificado; Área urbana; Solo exposto.

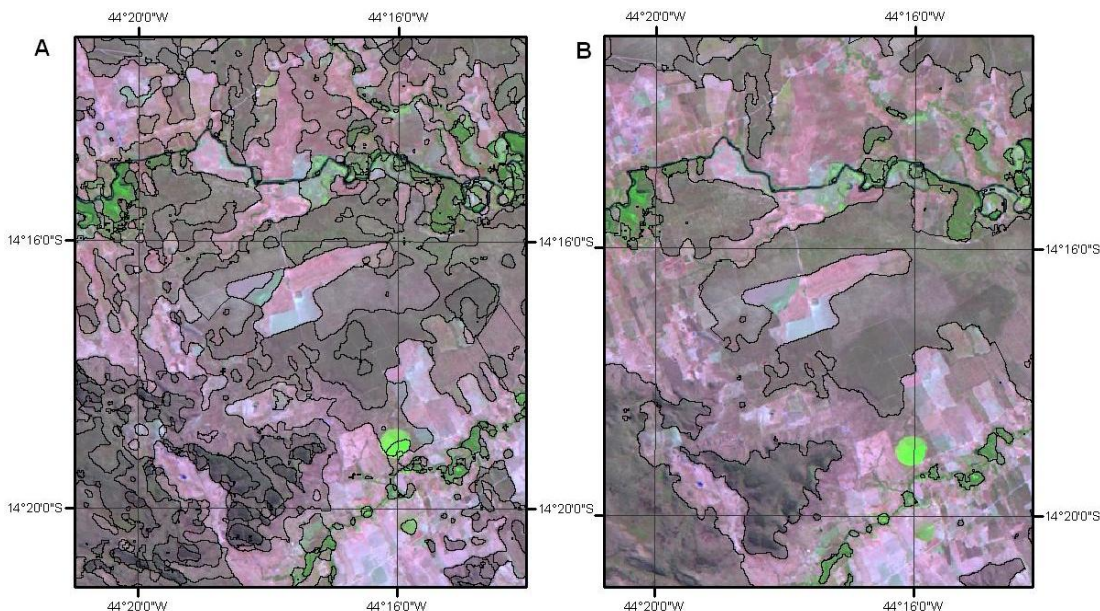


Figura 14 - Classificação Isodata (A) sem edição, (B) editada manualmente.

4.4.2 – Trabalho de Campo

O trabalho de campo teve com o objetivo realizar um reconhecimento da área de estudo para auxiliar na classificação das imagens de satélite, como também, coletar informações dos fatores físicos (cobertura vegetal, relevo e solos) e antrópicos (técnicas de manejo, uso e ocupação da terra).

Os pontos de coleta eram escolhidos à medida que eram detectadas alterações em qualquer dos fatores observados, fosse relevo, solo, cobertura vegetal ou uso da terra. Alguns locais foram previamente selecionados por apresentarem alguma característica específica ou por dúvidas relacionadas à identificação de alvos nas imagens de satélite.

Com o uso de um GPS, foram identificados 106 pontos, onde foram coletadas informações relevantes para o trabalho e feitos registros fotográficos. Em 67 destes pontos foram feitas coletas de solos, para a realização de ensaios de laboratório. O GPS utilizado foi o *Tribble GeoXT*, com precisão submétrica, que também permite o uso de ferramentas de SIG, possibilitando a consulta a dados georreferenciados e imagens de satélite.

O trajeto percorrido está representado na figura 15, juntamente com os pontos de coletas de informações e de solos. Devido às dificuldades encontradas em função da precariedade de estradas e infraestrutura em geral, as coletas ficaram concentradas nas estradas principais.

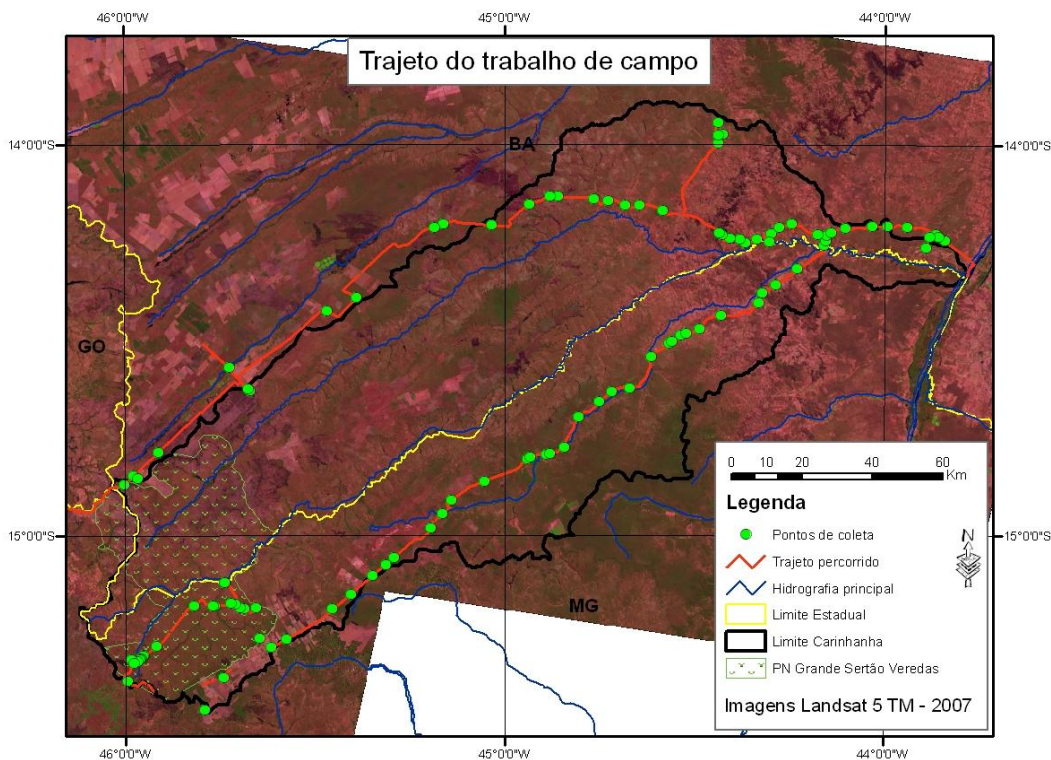


Figura 15 – Trajeto percorrido no trabalho de campo e pontos de coleta.

Capítulo 5 – Resultados Obtidos

5.1 – Fator R – Erosividade da Chuva

Os resultados da análise da erosividade das chuvas na sub-bacia do Rio Carinhanha mostram que o valor médio anual encontrado para a área de estudo foi de 6.491 MJ.mm/ha.h.ano variando de 5.584 MJ.mm/ha.h.ano a 7.664 MJ.mm/ha.h.ano (Figura 16). A Tabela 07 mostra as médias mensais dos índices de erosão (EI) e o Fator R para cada estação pluviométrica utilizada, bem como o valor médio mensal geral, o desvio padrão, valores máximos e mínimos.

Pode-se perceber que os valores de erosividade (Fator R) são relativamente baixos, pois é uma região onde a pluviosidade é naturalmente baixa. O mapa do Fator R (Figura 16) mostrou-se coerente com o mapa da Classificação Climática (Figura 05). Na porção oeste da bacia, onde o clima é classificado como úmido, o valor do Fator R é o mais alto, de 6800 até 7600 MJ.mm/ha.h.ano.

Há uma tendência de diminuição dos valores de erosividade de oeste para leste, passando pela área classificada como clima subúmido seco até o clima semi-árido, na porção leste da bacia, área mais próxima à foz do Carinhanha com Rio São Francisco. Os menores valores de R são encontrados na porção da bacia classificada como clima semi-árido, cuja característica principal é justamente a deficiência hídrica.

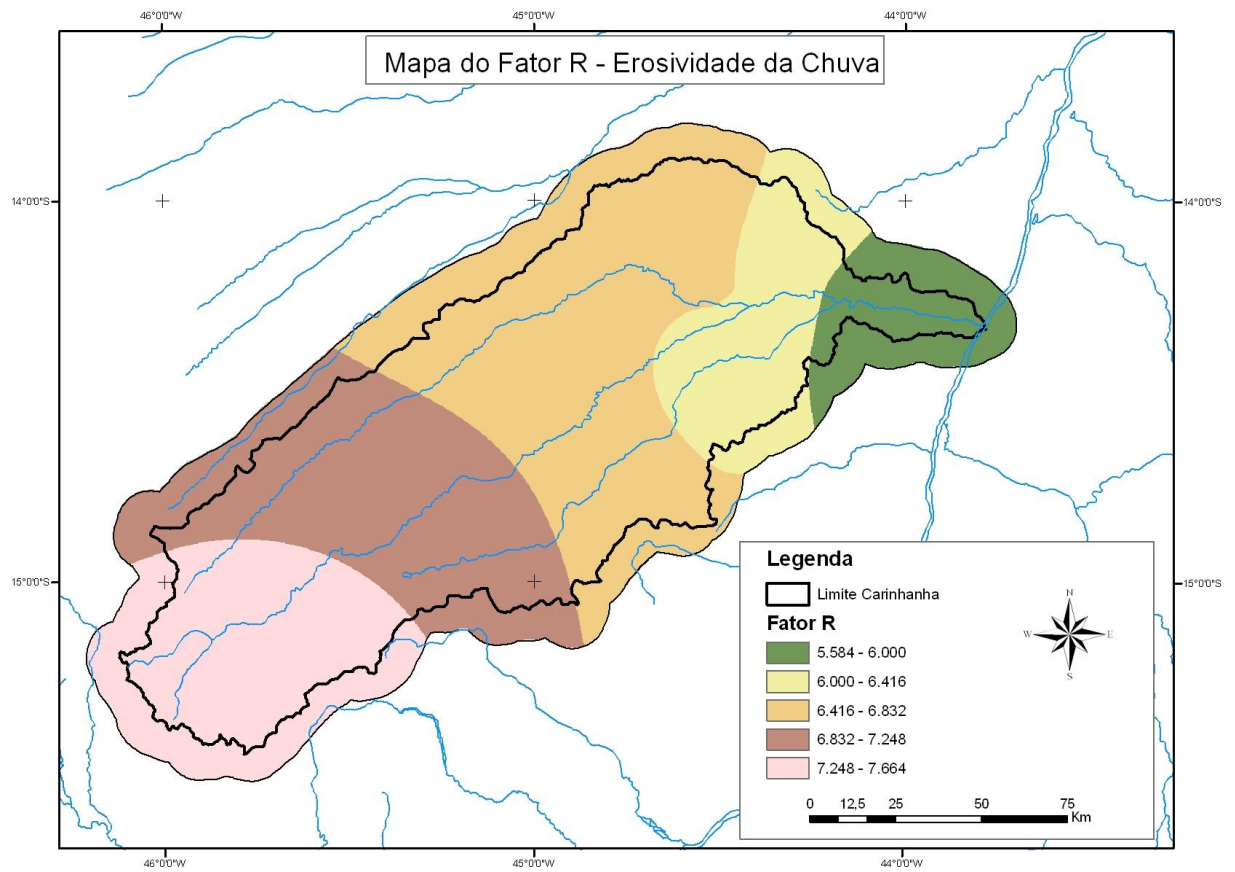


Figura 16 – Mapa do Fator R – Erosividade da chuva.

Tabela 07 - Estações Pluviométricas com valores de EI e Fator R.

EI / FATOR R														
ESTAÇÃO	CODIGO	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Fator R
GATOS	1344013	1283,2001	910,5387	866,1921	188,1783	7,9363	1,0748	0,1285	0,4794	14,7405	278,8434	1265,1674	2066,4269	6882,906
CORRENTINA	1344014	1242,7190	784,5305	848,8182	132,7037	6,7219	0,7199	0,1934	0,2489	15,4979	363,8610	1176,3973	1692,8736	6265,285
ARROJADO	1344016	1185,9273	870,8643	786,2665	153,6927	14,3986	0,9464	0,2660	0,4671	19,6465	310,7645	1219,4331	1696,7220	6259,395
SANTA MARIA DA VITORIA	1344017	1258,2662	923,6143	905,3914	129,3046	6,5462	2,9558	0,3725	0,7303	14,0972	213,7739	1066,0824	1680,1082	6201,243
ARROJOLANDIA	1345000	850,0398	696,6201	893,8208	185,7508	8,6914	0,2573	0,0955	1,4766	27,1560	248,8674	866,1818	2045,5326	5824,49
FAZENDA PLANALTO	1346006	1086,9822	1042,6237	1216,181	273,4292	27,4947	1,2186	0,0366	1,8054	39,0413	353,3266	1235,8279	2117,5351	7395,503
BOCA DA CAATINGA	1443000	1127,5861	536,4918	794,8737	109,0041	4,1868	1,7719	0,5747	0,2051	18,0384	228,3526	863,1151	1622,7864	5306,987
MANGA	1443001	1113,1593	619,7028	561,8436	97,5136	2,4619	1,7511	0,0176	2,6201	12,4363	252,9081	1012,8752	1685,3246	5362,614
CARINHANHA	1443002	1282,0893	653,8816	649,5276	131,3012	4,7731	2,2792	0,0903	0,2389	16,7222	156,5293	953,4349	1788,4129	5639,281
CAPITANEA (Varzea Larga)	1444001	1136,4069	636,1489	777,4043	161,4918	8,1986	1,9245	0,0763	1,6284	18,5271	324,7138	945,2116	2077,7595	6089,492
MIRAVANIA	1444003	1276,9066	793,8033	880,3231	91,4342	6,3119	1,7506	0,1718	1,2204	12,1549	295,0199	1183,6951	1928,9158	6471,708
JUVENILIA (PCD)	1444004	948,7183	734,3350	700,8939	125,9427	4,5615	1,1803	0,1894	0,3162	16,3861	178,0003	981,9025	2152,2601	5844,686
LAGOA DAS PEDRAS	1444005	1228,3927	761,8923	723,9743	130,3470	7,5174	2,0385	0,0885	1,2873	15,1296	283,6569	1079,6171	2188,8244	6422,766
FAZENDA PORTO ALEGRE	1444017	1351,9611	673,1670	807,916	129,4475	8,7668	2,8228	0,1005	0,7144	15,9996	268,3380	1105,3758	2083,5537	6448,163
CAJUEIRO	1445000	1284,9448	832,2209	931,6549	152,1950	21,6985	1,0742	0,6248	4,9695	29,4746	306,1853	1488,8545	1977,1928	7031,09
SITIO D'ABADIA	1446004	1081,4236	912,6427	1264,797	324,1673	46,8687	2,3249	0,3774	3,4939	56,9338	413,7529	1221,3045	1786,1125	7114,199
FAZENDA CANADA	1544018	1147,4510	541,9865	653,0205	80,6811	10,6445	1,4885	0,0401	0,0407	10,3866	264,0982	1046,1230	1957,4422	5713,403
SERRA DAS ARARAS	1545002	1407,7850	842,6648	1074,063	213,4074	12,5258	1,3169	0,5923	1,4557	24,3109	241,8027	1273,3481	2476,7727	7570,045
GAUCHOS	1545004	951,1717	810,2021	1419,687	283,1810	26,1215	0,4287	0,0000	0,4355	10,6832	317,0256	1748,0842	2096,7392	7663,759
BURITIS-JUSANTE	1546001	1489,8401	955,0418	832,7731	233,6822	36,4584	1,9035	3,2240	10,6497	37,6816	362,1680	1443,0960	1945,2142	7351,732
FAZENDA CARVALHO	1546010	1035,5131	1003,2924	1606,917	140,6777	15,4104	1,8189	0,0373	0,5484	27,9603	316,7094	1552,8728	1758,2219	7459,98
Média		1179,5469	787,4412	914,1114	165,1206	13,7283	1,5737	0,3475	1,6682	21,5716	284,6999	1177,5238	1944,0348	6491,368
Desvio Padrão		157,4030	144,6755	264,0945	66,1953	11,6755	0,7128	0,6873	2,3911	11,5343	63,0201	231,0500	218,2164	744,8179
Mínimo		850,0398	536,4918	561,8436	80,6811	2,4619	0,2573	0,0000	0,0407	10,3866	156,5293	863,1151	1622,7864	5306,987
Máximo		1489,8401	1042,6237	1606,917	324,1673	46,8687	2,9558	3,2240	10,6497	56,9338	413,7529	1748,0842	2476,7727	7663,759

5.2 – Fator K

5.2.1 – Mapa de Solos

A figura 17 mostra o mapa de solos da bacia do Carinhanha, elaborado conforme metodologia descrita no item 4.2.1 deste trabalho. A tabela 08 apresenta cada unidade de mapeamento do mapa de solos, com sua respectiva área em quilômetros quadrados e o percentual de área ocupada na bacia.

Tabela 08 – Unidades de Mapeamento de solo na bacia do Carinhanha.

Solos	Sigla	Area (ha)	% área
Neossolo Quartzarênico	AR	729.723	42,17
Neossolo Quartzarênico + Latossolo Amarelo	PVA1	387.790	22,41
Latossolo Amarelo + Argissolo	LVA1	222.187	12,84
Latossolo Vermelho-amarelo + Latossolo Amarelo	LA1	185.329	10,71
Gleissolo	LA2	68.698	3,97
Neossolo Litólico + Cambissolo	CX1	56.931	3,29
Latossolo Amarelo	G	33.397	1,93
Cambissolo + Neossolo Litólico + Latossolo Vermelho- amarelo + Neossolo Quartzarenico	RY	15.401	0,89
Neossolo Flúvico	RL1	15.228	0,89
Argissolo + Cambissolo	RQ1	8.306	0,48
Afloramento Rochoso	RQ2	4.672	0,27
Plintossolo + Gleissolo	F1	2.770	0,16
Total		1.730.432	100

Pode-se observar que o tipo de solo predominante na bacia do Carinhanha é o Neossolo Quartzarênico (RQ1), ocupando pouco mais de 42% da área. Esse tipo de solo ocupa quase toda a área dissecada dos vales dos principais rios da bacia: Rio Carinhanha, Coxá e Itaguari, além da porção mais setentrional da bacia e da área mais próxima ao encontro com o Rio São Francisco, na região de depressão fluvial. São solos arenosos, não hidromórficos, muito profundos e excessivamente drenados (Foto 02a).

Além da classe individualizada, o Neossolo Quartzarênico, associado ao Latossolo Amarelo (RQ2) (Foto 02b), formam a segunda unidade de mapeamento mais expressiva na bacia do Carinhanha, ocupando 22,41% da área. Essa unidade está distribuída pelas áreas de chapadas localizadas na margem esquerda do Rio Carinhanha. Estas duas unidades estão sobrepostas aos arenitos da Formação Urucuia (Figura 06).

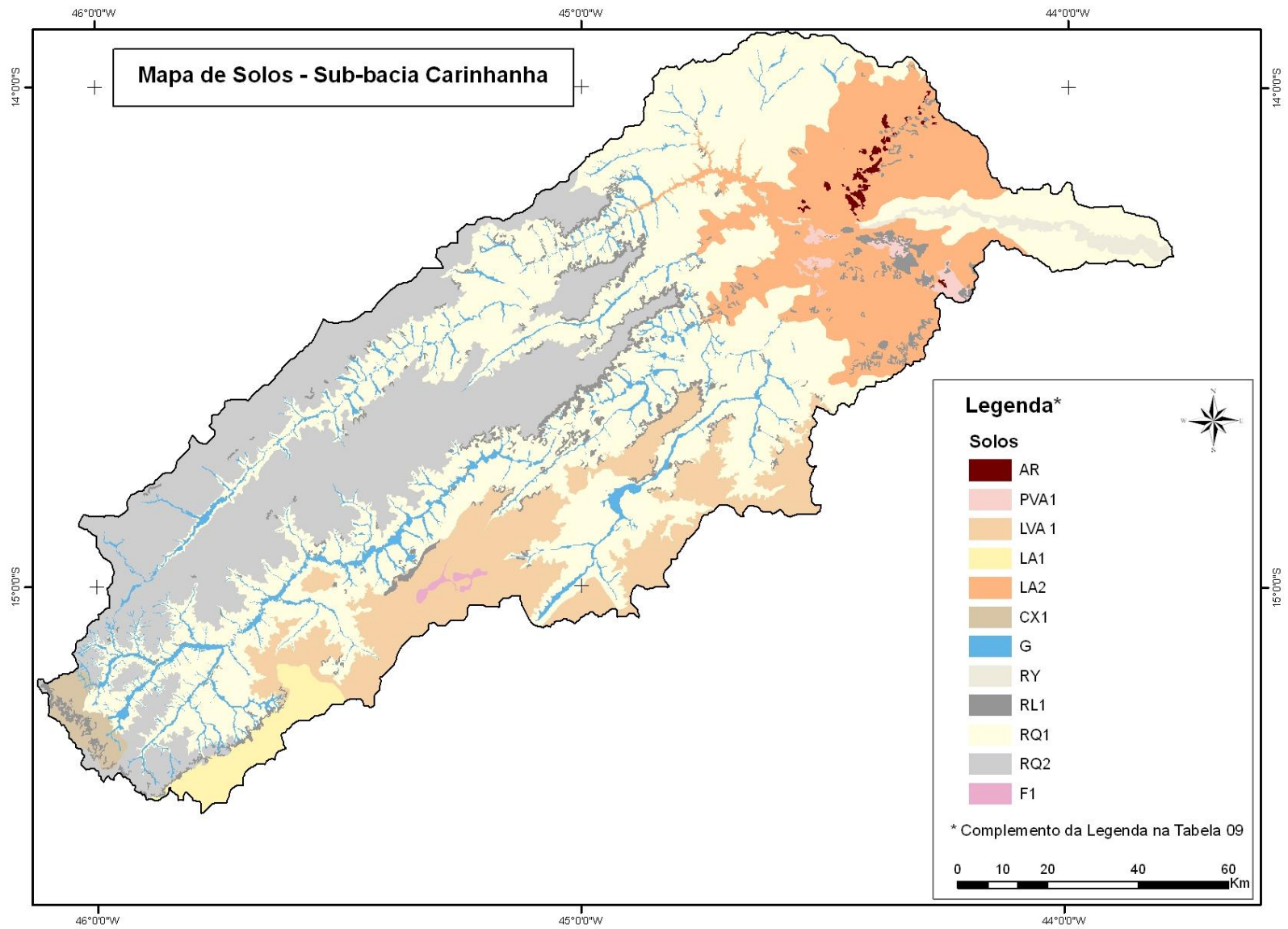


Figura 17 – Mapa de solos da Bacia do Carinhanha.

Tabela 09 – Legenda do novo Mapa de Solos

Solo - 1º Nível	Sigla	Unidade de mapeamento
Afloramento Rochoso	AR	Afloramento Rochoso
Argissolo	PVA1	Associação de: Argissolo Vermelho-amarelo + Cambissolo Háplico
Latossolo	LVA1	Associação de: Latossolo Vermelho-amarelo + Latossolo Amarelo
	LA1	Latossolo Amarelo
	LA2	Associação de: Latossolo Amarelo + Argissolo Vermelho-amarelo
Cambissolo	CX1	Associação de: Cambissolo Háplico + Neossolo Litólico + Latossolo Vermelho-amarelo + Neossolo Quartzarênico
Gleissolo	G	Gleissolo
Neossolo	RY	Neossolo Flúvico
	RL1	Associação de: Neossolo Litólico + Cambissolo Háplico
	RQ1	Neossolo Quartzarênico
	RQ2	Associação de: Neossolo Quartzarênico + Latossolo Amarelo
Plintossolo	F1	Associação de: Plintossolo + Gleissolo

Ocupando 12,84% da área da bacia está a associação de Latossolo Amarelo + Argissolo (LA2). Esta unidade está sobreposta sobre as rochas do Grupo Bambuí, onde ocorrem afloramentos de calcários. Nas áreas com Argissolo a vegetação predominante é a Floresta Estacional.



Foto 02a – Neossolo Quartzarênico.



Foto 02b – Latossolo Amarelo.

A quarta unidade mais representativa é a associação de Latossolo Vermelho-amarelo (Foto 03a) e Latossolo Amarelo (LVA1). Esta unidade ocupa as chapadas da margem direita do Rio Carinhanha, cujos solos se diferenciam das outras chapadas da Bacia devido à presença de coberturas detrito-lateríticas com concreções ferruginosas (Figura 06). Na porção sudoeste da chapada foi possível individualizar um tipo de solo – Latossolo Amarelo (LA1) –

em função do resultado uniforme das análises das amostras de solo. Esta unidade ocupa 1,93% da área, numa região onde ocorreu um grande avanço da agricultura mecanizada, no município de Chapada Gaúcha-MG.

Os Gleissolos (G) ocupam 3,97% da área da bacia, distribuídos ao longo das margens dos rios nas áreas recobertas pelos arenitos Urucuia. São mais frequentes próximo ao alto curso do Rio Carinhanha, onde é muito comum a ocorrência de veredas, principalmente na área do Parque Nacional Grande Sertão Veredas. Ocorrem em partes planas e rebaixadas do relevo onde o lençol freático está próximo à superfície. São solos formados sob condições de encharcamento permanente ou durante grande parte do ano. No topo de uma chapada, foi possível mapear a ocorrência de uma associação de Plintossolo com Gleissolo (F1), numa área de nascente (Figura 18). Plintossolos são solos minerais hidromórficos ou com séria restrição à percolação de água, sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade. Apresentam horizonte plíntico dentro dos 40 cm superficiais. A unidade ocupa 0,16% da área da bacia.

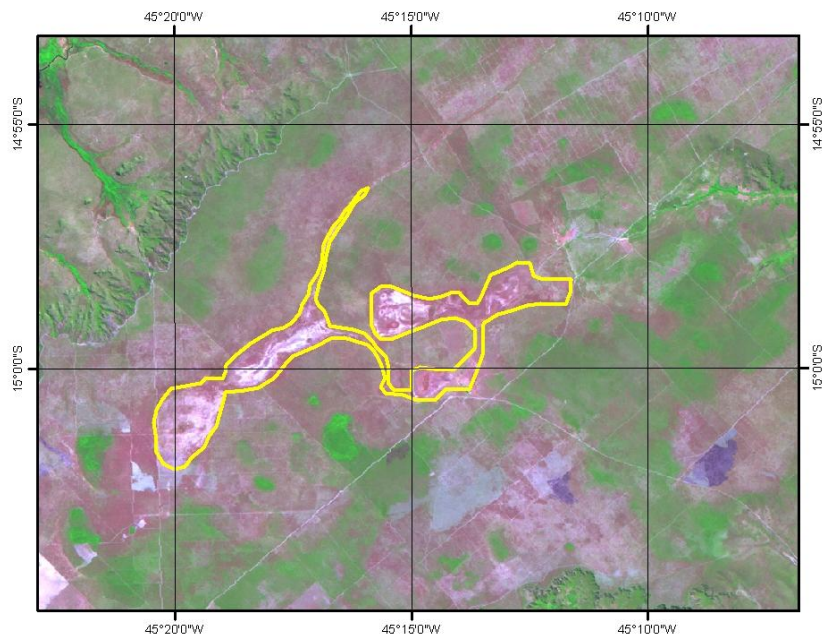


Figura 18 – Área classificada como associação de Plintossolo e Gleissolo. Imagem *Landsat 7*.

A unidade de mapeamento com maior número de tipos de solos associados é formada por Cambissolo + Neossolo Litólico + Latossolo Vermelho-amarelo + Neossolo Quartzarênico (CX1). Está localizada no limite oeste da bacia, na área de ocorrência de rochas da Formação Três Marias.



Foto 03a – Latossolo Vermelho-amarelo.

Foto 03b – Borda de Chapada.

Acompanhando a calha do Rio Carinhanha, na porção leste da bacia, até o encontro com o Rio São Francisco, ocorre a presença de Neossolo Flúvico (RY), ocupando 0,89% da área. É uma área de relevo muito plano, sujeita a inundações.

A unidade Argissolo + Cambissolo (PVA1) ocupa 0,48% da área e está sobreposta às rochas do Grupo Bambuí. São pequenas áreas onde o relevo é mais movimentado, com a presença de afloramentos rochosos, principalmente de calcários.

A unidade Afloramento Rochoso (AR) ocupa 0,27% da área e pode ser caracterizada pela presença de calcários do Grupo Bambuí.

5.2.2 - Mapa do Fator K

A espacialização do Fator K está diretamente relacionada ao mapa pedológico da área de estudo, tendo em vista que a erodibilidade é uma propriedade inerente a cada classe de solo.

Os valores de K foram obtidos conforme metodologia descrita no item 4.2.1 deste trabalho. A partir do cálculo do valor de K para cada classe de solo (Tabela 10), os valores foram inseridos nos respectivos grupos de solos e em seguida transformados em formato *raster*, com pixel de 60x60m, com o objetivo de serem inseridos na equação da EUPS (Figura 19). Os valores de K foram divididos nas classes de interpretação Erodibilidade baixa, média e alta, adaptadas de Carvalho (1994).

Observando-se a tabela 10 e a figura 19, pode-se inferir que a unidade que apresenta o maior valor de K é Neossolo Flúvico, seguido pelas classes: Neossolo Litólico + Cambissolo; Argissolo + Cambissolo; Cambissolo + Neossolo Litólico + Latossolo Vermelho-amarelo + Neossolo Quartzarênico; e Plintossolo + Gleissolo. Essas são as cinco unidades que

apresentam valores de K maiores que 0,03 e que possuem menor resistência à erodibilidade, ocupando 5,7% da área de estudo.

Tabela 10 – Unidades de mapeamento de solo e Fator K.

Unidade	Tipo 1		Tipo 2		Tipo 3		Tipo 4		Valor K
	K	%	K	%	K	%	K	%	
Afloramento rochoso	0	100	-	-	-	-	-	-	0
Argissolo + Cambissolo	0,0293	60	0,0600	40	-	-	-	-	0,04158
Cambissolo + Neossolo Litólico + Latossolo Vermelho amarelo + Neossolo Quartzarênico	0,0600	40	0,0350	20	0,020	20	0,0078	20	0,03656
Latossolo Amarelo	0,028	100	-	-	-	-	-	-	0,028
Latossolo Amarelo + Argissolo	0,028	60	0,0293	40	-	-	-	-	0,02852
Latossolo Vermelho-amarelo + Latossolo Amarelo	0,020	60	0,028	40	-	-	-	-	0,02320
Neossolo Flúvico	0,0470	100	-	-	-	-	-	-	0,0470
Neossolo Litólico + Cambissolo	0,035	60	0,060	40	-	-	-	-	0,0450
Neossolo Quartzarênico	0,0078	100	-	-	-	-	-	-	0,0078
Neossolo Quartzarênico + Latossolo Amarelo	0,0078	60	0,028	40	-	-	-	-	0,01588
Plintossolo + Gleissolo	0,055	60	0,0081	40	-	-	-	-	0,03624
Gleissolo	0,0081	100	-	-	-	-	-	-	0,0081

As unidades de solo classificadas como erodibilidade média são, em ordem decrescente de valores de K: Latossolo Amarelo + Argissolo; Latossolo Amarelo; Latossolo Vermelho-amarelo + Latossolo Amarelo; Neossolo Quartzarênico + Latossolo Amarelo. Esse grupo de classes ocupa 47,89% da área da bacia, portanto o nível de erodibilidade média é o que predomina na bacia.

As unidades que possuem a maior resistência à erodibilidade do solo na bacia são Neossolo Quartzarênico e Gleissolo, além da classe Afloramento Rochoso, cujo Fator K é igual a zero. As três classes juntas ocupam 46,41% da área de estudo, com destaque para os Neossolos Quartzarênicos que sozinhos ocupam 42,17% da área.

Portanto, a maior parte da Bacia do Carinhanha, 94,3% da área, possui solos com erodibilidade média e baixa.

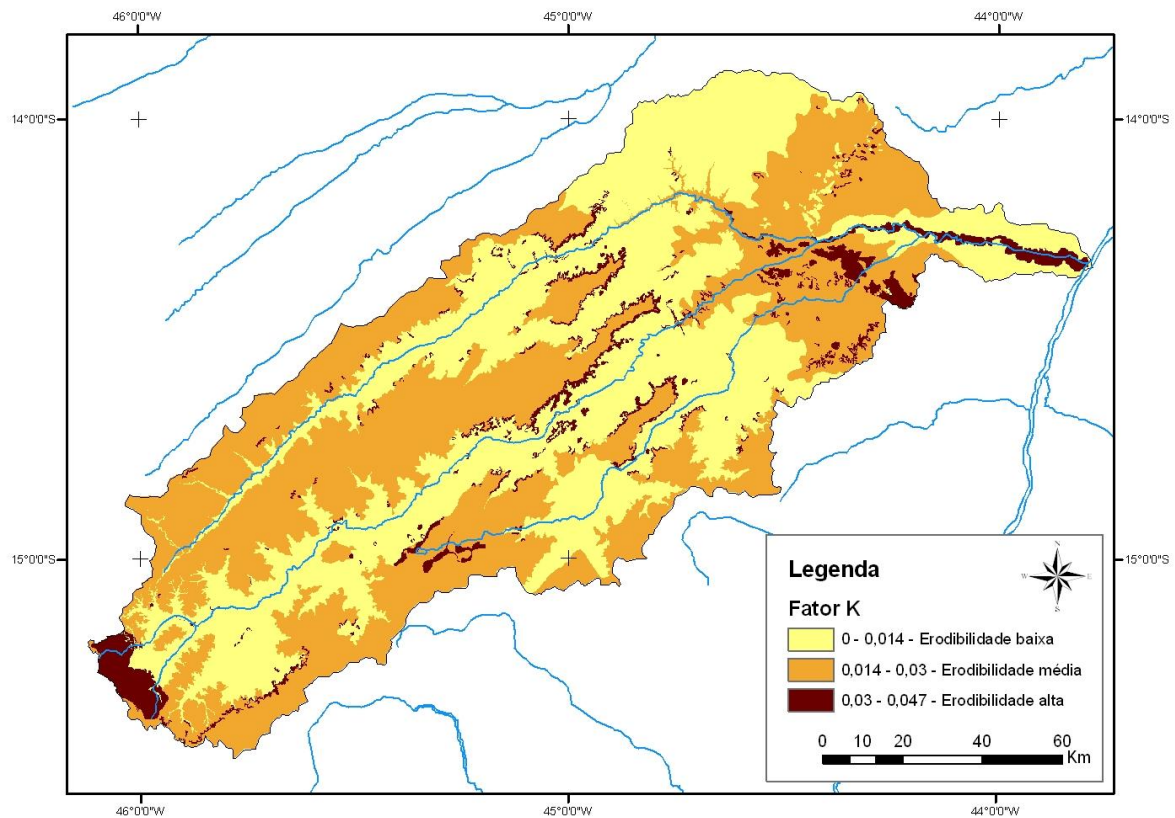


Figura 19 – Mapa do Fator K – Erodibilidade do solo.

5.3 – Fatores LS

5.3.1 – MDT e mapas derivados

Conforme a metodologia descrita no item 4.3.1 deste trabalho, foi gerado um Modelo Digital do Terreno (Figura 20) utilizando-se dados de curvas de nível, pontos cotados e hidrografia, retirados das cartas topográficas na escala de 1:100.000. O MDT demonstra que a Bacia do Carinhanha possui uma amplitude altimétrica de cerca 528 metros, suas nascentes mais elevadas encontram-se a uma cota altimétrica de 958 metros, e sua desembocadura, no Rio São Francisco, tem aproximadamente 430 metros de altitude.

A partir do MDT foram gerados os mapas derivados de declividade (Figura 21A), direção de fluxo (Figura 21B) e área de contribuição (Figura 21C), que serviram de base para o processamento dos fatores topográficos da EUPS, os Fatores L e S.

O mapa de declividade foi classificado em 4 intervalos, adaptados da proposta de Lemos e Santos (1996). Na Bacia do Carinhanha predomina o relevo plano (Figura 21A – Tabela 11), representado pela classe de declividade 0 a 3%, a qual cobre uma área de pouco mais de 11000 km², o que equivale a 64,11% de toda a bacia. A faixa de declividade entre 3 a

8% representa 30,06% da área da bacia. A classe 8 a 20% de declividade ocupa 4,97% da área total, enquanto que a declividade maior que 20% ocupa apenas 0,84% da área. Mais de 90% da área da bacia do Carinhanha tem declividade inferior a 8%. A tabela 11 mostra as classes de declividade mapeadas, juntamente com a área ocupada por cada uma delas.

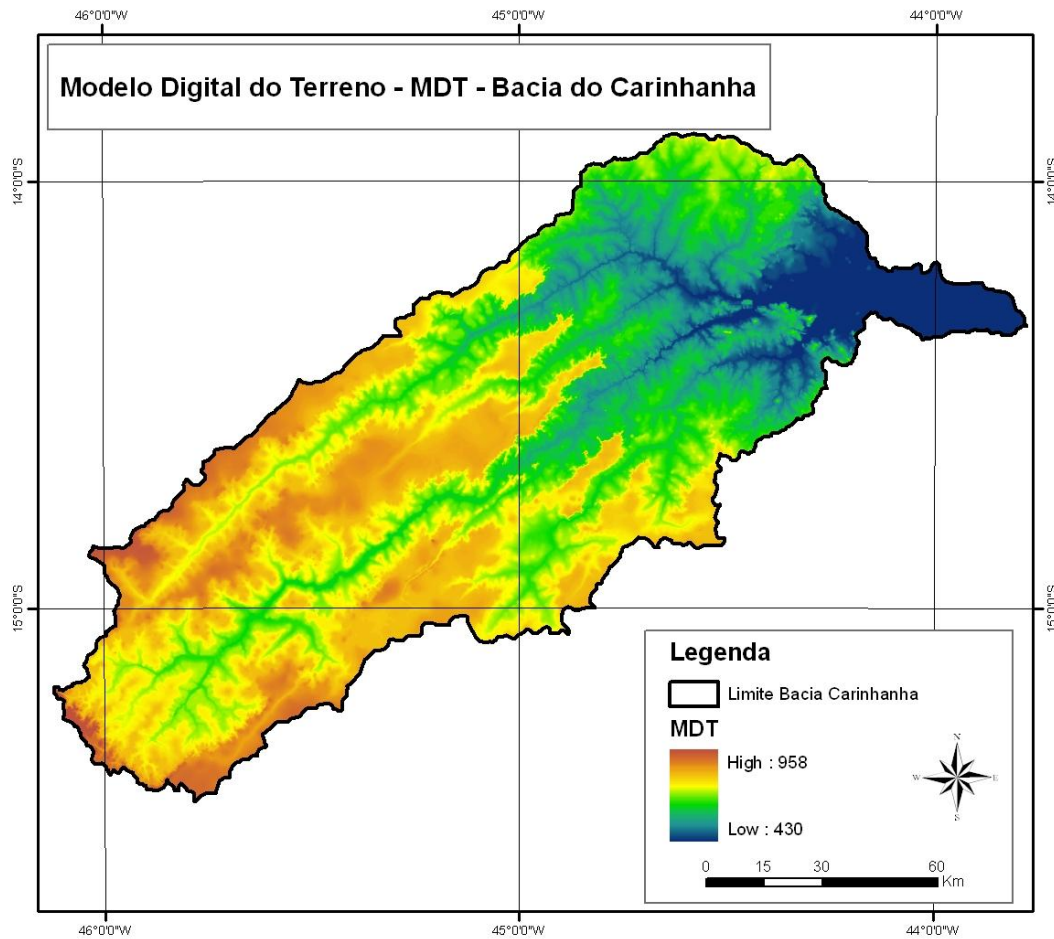


Figura 20 – Modelo Digital do Terreno – Bacia do Carinhanha.

Tabela 11 – Classes de declividade da Bacia do Carinhanha.

Classe	Nome	Área (ha)	% Área
0-3%	Plano	1.109.553	64,12
3-8%	Suave Ondulado	520.168	30,06
8-20%	Ondulado	86.002	4,97
>20%	Forte Ondulado	14.709	0,85
		1.730.432	100

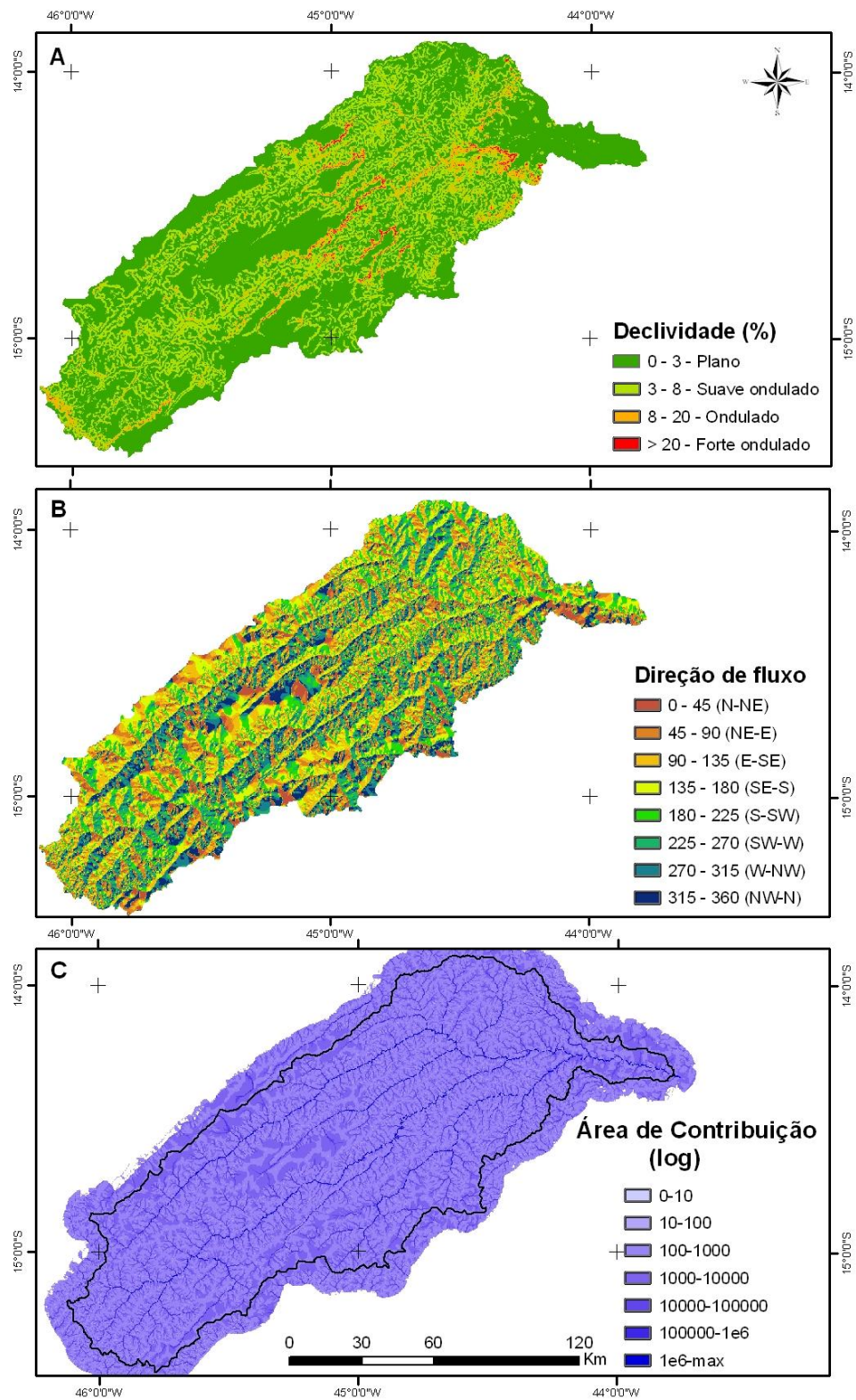


Figura 21 – Mapas derivados.

5.3.2 – Mapa do Fator LS

O mapa dos fatores topográficos (LS) foi obtido a partir da área de contribuição gerada pelo método D_{∞} , onde foi aplicada uma função logarítmica para realçar os dados (Figura 22). Pode-se observar que as áreas com maiores valores de LS encontram-se relacionadas às declividades mais altas, onde ocorrem convergências de fluxo. Na área de estudo as áreas com estas características estão localizadas principalmente nas bordas das chapadas e nos locais próximos aos afloramentos de calcário, onde o relevo se torna mais movimentado.

As áreas mais planas da bacia, como os topos de chapadas e a área de depressão fluvial, próxima ao Rio São Francisco, apresentam os menores valores de LS, e portanto menor potencial erosivo com relação aos fatores topográficos.

A Figura 22 apresenta o Mapa dos Fatores LS, com ampliações em três pontos aleatórios da bacia, buscando mostrar em maiores detalhes as variações nos valores de LS.

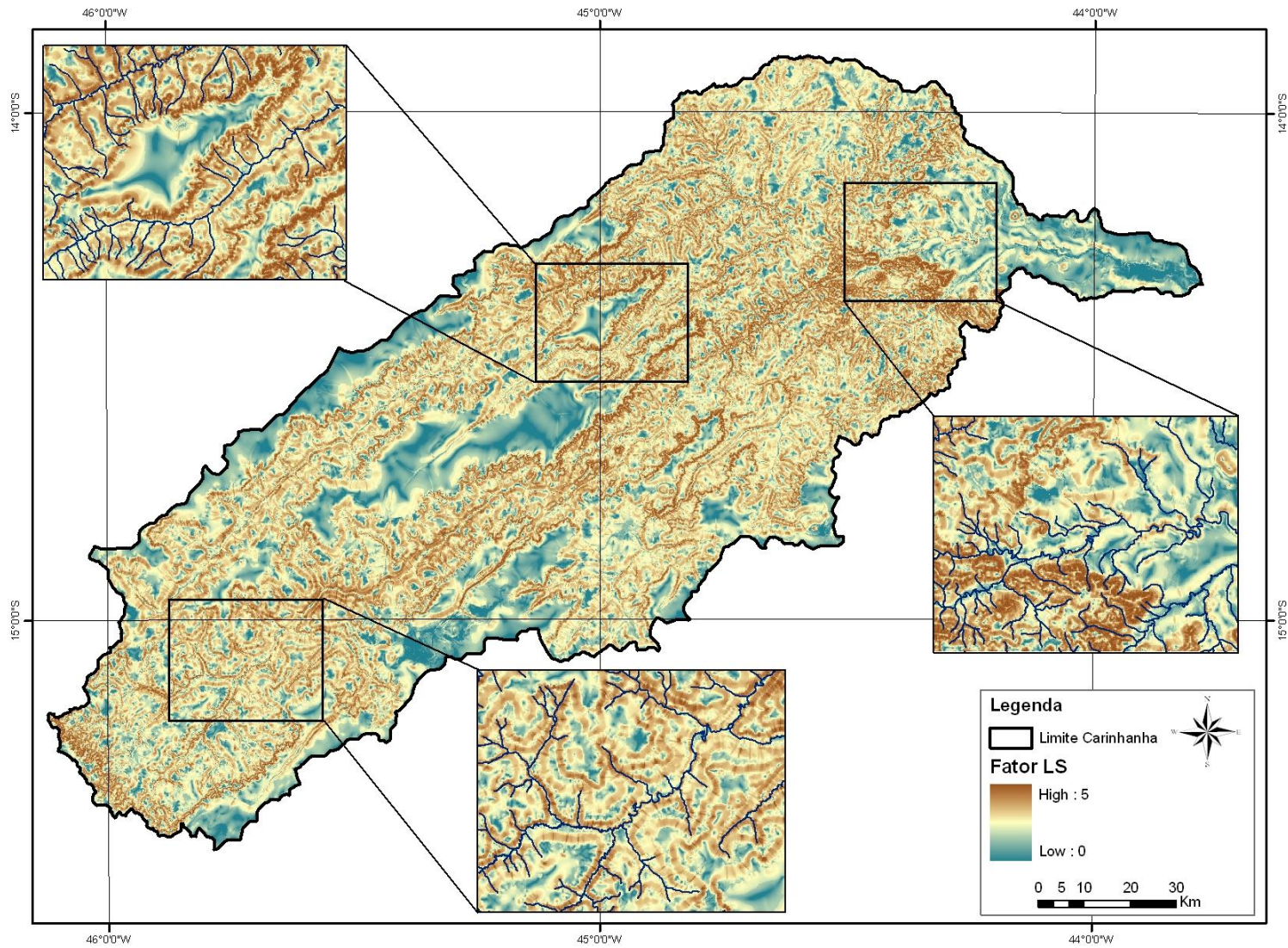


Figura 22 – Mapa dos Fatores LS – Comprimento de rampa e Declividade.

5.4 – Potencial Natural à Erosão Laminar (Ep)

O Potencial Natural à Erosão Laminar representa a interação dos principais fatores naturais do meio físico intervenientes no processo da erosão laminar. Corresponde às estimativas de perdas de solo em áreas continuamente destituídas de cobertura vegetal e sem qualquer intervenção antrópica.

O Mapa de Erosão Potencial (Ep) da área de estudo foi obtido a partir do cruzamento dos mapas dos Fatores R, K e LS, por meio do comando *Raster Calculator* da extensão *Spatial Analyst* do *ArcGis*. É importante destacar que o cálculo de Ep considera o pior cenário possível, isto é, solo exposto e sem prática conservacionista, atribuindo-se valor 1 para os fatores C e P. A Figura 23 apresenta o Mapa Ep para a Bacia do Rio Carinhanha.

O mapa foi classificado em 4 intervalos (Tabela 12): < 50, 50-150, 150-400, > 400 ton/ha.ano. O potencial de perda de solos na Bacia do Carinhanha varia de 0 a 1398 t/ha.ano. O intervalo predominante na Bacia do Carinhanha é de 50 a 150 t/ha.ano, ocupando 41,7% da área da bacia, seguido de perto pelo intervalo <50, com 39,66% da área. A classe 150 t/ha.ano ocupa 14,93% da área de estudo, enquanto que a classe com maior potencial erosivo, acima de 400 t/ha.ano, ocupa apenas 3,71% da área. Na Figura 23 pode-se observar que esta classe (>400) está restrita às bordas de chapadas e outras áreas com maiores incidências de solos mais rasos e com maior movimentação no relevo.

As áreas com menor potencial erosivo (<50 t/ha.ano) estão distribuídas principalmente nos topos das chapadas e na depressão fluvial, próximo à foz do Carinhanha. São as áreas mais planas da bacia, com menores valores de LS.

Tabela 12 – Classes de Erosão Potencial

Classe (ton/ha.ano)	Área (ha)	% área
< 50	686.289	39,66
50-150	721.590	41,7
150-400	258.354	14,93
>400	64.199	3,71
Total	1.730.432	100

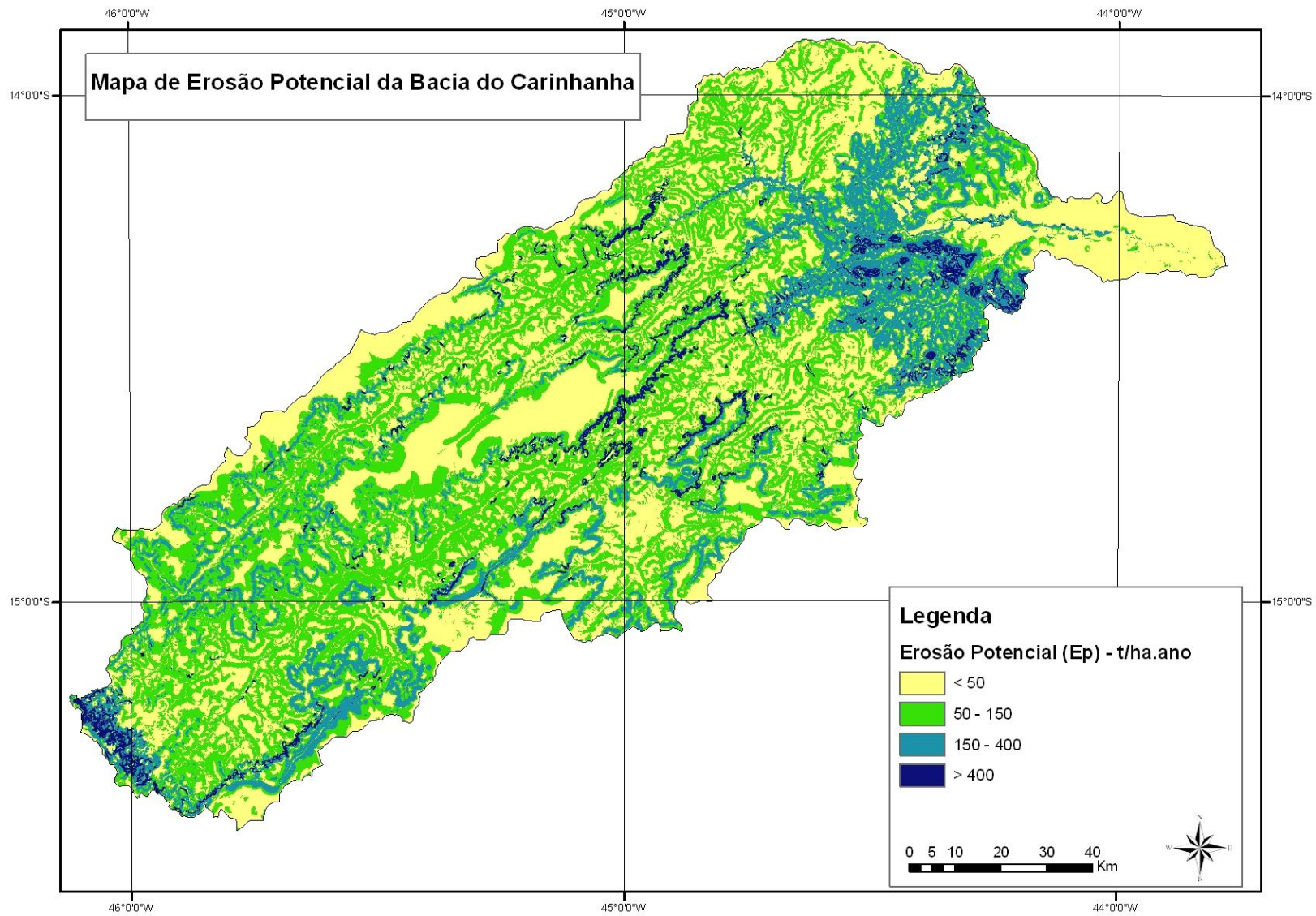


Figura 23 – Mapa de Erosão Potencial da Bacia do Carinhanha.

5.5 – Fatores CP

5.5.1 – Mapa de uso de terra e cobertura vegetal

A figura 24 mostra o mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal resultante da classificação *Isodata* com posterior edição por interpretação visual. O trabalho de campo foi essencial para balizar os limites das classes. Foram delimitadas 11 classes de uso da terra e cobertura vegetal: Água; Área úmida / veredas; Afloramento de rochas; Cerrado; Floresta estacional; Mata ciliar; Área de transição (cerrado/caatinga); Área desmatada sem uso / vegetação secundária; Área rural de uso diversificado; Área urbana; Solo exposto. A área ocupada por cada classe em hectares e percentuais está demonstrada na tabela 13. A Figura 25 mostra o gráfico com a distribuição em percentuais de área de cada classe.

Tabela 13 – Classes de uso da terra e cobertura vegetal da bacia do Carinhanha.

Uso	Hectares	%
Água	138	0,008
Afloramento de rochas	6.178	0,357
Área desmatada sem uso / Vegetação Secundária	72.349	4,181
Área de transição (alterada ou não)	49.490	2,860
Área urbana	795	0,046
Área rural de uso diversificado	269.411	15,569
Cerrado	1.219.418	70,469
Floresta estacional	51.273	2,963
Mata ciliar	30.854	1,783
Solo exposto	1.869	0,108
Área úmida / vereda	28.657	1,656
Total	1.730.432	100

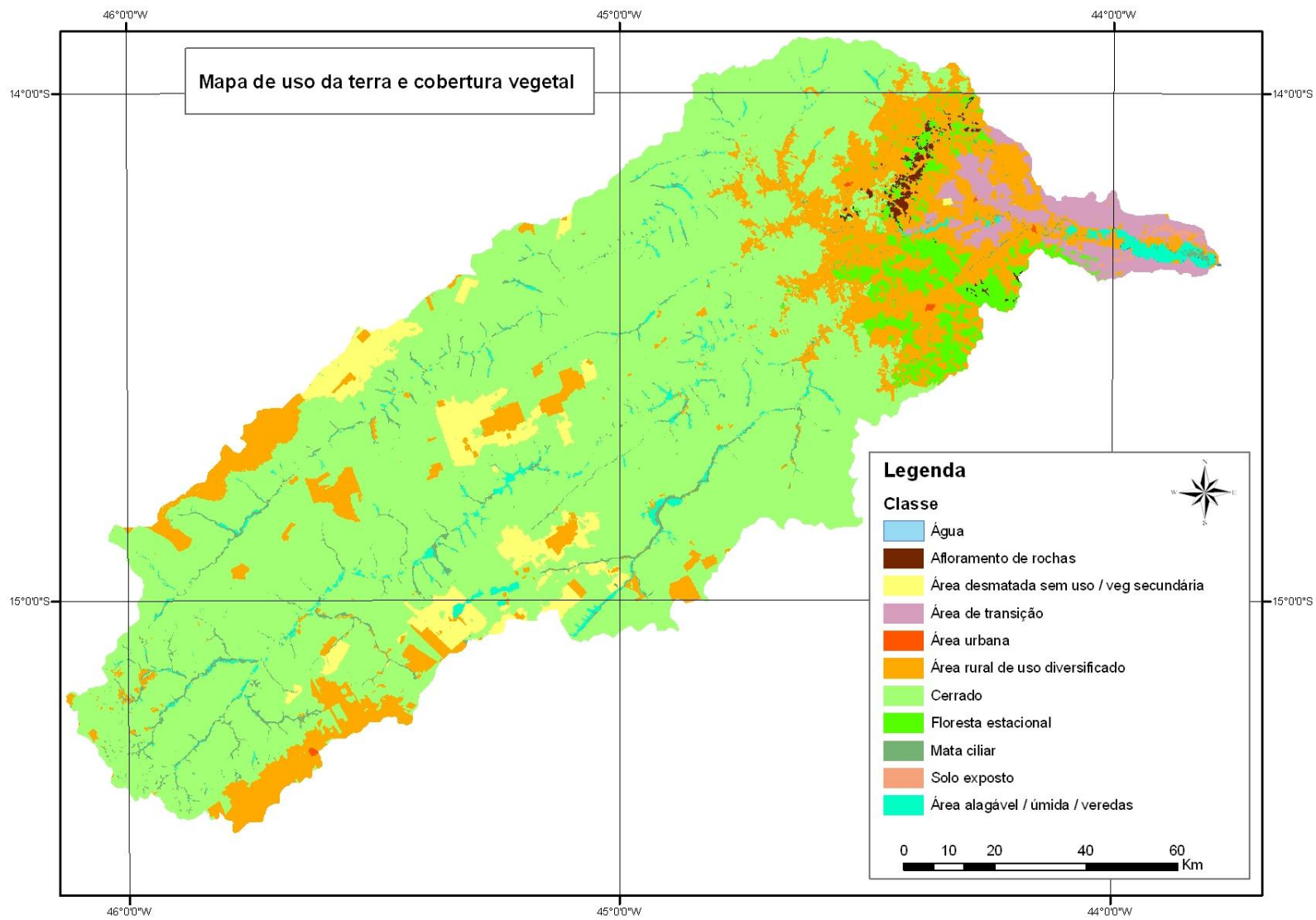


Figura 24 – Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal da Bacia do Carinhanha.

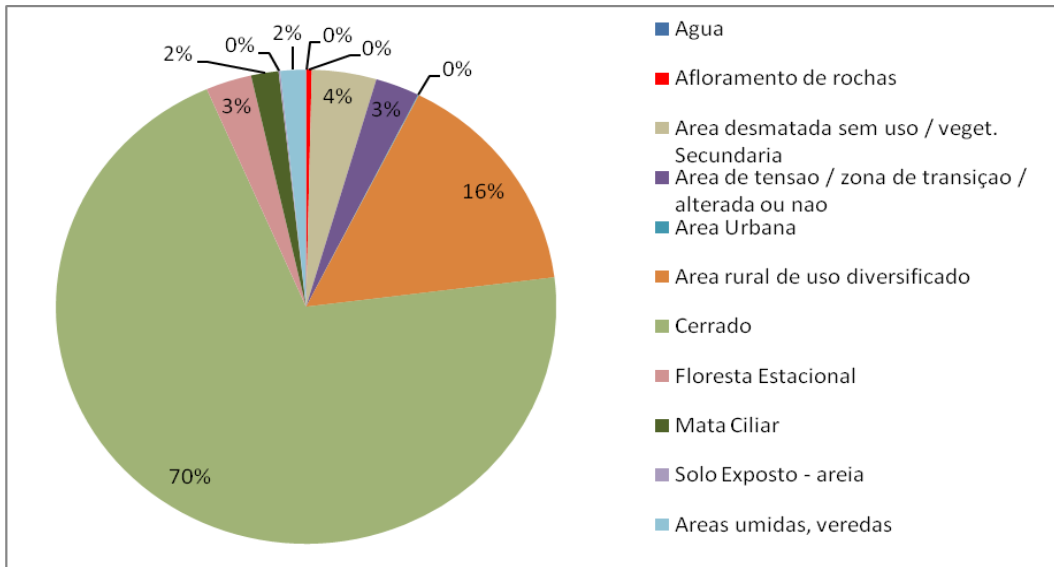


Figura 25 – Porcentagem de área ocupada por cada classe de uso e cobertura.

Verifica-se que a cobertura vegetal predominante na bacia do Carinhanha é o Cerrado, que ocupa 70% de toda a área (Fotos 04a – 04f). Isso demonstra que a região apresenta boas condições de preservação de sua vegetação natural. Nesta classe estão incluídos os diversos tipos fisionômicos do Cerrado presentes na região, tais como cerrado *strictu sensus*, cerradão, campo limpo e campo sujo. Em algumas áreas da bacia, principalmente no Parque Nacional Grande Sertão Veredas, a vegetação está bem preservada. No entanto, nas demais áreas da bacia, diversos níveis de alterações são observados, principalmente pelas queimadas constantes e pela retirada esporádica da porção lenhosa. Esta classe também acaba por englobar áreas de vegetação secundária em estágios mais avançados de regeneração, em função das dificuldades de interpretação das imagens de satélite utilizadas.

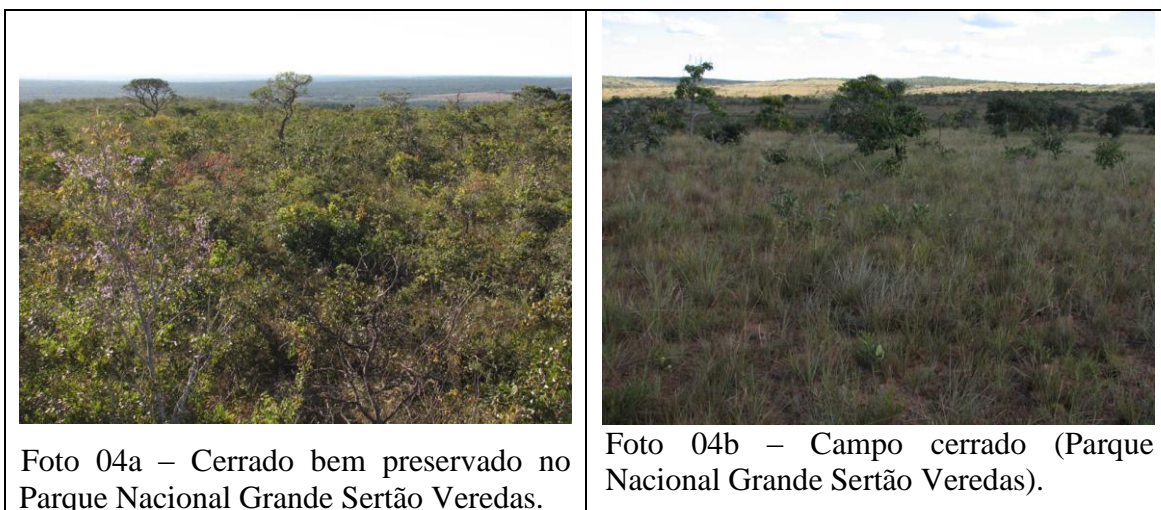
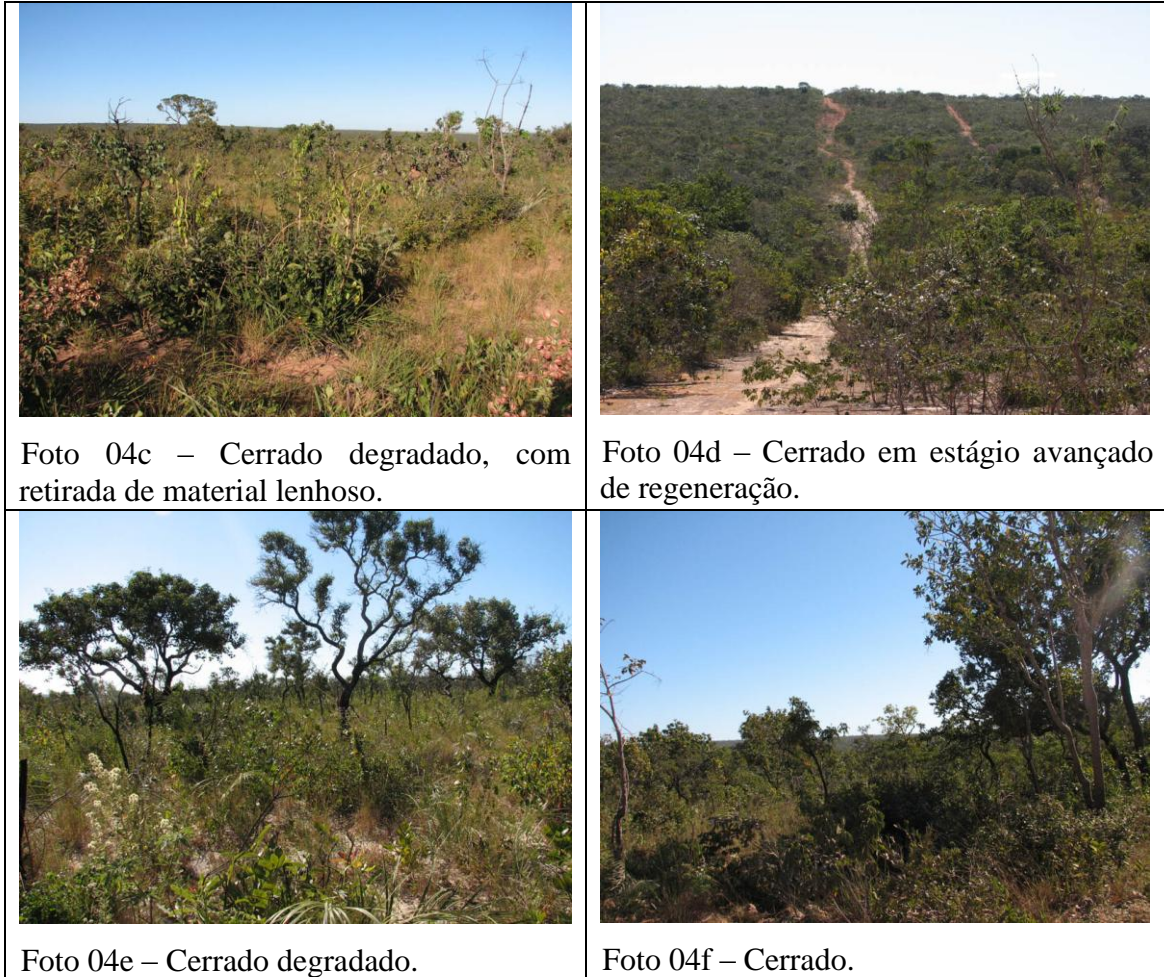
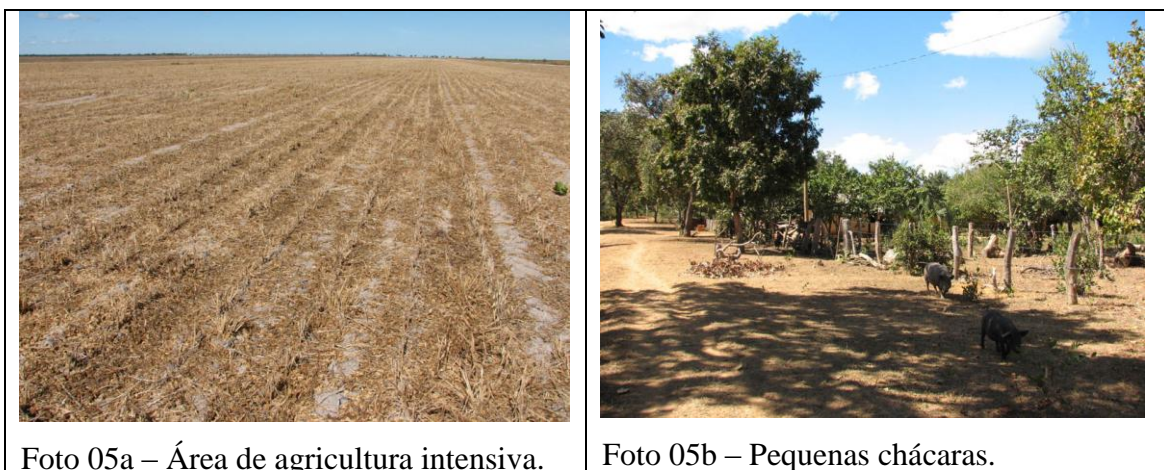


Foto 04a – Cerrado bem preservado no Parque Nacional Grande Sertão Veredas.

Foto 04b – Campo cerrado (Parque Nacional Grande Sertão Veredas).



A classe que apresentou maior complexidade na interpretação foi a Área Rural de Uso Diversificado (Fotos 05a – 05h), onde foram englobadas áreas de cultura, solo exposto, chácaras, pastagens, e até mesmo pequenas áreas de vegetação secundária. Essa generalização foi necessária em função da escala de trabalho e da resolução da imagem de satélite utilizada. Esta classe ocupa 15% da área da bacia.

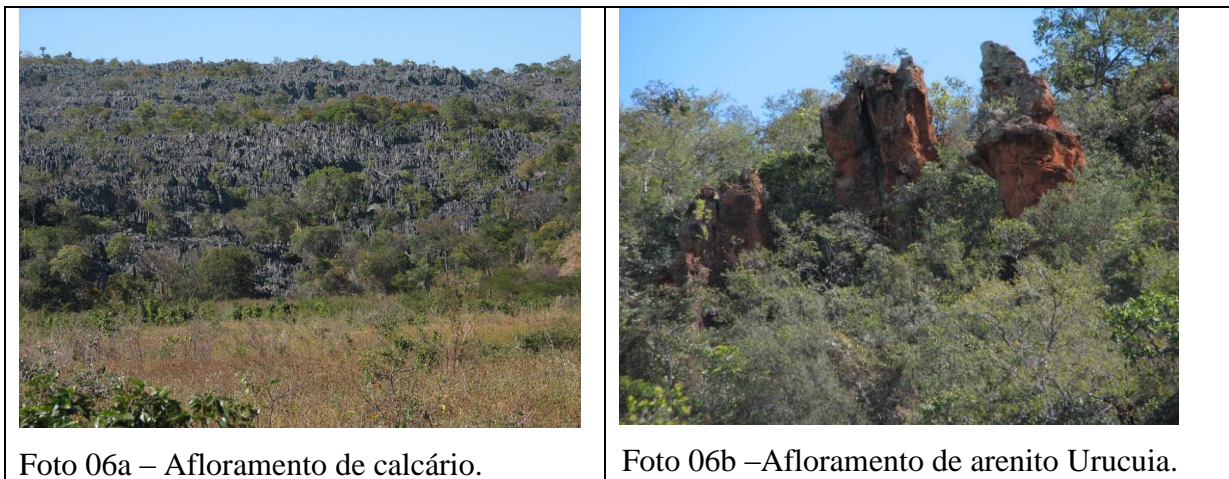




As áreas urbanas ocupam apenas 0,05% da bacia, pois é uma região de baixa densidade demográfica, com poucos e pequenos núcleos urbanos. Dos 12 municípios que fazem parte da bacia, apenas 5 tem sua área urbana dentro dela, são eles: Chapada Gaúcha, Montalvânia, Juvenília, Feira da Mata e Cocos.

Além da área urbana, as classes afloramento de rochas, água e solo exposto ocupam menos de 1% da área cada uma. Os afloramentos de rocha que ocorrem na área são na grande maioria de origem calcária (Foto 06a). Em campo foram avistados também afloramentos de

arenitos da Formação Urucuia (Foto 06b), mas por serem muito pontuais não foram mapeados nessa escala.



As áreas mapeadas como solo exposto estão localizadas bem próximas ao encontro do Carinhanha com o São Francisco, e são caracterizadas pela presença de solos bastante arenosos (Figura 26 – Foto 07), provavelmente originados pelas alterações sofridas pelo leito do rio. É uma área bastante atingida pela retirada indiscriminada da vegetação natural para geração de carvão vegetal e também pelas queimadas. Como o solo é muito arenoso, a vegetação não consegue se regenerar e as manchas de areia vão aumentando com o decorrer dos anos.

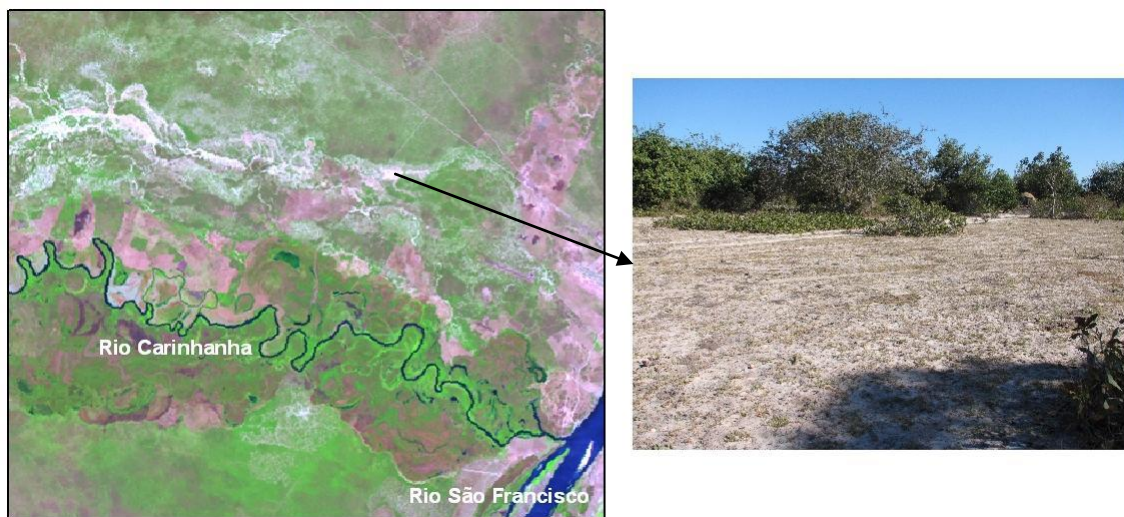
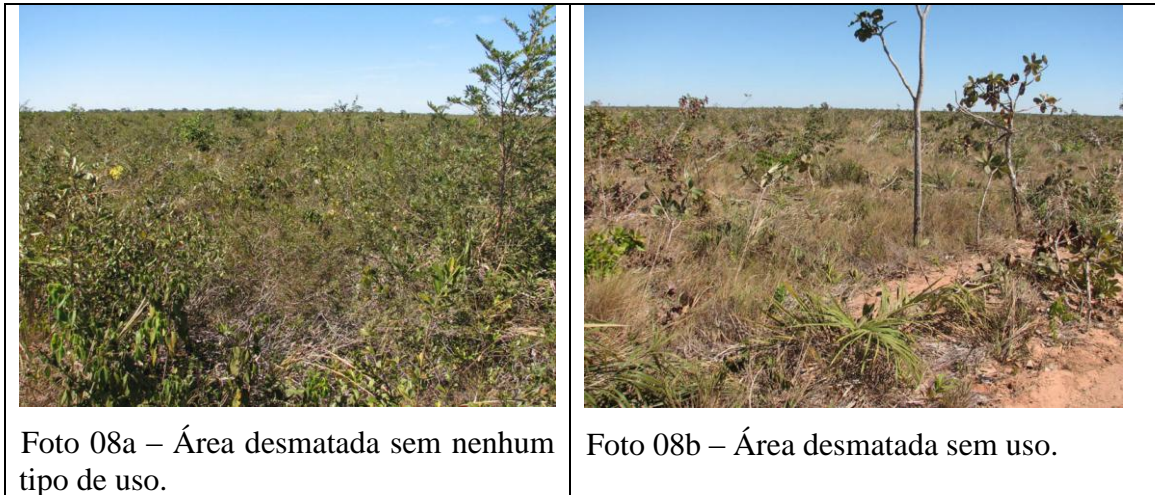


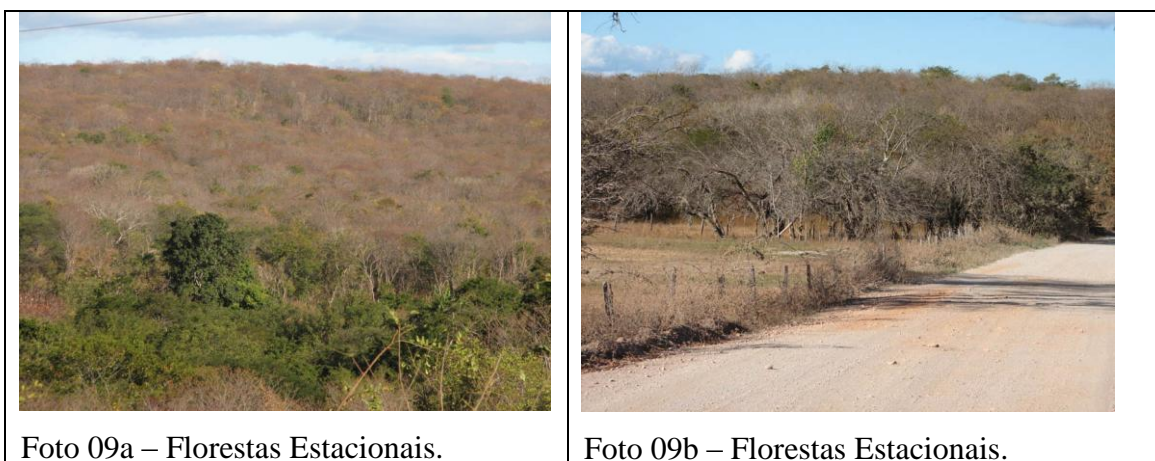
Figura 26 – Área classificada como solo exposto. Foto 07 – Solo exposto.

A classe área desmatada sem uso / vegetação secundária foi individualizada por ser um tipo de ocupação característico da região, onde a vegetação natural é retirada para ser transformada em carvão vegetal. A área desmatada é então abandonada, ficando sem nenhum

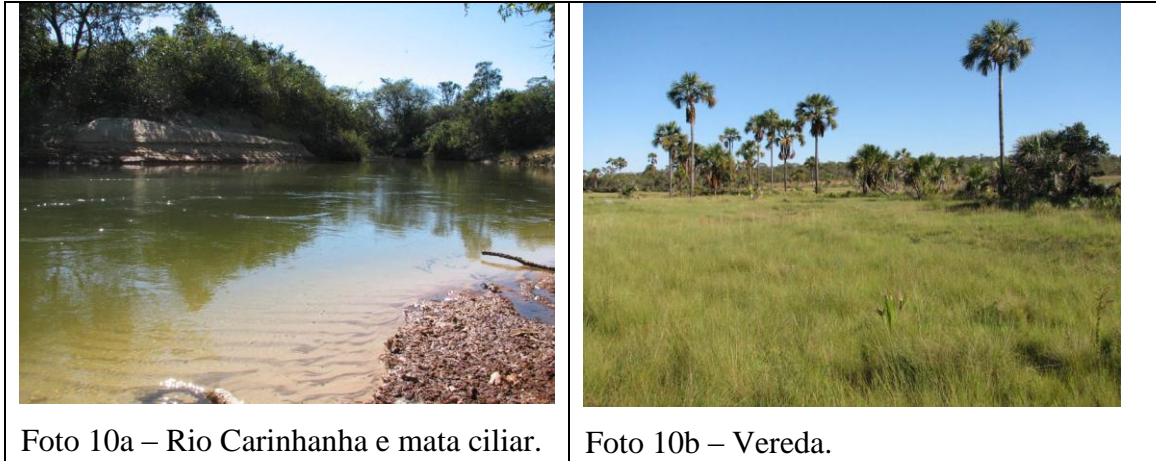
tipo de uso por longo período de tempo. Ocorre uma regeneração lenta e empobrecida da vegetação nativa, provavelmente em função da baixa qualidade dos solos e da deficiência hídrica em boa parte do ano. Esta classe ocupa pouco mais de 4% da área (Foto 08a e 8b).



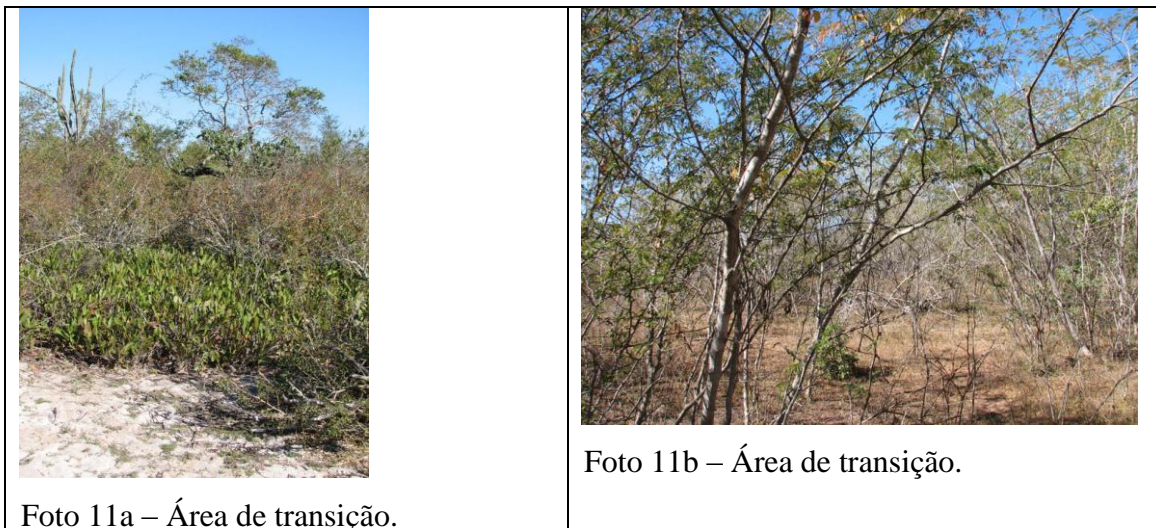
Quase 3% da área da bacia foi mapeada como Floresta Estacional. O mapa de vegetação (Figura 10) demonstra a presença de Florestas Estacionais Deciduais e Semi-deciduais, no entanto só foi possível identificar algumas manchas desse tipo de vegetação, sem maiores detalhes. Pôde-se perceber no trabalho de campo que essas Florestas na verdade já se encontram bastante degradadas, com poucos remanescentes em melhor estado de conservação (Foto 09a e 9b).



As classes mata ciliar (Foto 10a) e áreas úmidas / veredas (Foto 10b) também apresentaram dificuldades para serem mapeadas nesta escala de trabalho, por se tratarem de áreas estreitas e alongadas. Toda a região é caracterizada pela grande quantidade de veredas (Foto 10b), mas somente as maiores puderam ser mapeadas. Cada uma das classes ocupa menos de 2% de toda a área.



A classe área de transição ocupa 2,8% de toda a bacia. É caracterizada por uma cobertura vegetal que parece ser uma mistura de cerrado com caatinga (Foto 11a e 11b). Esse tipo de cobertura foi mapeado na porção leste da bacia do Carinhanha, próximo ao Rio São Francisco. Esta é a região mais povoada da bacia e encontra-se bastante degradada.



5.5.2 - Mapa do Fator CP

Neste trabalho foi adotada a integração dos fatores antrópicos da EUPS – uso e manejo (C) e práticas conservacionistas (P) – conforme proposto por Stein *et al.* (1987). Desta forma, a espacialização dos Fatores CP está diretamente relacionada ao uso e cobertura vegetal da Bacia do Rio Carinhanha (Figura 24). Os valores foram adaptados da proposta de Stein *et al.* (1987), apresentada na tabela 06. Os valores adotados por Baptista (1997), Silva (2001) e Valentin (2008) também serviram como apoio na determinação dos valores de CP. A tabela 14 mostra as classes de uso e cobertura vegetal utilizadas e os respectivos valores de CP.

Tabela 14 – Valores de CP para os tipos de uso e cobertura vegetal na bacia do Carinhanha.

Uso da terra/ cobertura	Fator CP
Afloramento Rochoso	0,000
Urbano	0,000
Corpos d'água	0,000
Mata Nativa (Ciliar / Floresta Estacional)	0,00004
Cerrado	0,0007
Área de transição cerrado / caatinga	0,0007
Vegetação Secundária (área desmatada sem uso)	0,01
Área alagável / úmida / veredas	0,01
Área rural de uso diversificado	0,2
Solo exposto	1,000

A partir da determinação dos valores de CP para cada classe de uso do solo e cobertura vegetal, foi gerado um Mapa de CP em formato *raster*, com pixel de 60x60m, para o cruzamento com os demais fatores da EUPS (Figura 27).

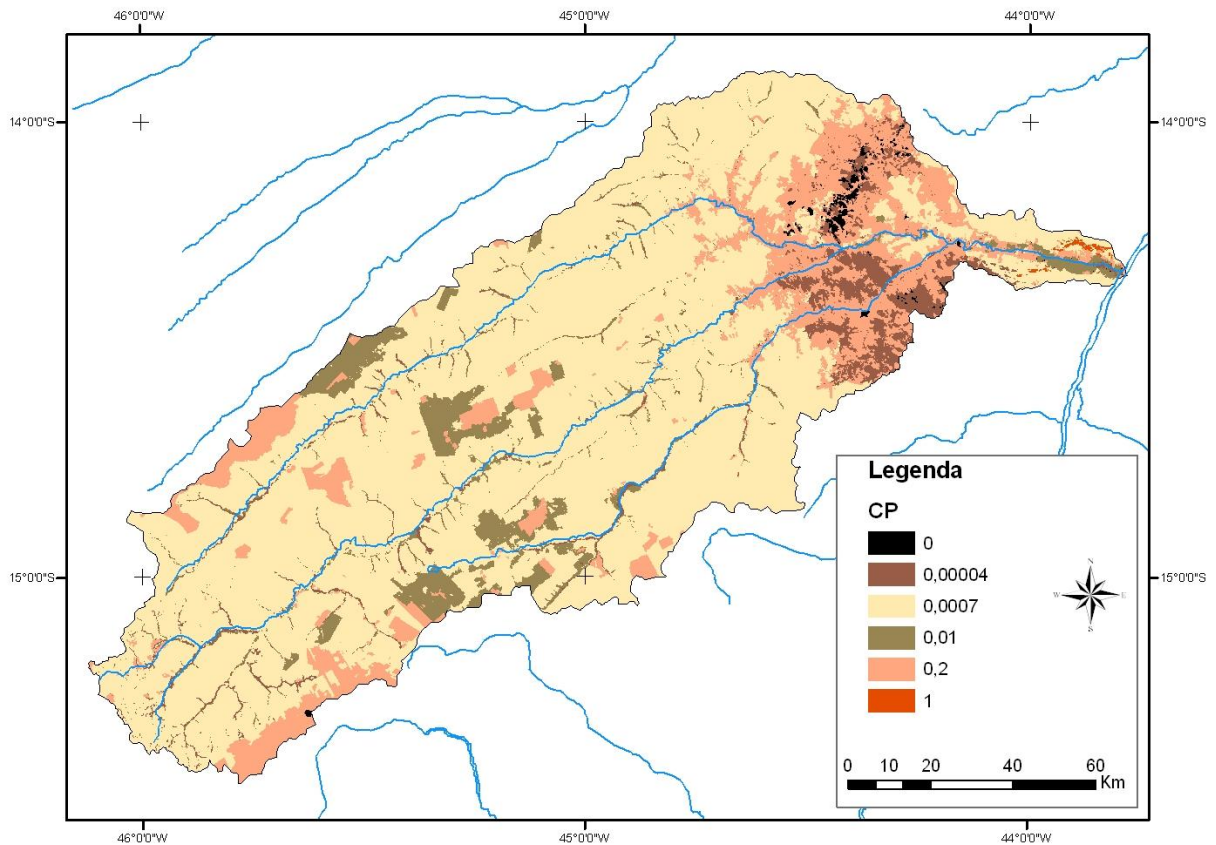


Figura 27 – Mapa dos Fatores CP – Uso e manejo e Fatores conservacionistas.

5.6 – Erosão atual na bacia do Carinhanha

Stein *et al.* (1987) destacam que devido as limitações da EUPS, “os valores alcançados não podem ser tomados quantitativamente, exprimem apenas uma ordenação qualitativa das áreas quanto ao seu potencial de perdas de solo por erosão laminar”. Carvalho (1994) propõe algumas classes de interpretação para a estimativa de perda de solos (Tabela 15).

Tabela 15 – Classes de interpretação para o parâmetro estimativa de perda de solo (Carvalho, 1994).

Taxa de perdas de solo (t/ha.ano)	Interpretação
< 10	Nula a pequena
10 - 15	Moderada
15 - 50	Média
50 - 120	Média a forte
120 - 200	Forte
> 200	Muito forte

O Mapa de Erosão Atual (Ea) da Bacia do Carinhanha foi obtido a partir do cruzamento dos mapas dos Fatores R (Figura 16), K (Figura 19), LS (Figura 22) e CP (Figura 27), por meio do comando *Raster Calculator* da extensão *Spatial Analyst* do *ArcGis*. A Figura 28 mostra o Mapa de Erosão Atual para a Bacia do Rio Carinhanha.

Os valores de perda de solos na área variam de 0 a 257 ton/ha.ano. Esses valores foram divididos em cinco classes, de acordo com a classificação proposta por Carvalho (1994), apresentada na Tabela 15. A classe de erosão “Muito forte” não se aplica na área de estudo, pois o percentual de área com valores de perda de solos acima de 200 ton/ha.ano é insignificante. A Tabela 16 apresenta as classes de erosão atual e a área que cada uma ocupa na Bacia do Carinhanha.

A classe <10 ton/ha.ano ocupa a maior parte de bacia, 89,37% da área, portanto na Bacia do Carinhanha predomina a erosão “nula a pequena”. A segunda classe mais expressiva é a “erosão média”, que ocorre em 6,31% da área. A classe de erosão “média a forte” ocorre em 2,5% da área, enquanto que a “erosão moderada” ocupa 1,79% e a classe >120, perda de solos forte, ocorre em áreas muito pequenas na bacia, representando apenas 0,03% da área.

Tabela 16 – Classes de Erosão Atual (2007).

Classe de degradação	Magnitude da erosão do solo		
	(ton/ha.ano)	Área (ha)	Extensão da área (%)
Nula a pequena	0-10	1.546.487	89,37
Moderada	10-15	30.975	1,79
Média	15-50	109.190	6,31
Média a forte	50-120	43.261	2,50
Forte	>120	519	0,03
Total		1.730.432	100

Através da análise do Mapa de erosão atual da bacia do Carinhanha (Figura 28), juntamente com os mapas dos fatores utilizados, observa-se que a distribuição espacial dos valores de erosão atual está associada principalmente ao tipo de uso do solo e cobertura vegetal, ou seja, aos Fatores CP. Pode-se perceber também a influência dos Fatores LS, já a influência dos Fatores R e K é menos perceptível.

Conforme apresentado nos itens anteriores deste trabalho, 94% da Bacia tem relevo plano ou suave ondulado e cerca de 70% está recoberta por cerrado, que mesmo estando alterado, promove um certo nível de proteção ao solo. Conseqüentemente grande parte da Bacia do Carinhanha não apresentou valores elevados de Erosão atual.

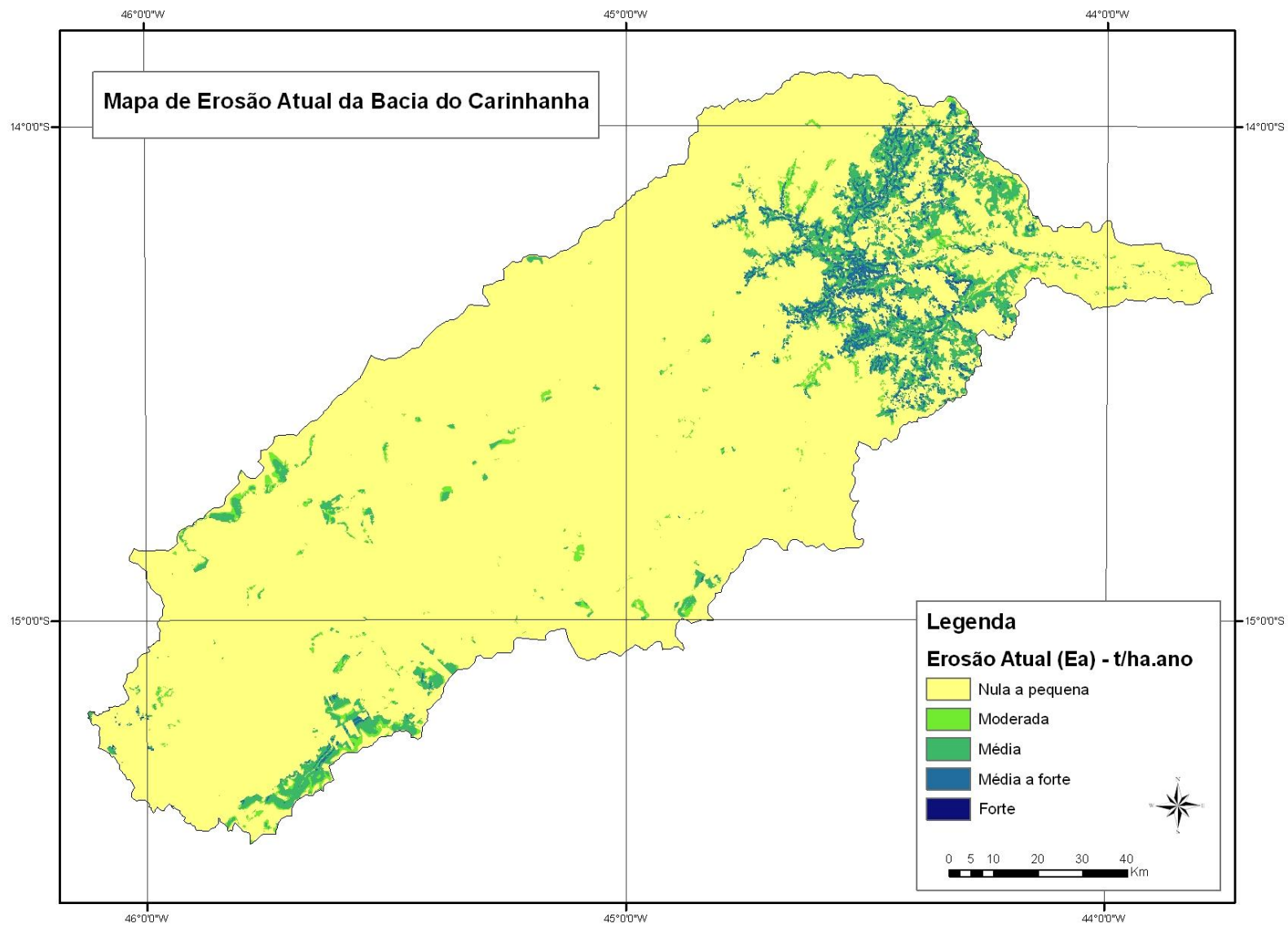


Figura 28 – Mapa de Erosão Atual (Ea) da Bacia do Carinhanha.

Por outro lado, as áreas que apresentaram maiores valores de Erosão Atual (Ea) são justamente as que foram classificadas como solo exposto e áreas rurais de uso diversificado, com maiores valores de CP. A Figura 29 demonstra que a área mais crítica com relação à perda de solos é justamente aquela onde há maior ocupação, localizada na porção leste da Bacia, região de maior densidade demográfica e onde se concentra a maior parte das atividades produtivas.

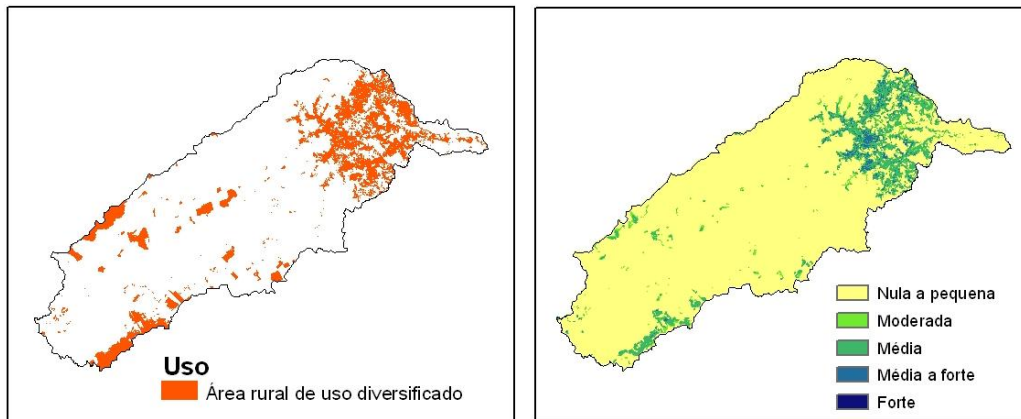


Figura 29 – Mapas de Uso (classe área rural de uso diversificado) e Erosão atual.

A influência do uso e ocupação do solo e cobertura vegetal torna-se ainda mais visível quando se faz uma comparação do Mapa de Erosão Atual com o Mapa de Erosão Potencial. Foi feita uma reclassificação dos valores de potencial de perda de solos (Figura 30), de acordo com os intervalos e a interpretação de Carvalho (1994), apresentados na Tabela 15. Como já foi dito anteriormente, o Mapa de Erosão Potencial corresponde às estimativas de perdas de solo em áreas continuamente destituídas de cobertura vegetal e sem qualquer intervenção antrópica, ou seja, o pior cenário possível.

Com a comparação do Mapa de Erosão Potencial reclassificado (Figura 30) e o Mapa de Erosão Atual (Figura 28), pode-se perceber que a mesma área pode sofrer perdas de solo muito mais severas quando não há proteção da cobertura vegetal. A Tabela 17 mostra as classes de degradação e a área ocupada por cada classe para o Mapa de Erosão Potencial reclassificado.

Seguindo a interpretação de Carvalho (1994), a área de estudo teria um potencial de perda de solos predominantemente média a forte (perdas de 50 a 120 t/ha.ano), que no mapa reclassificado ocupa pouco mais de 35% da área da bacia. A classe Nula a pequena, que no mapa de erosão atual representa 89% da área, passa a representar apenas 14,47%, ocupando apenas os topos mais planos das chapadas e a área mais plana da depressão fluvial. No mapa

de erosão atual a classe muito forte foi inexpressiva e a forte ocupa apenas 0,03% da área, no mapa de Erosão Potencial passa a ocupar 12,07% e 12,43%, respectivamente, ou seja, mais de 24% da bacia teria predisposição à perda de solos forte a muito forte.

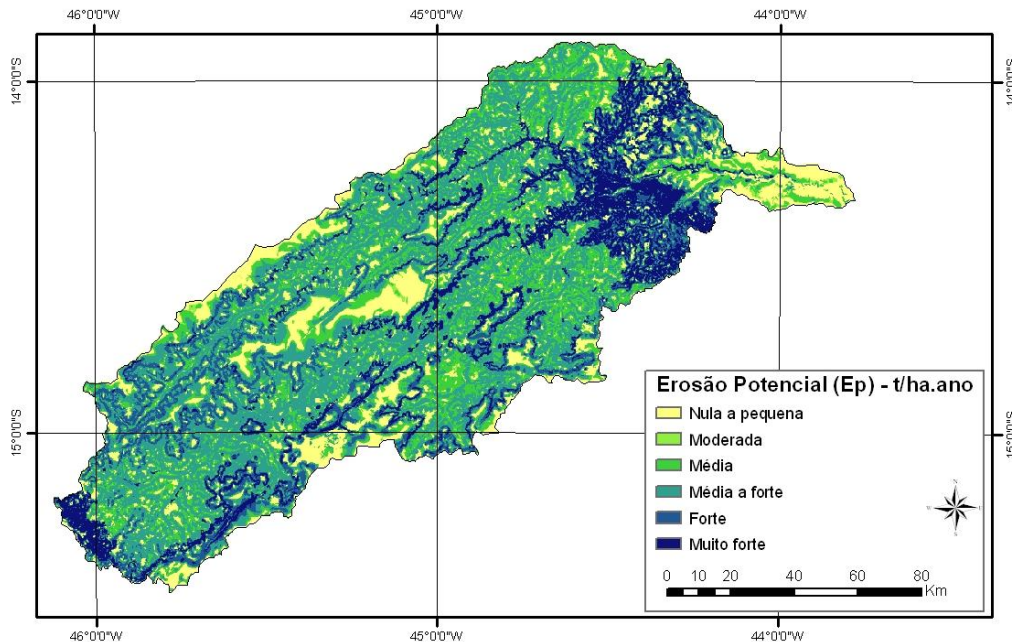


Figura 30 – Mapa de Erosão Potencial reclassificado.

Tabela 17 – Classes de Erosão Potencial.

Classe de degradação	Magnitude da erosão do solo		
	(ton/ha.ano)	Área (ha)	Extensão da área (%)
Nula a pequena	0-10	250.394	14,47
Moderada	10-15	36.512	2,11
Média	15-50	398.518	23,03
Média a forte	50-120	621.052	35,89
Forte	120-200	215.093	12,43
Muito forte	>200	208.863	12,07
Total		1.730.432	100

A mudança de cenário para uma situação de retirada total da cobertura vegetal mostra que o problema da erosão pode vir a se agravar bastante caso não haja um planejamento que leve em conta a vulnerabilidade ambiental da bacia do Carinhanha.

Capítulo 6 – Considerações Finais

O presente trabalho mostra que é viável a utilização da EUPS para a avaliação da estimativa de erosão atual, bem como do potencial erosivo em bacias hidrográficas. Apesar de suas limitações no aspecto quantitativo, quando utilizada para grandes áreas, a aplicação da EUPS permite identificar as perdas de solo decorrentes da ocupação atual, além de possibilitar a simulação de cenários futuros. É uma equação que possibilita o planejamento do uso do solo, considerando as áreas mais propensas à erosão laminar, mesmo em escalas regionais. O uso de ferramentas de SIG é fundamental para a realização dos cruzamentos das variáveis da equação.

O cálculo da Erosão Potencial (E_p) é muito importante para o planejamento ambiental, pois permite delimitar áreas mais vulneráveis à perda de solos, onde pode ser feito um trabalho de prevenção, intensificando os cuidados na ocupação antrópica. Como a E_p leva em consideração a pior situação possível, onde o terreno estaria totalmente desprotegido, os valores encontrados são bem mais elevados que os valores de Erosão atual (E_a). Pode-se concluir que, caso haja uma ocupação na bacia onde a vegetação seja retirada e o solo fique exposto, sem nenhum tipo de proteção, a área sofreria uma severa degradação por erosão. É importante que haja um planejamento na ocupação das áreas com maiores valores de E_p , dando prioridade à preservação das mesmas. Algumas já são protegidas pela legislação ambiental, por serem consideradas de preservação permanente (APPs), tais como as bordas de chapada, que apresentaram os maiores valores de E_p .

A elaboração de um novo mapa de solos para a Bacia do Carinhanha foi importante, pois o mapa disponível para a região apresenta poucos detalhes. O novo mapa apresentou muitas mudanças em relação ao mapa da CODEVASF, no qual o tipo de solo predominante em quase toda a área da bacia é o Latossolo Vermelho-Amarelo. No novo mapa o solo predominante é o Neossolo Quartzarênico.

Com relação à elaboração do Mapa de uso da terra e cobertura vegetal, o uso de imagens de satélite é uma ferramenta essencial. No entanto, imagens de média resolução, como a *Landsat*, em regiões de Cerrado apresentam algumas limitações, pois alguns alvos são facilmente confundidos, prejudicando o resultado das classificações automáticas e demandando muito trabalho para um melhor refinamento dos dados.

Na estimativa de Erosão Atual (E_a) pode-se verificar que 89,37% da área da Bacia do Carinhanha apresentaram valores menores que 10 ton/ha.ano. De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1990) esta é a tolerância de perdas de solos que se pode permitir com um

bom grau de sustentabilidade. No entanto, apesar da situação na Bacia do Carinhanha ainda não ser considerada crítica, o avanço do desmatamento é uma realidade. A ocupação na Bacia do Carinhanha não foge à regra de outras áreas de Cerrado, onde a agricultura intensiva mecanizada vem ganhando espaço, principalmente nos municípios de Chapada Gaúcha (MG) e Cocos (BA). Em grande parte da bacia vem ocorrendo uma intensificação da produção de carvão vegetal, o que vem destruindo a vegetação nativa. Muitas áreas são desmatadas e abandonadas, como os solos são geralmente pobres, a regeneração da vegetação é lenta e o solo fica muitas vezes desprotegido, aumentando assim os riscos de erosão.

A região possui vias de acesso precárias, pouca infraestrutura e baixa densidade populacional, o que representa um entrave na expansão agrícola, um dos prováveis motivos pelos quais ainda restam importantes porções de cerrado na Bacia do Carinhanha. No entanto, o fato de ter sido mapeado 70% de cobertura vegetal natural não significa que as condições de preservação da vegetação sejam as ideais, pois boa parte dessa vegetação apresenta diferentes graus de intervenção antrópica.

O detalhamento do Mapa de uso e cobertura vegetal da Bacia, apresentando as fitofisionomias do Cerrado, bem como seus diferentes graus de preservação/degradação, seria uma importante ferramenta para melhorar o resultado da EUPS, bem como auxiliar no planejamento ambiental da área, fornecendo informações importantes para gestores públicos e sociedade. Este detalhamento poderia ser feito com o uso de imagens de satélite de alta resolução e mais trabalhos de campo. Como não foi possível realizar este detalhamento neste trabalho, fica como proposta para um futuro trabalho. A região toda carece de levantamentos físicos, sociais e ambientais mais detalhados.

O Carinhanha é uma das poucas sub-bacias do Rio São Francisco que apresentam tantas áreas de cobertura vegetal natural. O Cerrado, cada vez mais ameaçado pelo avanço da agropecuária e pelo carvoejamento, ainda está relativamente bem preservado nesta área. Esta situação concede à Bacia do Carinhanha uma grande importância. É necessária a adoção de políticas de manejo e conservação do solo, que visem a disseminação de uma cultura conservacionista, planejando conscientemente o uso dos recursos naturais.

Os resultados da EUPS mostram a distribuição espacial das áreas propensas à erosão na bacia, onde práticas conservacionistas podem ser satisfatórias na prevenção da perda de solo por erosão. Esta análise é importante para o planejamento ambiental, e pode dar subsídio ao estabelecimento de cenários que visem o desenvolvimento sustentável da bacia.

Referências Bibliográficas

ANA/GEF/PNUMA/OEA. **Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco – Módulo 2 – Diagnóstico da bacia e cenários de desenvolvimento.** Brasília-DF, 2004.

ANA. **Hidroweb.** Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em 24/06/2008.

AQUINO, C.M.S.; OLIVEIRA, J.G.B.; SALES, M.C.L. Estimativa da erosividade das chuvas (R) nas terras secas do Estado do Piauí. **Revista Ciência Agronômica.** V.37, n.3, p.287-291, 2006.

AQUINO, I.H.V. **Análise da vulnerabilidade à perda de solo na Bacia do Rio Carinhanha – Médio São Francisco.** Brasília, 2007. 52p. Monografia - UnB.

ARAÚJO JUNIOR, G.J.L.D. **Aplicação dos modelos EUPS e MEUPS na Bacia do Ribeirão Bonito (SP) através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.** São José dos Campos-SP, 2003. 122p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos.** 2ª ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 1988. 332p.

BAPTISTA, G.M.M. **Diagnóstico ambiental da perda laminar de solos, no Distrito Federal, por meio de geoprocessamento.** Brasília, 1997. 111p. Dissertação de Mestrado – UnB.

BARBOSA, J.S.F., DOMINGUEZ, J.M.L. **Geologia da Bahia. Texto Explicativo.** Governo do Estado da Bahia, Salvador-BA, 1996, 382p.

BENNETT, H.H. **Soil Conservation.** New York and London: McGraw-Hill Book Company Inc., 1939. 993p.

BERTONI J., LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** São Paulo: Ed. Ícone 1990. 355p.

BIRKELAND, P.W. **Soils and Geomorphology.** New York: Oxford University Press, 1984. 372p.

BORGES, K.M.R. **Erosão do solo no norte do município de Uberlândia (MG).** Uberlândia-MG, 1997. 77p. Monografia - Universidade Federal de Uberlândia.

CAMPOS, J.E.G., DARDENNE, M.A. Estratigrafia e sedimentação da Bacia Sanfranciscana: uma revisão. IN: **Revista Brasileira de Geociências**, 27(3):269-282, 1997.

CAMAPUM DE CARVALHO, J., SALES, M.M., SOUZA, N.M., MELO, M.T.S. (Org.). **Processos erosivos no Centro-Oeste Brasileiro.** Brasília: FINATEC, 2006. 464p.

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia prática**. Brasil, Ministério de Minas e Energia, Cia Pesq. Rec. Minerais, Rio de Janeiro, 1994. 371p.

CARVALHO JUNIOR., O.A. de; CARVALHO, A.P.F.; RODRIGUES, N.Q.N.; GUIMARÃES, R.F. Confecção do mapa de susceptibilidade à erosão a partir da USLE utilizando para estimar o fator topográfico o programa Rampa. **Anais do VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão**, Goiânia-GO, 2001a.

CARVALHO JUNIOR., O.A., GUIMARÃES, R.F. Implementação em ambiente computacional e análise de emprego da área de contribuição no cálculo do fator topográfico (LS) da USLE. **Anais do VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão**, Goiânia-GO, 2001b.

CHAVES, H.M.L. **Estimativa da erosão atual e potencial no Vale do São Francisco**. In: Relatório Final de Consultoria. Brasília: CODEVASF – FAO, 1994. 35p.

COELHO, A.L.N. Modelagem hidrológica da Bacia do Rio Doce (MG/ES) com base em imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). In: **Caminhos de Geografia**. V.8, n.22: 116-131, 2007.

COSTA, T.C.;UZEDA, M.C.; FIDALGO, E.C.C.; LUMBRERAS, J.F.; ZARONI, M.J.; NAIME, U.J.; GUIMARÃES, S.P. Vulnerabilidade ambiental em sub-bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro por meio de integração temática da perda de solo (USLE), variáveis morfométricas e o uso/cobertura da terra. **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianopolis-SC, 2007. P. 2493-2500.

DENARDIN, J.E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. Piracicaba-SP, 1980. 81p. Tese de Doutorado – ESALQ/USP.

DESMET, P.J.J.; GOVERS, G.A. GIS Procedure of automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**. V.51, n.5:427-433, 1996.

DIAS, B.F.S. A conservação da natureza. In: **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. M.N.Pinto (org). Brasília-DF: Ed. Universidade de Brasília, 1993. p 607-663. 2ª Edição.

FARINASSO, M. **Avaliação qualitativa do potencial erosivo em grandes áreas por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em sig para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba – PI-MA**. Brasília, 2005. 91p. Dissertação de mestrado – UnB.

FARINASSO, M., CARVALHO JR., O.A., GUIMARÃES, R.F., GOMES, R.A.T., RAMOS, V.M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba – PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia** - Ano 7, nº 2, 2006.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.

FUJIHARA, A.K. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento.** Piracicaba-SP, 2002. 118p. Dissertação de Mestrado - ESALQ/USP.

GOEDERT, W.J. (Org) **Solos dos cerrados, tecnologias e estratégias de manejo.** São Paulo: Nobel; Brasília: EMBRAPA, 1985. 422p.

GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (Org). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** 2ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 339p.

GUIMARÃES, R.F. **Utilização de um modelo de previsão de áreas susceptíveis à escorregamentos rasos com controle topográfico. Adequação e calibração em duas bacias de drenagem.** Rio de Janeiro, 2000. 156p. Tese de doutoramento, Departamento de Geografia, UFRJ.

HERMUCHE, P.M.; GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO, A.P.F.; MARTINS, E.S.; FUKS, S.D.; CARVALHO JÚNIOR, O.A. Processamento digital de imagens morfométricas para subsidiar mapeamento pedológico. IN: **Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Belo Horizonte-MG: INPE, 2003. p.123-130.

HUTCHINSON, M.F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. In: **Journal of Hydrology**, 106: 211-232, 1989.

IBAMA. Notícias Ambientais. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/novo_ibama/paginas/noticias_ambientais_calend.php?dia=2004-06-03&id_arq=1697. Acesso em 13/08/2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico de pedologia.** 2ª Ed. Rio de Janeiro-RJ, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira.** Rio de Janeiro, 1992. 92p. (Manuais técnicos em geociências, 1).

IBGE Cidades. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em 05/08/2008.

LAGO, F.P.L.S.; CHAVES, H.M.L.; GALVÃO, W.S. Avaliação da estrutura da paisagem para o Parque Nacional Grande Sertão Veredas, através de análise de imagens de sensoriamento remoto. IN: **Anais X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Foz do Iguaçu-PR: INPE, 2001. p. 1633-1640.

LAL, R. **Métodos para a avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos.** Jaguariúna-SP: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 97p.

LAL, R. **Soil erosion in the tropics - principles and management.** Mcgraw-Hill, New York, 1990. 580p.

LEMONS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 3.ed. Campinas: SBCS/CNPS, 1996. 84p.

LEPRUN, J. C. **Manejo e conservação de solos no Nordeste**. Recife: SUDENE, 1988.

LIMA, J.E.F.W.; SANTOS, P.M.C.; CHAVES, A.G.M.; SCILEWSKI, L.R. **Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na Bacia do Rio São Francisco**. Brasília: Embrapa Cerrados: ANEEL:ANA, 2001. 108p.

LIMA, J.E.F.W.; SILVA, E.M. Estimativa da produção hídrica superficial do Cerrado brasileiro. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J.C.; FELFILI, J.M. (Org.) **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p.62-72.

LIMA, S.C. **As veredas do Ribeirão Panga no Triângulo Mineiro e a evolução da paisagem**. São Paulo, 1996, 260p. Tese de doutorado, USP.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas-SP. **Bragantia**. Campinas, 51(2):189-196, 1992.

MENESES, P.R., MADEIRA NETTO, J.S. (Org). **Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: UnB; Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2001. 262p.

MME. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SD. 22 Goiás; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1981. 636p. (Levantamento dos recursos naturais, 25).

MME. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SC. 23 Rio São Francisco e SC. 24 Aracaju; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1981. 220p. (Levantamento dos recursos naturais, 25).

MONTEIRO, C.A.F. **Geossistemas: a história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2000, 127p.

MORGAN, R.P.C.; QUINTON, J.N.; RICKSON, R.J. **EUROSEM: Documentation Manual**. Silsoe College, Silsoe, UK, 1992. 34p.

NISHIYAMA, L. **Erosão do solo: uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o seu desenvolvimento**. São Carlos, 1995. 95p. (Seminários Gerais em Geotecnia – SGS-833, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo).

O'CALLAGHAN, J.F.; MARK, D.M. The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer Vision, Graphics and Image Process**, 28(3): 323-344, 1984.

PACHECHENIK, P.E. **Caracterização hidrológica e da fragilidade ambiental na Bacia do Rio das Pedras, Guarapuava – PR**. Curitiba, 2004, 79p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná.

PACK, R.T.; TARBOTON, D.G.; GOODWIN C.N.; PRASAD A.. **SINMAP 2. A Stability Index Approach to Terrain Stability Hazard Mapping, technical description and users guide for version 2.0**. Utah State University, 2005.

PEREIRA, L.H.; PINTO, S.A.F. Utilização de imagens aerofotográficas no mapeamento multitemporal do uso da terra e cobertura vegetal na bacia do rio Corumbataí – SP, com o suporte de sistemas de informações geográficas. IN: **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis-SC: INPE, 2007. p. 1321-1328.

PETRI, S., FÚLFARO, V. J. **Geologia do Brasil**. São Paulo: Ed. USP, 1983, 631p.

PINTO, M.N. (org) **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1993, 2ª ed. 681p.

PINTO, S.A.F. **Sensoriamento remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão dos solos: contribuição metodológica**. São Paulo, 1991. Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo.

PINTO, S.A.F., GARCIA, G. J. Experiências de aplicação de geotecnologias e modelos na análise de Bacias Hidrográficas. In: **Revista do Departamento de Geografia**, n 17, 2005.

QUIRINO, W.S. **Estimativa do potencial de perda de solo por erosão laminar para a Bacia do Rio Carinhanha (BA-MG), Médio São Francisco**. Brasília, 2007. 72p. Monografia, UnB.

RENSCHLER, C.S.; FLANAGAN, D.C.; ENGEL, B.A.; FRANKENBERGER, J.R. GeoWEPP – The geospatial interface for the water erosion prediction project. **Paper 02-2171, American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, Michigan, 2002.

REZENDE, G. C. Política de crédito rural e expansão agrícola dos cerrados. In: GASQUES, J. G., CONCEIÇÃO, J. C. P. R. da. **Transformações da agricultura e políticas públicas**. Brasília: IPEA, p.191-243, 2001a.

REZENDE, G. C. Políticas de Preços Mínimos na Década de 90: Dos Velhos aos Novos Instrumentos. In: LEITE, S., **Políticas Públicas e Agricultura no Brasil**. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p.121-144, 2001b.

RODRIGUES, J.E. **Estudo dos fenômenos erosivos acelerados (boçorocas)**. São Carlos-SP, 1982. Tese de doutorado, EESC-USP.

ROIG, H.L. **Modelagem e integração de dados aplicados à análise dos processos erosivos e de transporte de sedimentos – o caso da Bacia do Rio Paraíba do Sul – SP**. Brasília-DF, 2005. 223p. Tese de Doutorado – Universidade de Brasília.

ROSA, R. O uso de sistemas de informação geográfica para estimativa de perdas de solo por erosão laminar. **Anais do VI Simpósio Nacional de Geografia Física Aplicada**. Goiânia, 1995. Vol.2, 266-271.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**, 5ª edição. Uberlândia: Ed. da Universidade Federal de Uberlândia, 2003.

SANTOS, R.F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. **Geologia do Brasil. Texto Explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da Área Oceânica Adjacente incluindo Depósitos Minerais. Escala 1:2.500.000.** DNPM, Brasília, 1984, 501p.

SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E.; CAMARGO, P.B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas.** São Carlos: RiMa, 2004. 140p.

SILVA, L.L. O papel do Estado no processo de ocupação das áreas de Cerrado entre as décadas de 60 e 80. **Caminhos de Geografia**, 1(2)24-36, 2000.

SILVA, M.L.N., CURI, N., LIMA, J.M., FERREIRA, M.M. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de Latossolos Brasileiros. **Pesq. Agropec. Bras.** V.35, n.6. Brasília, 2000. p. 1207-1220.

SILVA, V.C. **Erosão atual, erosão potencial e aporte de sedimento na bacia do Rio Paracatu (MG/GO/DF).** Brasília-DF, 2001. 104p. Tese de Doutorado – Universidade de Brasília.

SPÖRL, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do Rio Jaguari-mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata.** São Paulo, 2001. 159p. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo - USP.

SPÖRL, C. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais.** São Paulo, 2007. 185p. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo - USP.

STEIN,D.P., DONZELLI,P.L., GIMENEZ,A.F., PONÇANO,W.L., LOMBARDI NETO,F. Potencial de erosão laminar, natural e antrópico, na Bacia do Peixe-Paranapanema. **Anais 4º Simpósio Nacional de Controle de Erosão.** Marília-SP: ABGE / DAEE, 1987. p.105-135.

TARBOTON, D.G.A. New method for the determination of flow directions and up slope areas in grid digital elevation models. **Water Resources Research.** v.33, p.309-319, 1997.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE-SUPREN, 1977, 91p.

VALENTIN, E.F.D. **Modelagem dinâmica de perdas de solo: o caso do Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto-DF/GO.** Brasília-DF, 2008. 149p. Tese de doutorado, Universidade de Brasília.

VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de Bacias Hidrográficas, In: Ferreira, M. E. E Cruz, M. C. P. **Solos Altamente Suscetíveis à Erosão.** FCAVUNESP/ Jaboticabal - Soc. Bras. de Ciênc. do Solo, 2004, p. 223-242.

VERDESIO, J.J. As perspectivas ambientais do cerrado brasileiro. *In: Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas.* M.N.Pinto (org). Brasília-DF: Ed. Universidade de Brasília, 1993. p 585-605. 2ª Edição.

VIANA, V.M.F.G. **Estudo hidrogeoquímico das veredas do Rio do Formoso no município de Buritizeiro, Minas Gerais.** Belo Horizonte-MG, 2006. 72p. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG.

VIEIRA, S.R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estados de São Paulo. **Bragantia**. Campinas, 54(2):405-412, 1995.

VILAR, O.M., PRANDI, E.C. Erosão dos solos, in: **Solos do interior de São Paulo**. São Carlos-SP: ABMS e USP/SC, 1993, p. 177-206.

WILLIAMS, J. R. Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In: Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources. **USDA-ARS Handbook S-40**, 1975. 118-124 p.

WISCHMEIER, W.H., JOHNSON, C.B. e CROSS, B.V. **A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites**. Jour. Soil Wat.Conserv. v.26, pp. 189-193, 1971.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Rainfall energy and its relationship to soil loss**. Trans. American Geoph. Un., Washington, 39:285-291, 1958.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains**. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1965. 47p. (Agriculture Handbook n° 282).

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses; a guide to consevation planning**. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1978. 58p. (Agriculture Handbook n° 537).

WWF. **De grão em grão, o Cerrado perde espaço (Cerrado – impactos do processo de ocupação)**. Brasília-DF:WWF, 1995. 66p.

YOUNG, R.A.; ONSTAD, C.A.; BOSCH, D.D.; ANDERSON, W.P. AGNPS, Agricultural Nonpoint Source Pollution Model: a large watershed analysis tool. **Conservation Research Report n°35**. Agriculture Research Service, US Department of Agriculture Washington, DC, 1987. 77p.

ZACHAR, D. Soil Erosion. **Developments in Soil Science –10**. Elsevier Scientific Publishing Company, New York, 1982. 547p.