



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

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA SUSCEPTIBILIDADE
EROSIVA NA BACIA DO RIO URUCUIA (MG) POR MEIO DA
EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS**

Clarisse Lacerda Mata

Orientador: Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior
Co-orientador: Dr. Éder de Souza Martins

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Brasília, março de 2009

CLARISSE LACERDA MATA

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA SUSCEPTIBILIDADE
EROSIVA NA BACIA DO RIO URUCUIA (MG) POR MEIO DA
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. Éder de Souza Martins

Brasília, março de 2009



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

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA SUSCEPTIBILIDADE
EROSIVA NA BACIA DO RIO URUCUIA (MG) POR MEIO DA
EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS**

CLARISSE LACERDA MATA

Dissertação de Mestrado aprovada pela banca examinadora constituída por:

Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior
Orientador, Professor Adjunto (UnB)

Dr. Éder de Souza Martins
Co-orientador (Embrapa Cerrados)

Dr. Renato Fontes Guimarães
Examinador Interno, Professor Adjunto (UnB)

Dr. Heraldo Peixoto da Silva
Examinador Externo, Professor Adjunto (UFBA)

Brasília, 23 de março de 2009

FICHA CATALOGRÁFICA

MATA, CLARISSE LACERDA

Análise Multitemporal da Susceptibilidade Erosiva na Bacia do Rio Urucuia (MG) por meio da Equação Universal de Perda de Solos, 71 p., 297 mm, (UnB-GEA, Mestre, Gestão Ambiental e Territorial, 2009).

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

1. Erosão

2. EUPS

3. Análise Multitemporal

4. Geoprocessamento

I. UnB-IH-GEA

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Mata, Clarisse Lacerda. **Análise Multitemporal da susceptibilidade Erosiva na Bacia do Rio Urucuia (MG) por meio da Equação Universal de Perda de Solos.** (Dissertação de Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Geografia. Universidade de Brasília, 2009. 71p.

CESSÃO DE DIREITOS

Nome do autor(a): Clarisse Lacerda Mata

Título da dissertação: Análise Multitemporal da susceptibilidade Erosiva na Bacia do Rio Urucuia (MG) por meio da 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.

Clarisse Lacerda Mata

AGRADECIMENTO

Agradeço,

À Deus, meu referencial, pelo fôlego da vida, pela motivação restaurada a cada dia e por tudo o mais.

À minha família pela paciência em especial aos meus pais, Sérgio Néri da Mata e Regina Célia Lacerda da Mata, meus grandes incentivadores, pela confiança depositada e por serem responsáveis por todas as minhas conquistas.

Ao meu orientador Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior pelas correções, troca de informações, bases de dados e material bibliográfico, bem como pela convivência agradável e harmoniosa.

Aos pesquisadores do LSIE, Dr. Éder de Souza Martins, Dr. Renato Fontes Guimarães e Dr. Roberto Arnaldo Trancoso Gomes pelas sugestões, correções e pelo aprendizado que me proporcionaram durante todo o desenvolvimento da dissertação.

Ao Dr. Heraldo Peixoto da Silva pela disposição e contribuição dada através das correções do artigo e da dissertação.

Aos professores integrantes do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Programa de Pós Graduação em Geotecnia e Centro de Desenvolvimento Sustentável, pelo aprendizado adquirido durante as disciplinas realizadas.

À Capes pela concessão da bolsa de pesquisa.

Ao Ibama, em especial ao Centro de Sensoriamento Remoto, por fornecer o material necessário para a realização do trabalho de campo.

À Embrapa, especialmente ao Dr. Éder de Souza Martins e ao Biólogo Wellington Bastos, pelo apoio antes, durante e depois do trabalho de campo.

À amiga Geógrafa Kelly Resende pela amizade, discussões, auxílio em campo e durante toda a elaboração da dissertação e do curso de mestrado.

Aos colegas e amigos do mestrado, em especial ao Engenheiro Florestal Nilton Goulart e aos Geógrafos Karla Christina e Sérgio Noronha.

A todos os colegas e amigos do LSIE, em especial aos Geógrafos Sandro Nunes, Miriam Rodrigues, Elisabete Silveira, Marcus Fábio, Leonardo Freitas, Verônica Ramos, Vinicius Vasconcelos e aos Engenheiros Florestais Antônio Felipe e Otacílio Antunes.

Aos amigos da Aneel e IBGE, Engenheiros Cartógrafos Alessandra Luiza e Marcelo Nunes, e aos Geógrafos Michel Loures, Saulo Faria e Rafael de Castro pela troca de experiências, aprendizado e amizade desfrutada.

Aos amigos da Universidade Federal de Goiás, especialmente aos Geógrafos Sílvio Romeo, Renê Fernandes, Luíza Helena, Marcos David e Vinicius Aguiar e à Cientista Social Cristiana Fernandez pelo constante apoio e incentivo.

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

Muito obrigada.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| LISTA DE FIGURAS | 8 |
| LISTA DE TABELAS | 9 |
| RESUMO | 10 |
| ABSTRACT | 11 |
| CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1. APRESENTAÇÃO | 13 |
| 1.2. OBJETIVOS | 15 |
| 1.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO | 15 |
| CAPÍTULO II: ÁREA DE ESTUDO | 18 |
| 2.1. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS | 19 |
| 2.2. CLIMA | 22 |
| 2.3. GEOLOGIA | 22 |
| Grupo Paranoá | 22 |
| Grupo Bambuí | 22 |
| Grupo Areado | 23 |
| Grupo Urucuia | 23 |
| Depósitos Detrito-Lateríticos | 23 |
| 2.4. SOLO | 25 |
| Latosolo | 25 |
| Neossolo | 25 |
| Cambissolo | 26 |
| Argissolo | 26 |
| 2.5. VEGETAÇÃO | 29 |

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO III: EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS E POTENCIAL NATURAL A EROSÃO | 31 |
| 3.1. FATOR LS (TOPOGRÁFICO) | 32 |
| 3.1.1. Elaboração do Modelo Digital do Terreno (MDT) | 32 |
| 3.1.2. Obtenção do Fator L | 34 |
| 3.1.3. Obtenção do Fator S | 35 |
| 3.1.4. Elaboração dos Fatores LS | 36 |
| 3.2. FATOR R (EROSIVIDADE) | 38 |
| 3.3. FATOR K (ERODIBILIDADE) | 43 |
| 3.4. POTENCIAL NATURAL A EROSÃO | 46 |
| | |
| CAPÍTULO IV: ANÁLISE MULTITEMPORAL DA EROSÃO ATUAL | 49 |
| 4.1. INTRODUÇÃO | 50 |
| 4.2. CONFECÇÃO DO MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA | 50 |
| 4.2.1. Análise dos Fatores C e P para os anos 1987 e 2007 | 54 |
| 4.3. CONFECÇÃO DO MAPA DE EROSÃO ATUAL (Ea) | 57 |
| 4.3.1. Erosão Atual em 1987 | 57 |
| 4.3.2. Erosão Atual em 2007 | 58 |
| 4.3.3. Análise Multitemporal da Erosão Atual | 59 |
| | |
| CAPÍTULO V: CONCLUSÕES | 63 |
| | |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 66 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Procedimentos Metodológicos..... | 17 |
| Figura 2: Mapa de Localização da Bacia do Rio Urucuia-MG | 20 |
| Figura 3: Mapa de Clima da Bacia do Rio Urucuia-MG..... | 21 |
| Figura 4: Mapa de Geologia da Bacia do Rio Urucuia-MG | 24 |
| Figura 5: Fotos dos principais tipos de solos encontrados em trabalho de campo a Bacia do Rio Urucuia-MG, realizado em junho de 2008. Fotos de Kelly Resende e Clarisse Lacerda | 27 |
| Figura 6: Mapa de Solos da Bacia do Rio Urucuia-MG, com a classificação de solos conforme Embrapa, 2006..... | 28 |
| Figura 7: Fitofisionomias de cerrado encontradas na Bacia do Rio Urucuia-MG em trabalho de campo realizado em junho de 2008. Fotos de Kelly Resende e Clarisse Lacerda | 29 |
| Figura 8: Mapa de Vegetação da Bacia do Rio Urucuia-MG | 30 |
| Figura 9: Modelo Digital do Terreno gerado pelo módulo de interpolação Topogrid.. | 33 |
| Figura 10: Mapa dos Fatores L e S gerado pelo algoritmo D8 | 36 |
| Figura 11: Mapa dos Fatores L e S gerado pelo algoritmo D_{∞} | 37 |
| Figura 12: Média Anual o total pluviométrico para as estações trabalhadas | 41 |
| Figura 13: Distribuição do Fator R para as estações trabalhadas | 41 |
| Figura 14: Mapa do Fator R para a Bacia do Rio Urucuia-MG | 42 |
| Figura 15: Mapa do Fator K para a Bacia do Rio Urucuia-MG | 45 |
| Figura 16: Mapa de Potencial Natural a Erosão na Bacia do Rio Urucuia-MG | 48 |
| Figura 17: Mapa de uso do solo de 1987 da Bacia do Rio Urucuia-MG | 52 |
| Figura 18: Mapa de uso do solo de 2007da Bacia do Rio Urucuia-MG | 53 |
| Figura 19: Comparativo entre o Fator CP de 1987 e 2007 | 56 |
| Figura 20: Figura 20: Comparativo das áreas de uso natural e uso antrópico do solo a partir do Fatores C e P | 57 |
| Figura 21: Perda de solo na Bacia do Rio Urucuia em 1987 em % | 58 |
| Figura 22: Perda de solo na Bacia do Rio Urucuia em 2007 em % | 59 |
| Figura 23: Análise Multitemporal da Erosão Atual (1987 - 2007) em % | 60 |
| Figura 24: Mapa de Erosão Atual (1987) | 61 |
| Figura 25:Mapa de Erosão Atual (2007) | 62 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Dados pluviométricos utilizados para a análise do Fator R | 40 |
| Tabela 2: Classes de interpretação dos valores de K | 44 |
| Tabela 3: Classes de interpretação para a perda de solo potencial na Bacia do Rio Urucuia | 46 |
| Tabela 4: Integração dos fatores C e P | 54 |
| Tabela 5: Classes de CP adotadas para a Bacia do Rio Urucuia-MG | 55 |
| Tabela 6: Comparativo dos Fatores C e P para a Bacia do Rio Urucuia-MG (1987 e 2007) | 55 |
| Tabela 7: Classes de interpretação para a estimativa de perda de solo atual na Bacia do Rio Urucuia-MG | 57 |
| Tabela 8: Comparativo da perda de solo para a Bacia do Rio Urucuia-MG entre 1987 e 2007 em % | 59 |

RESUMO

A Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) é um modelo de predição de perda de solo determinada através do cruzamento da erosividade da chuva, Fator R, da erodibilidade do solo, Fator K, do comprimento de rampa, Fator L, da declividade da vertente, Fator S, da cobertura e do manejo, Fator C, e das práticas conservacionistas, Fator P. Sem dúvidas esta metodologia de predição de perda de solos, tem sido largamente utilizada como um instrumento de avaliação de risco da instalação de processos erosivos acelerados e como medida orientativa de planejamento em bacias de uso agrícola. Assim, o presente trabalho tem por objetivo identificar cenários de ação da erosão nos solo da Bacia do Rio Urucuia, Minas Gerais, Brasil, através dos resultados gerados com a EUPS para 1987 e 2007. A Bacia do Rio Urucuia é tributária da Bacia do Rio São Francisco, com aproximadamente 25.000 km², contribui com 10% de vazão e 18% da carga de sedimentos. A metodologia usou ferramentas de SIG para facilitar a obtenção do Fator Topográfico (LS) por meio do MDT e através dos dados de Sensoriamento Remoto foi desenvolvida a classificação de cobertura do solo, por conseguinte obteve-se os fatores cobertura e manejo (C) e práticas conservacionistas (P). A classificação das imagens Landsat-TM foi feita pelo classificador ISODATA para dois anos, 1987 e 2007. A análise multitemporal permitiu determinar que mudanças significativas na erosão do solo ocorreram na área estudada no final de vinte anos. O fator mais significativo para a degradação e erosão foi o aumento das áreas agrícolas, que por vezes são feitas sem a preocupação com as práticas conservacionistas adequadas, isso é evidenciado pela comparação dos mapas gerados de Potencial Natural a Erosão e de Erosão Atual. Os resultados mostram a distribuição espacial das distintas áreas propensas à erosão na bacia, onde práticas conservacionistas poderiam ser mitigadoras na prevenção da perda de solo e água por erosão. Esta análise é importante para o planejamento ambiental, e pode dar subsídio na formulação de políticas públicas para o estabelecimento de cenários que visem o desenvolvimento sustentável da Bacia do Rio Urucuia, além disso esta pesquisa pode auxiliar na avaliação dos resultados da revitalização do Rio São Francisco.

Palavras-chave: EUPS, análise multitemporal, uso do solo, sistemas de informação geográfica, sensoriamento remoto

ABSTRACT

The Universal Soil Loss Equation (USLE) is an erosion model to estimate average soil loss being as a product of rainfall runoff erosivity factor R, soil erodibility factor K, slope length factor L, slope steepness factor S, cover management factor C, and support practice factor P. Beyond this methodology to predict soil loss, it has been extended as a useful tool for evaluating erosion risk and planning measures for the conservation in agricultural watersheds. Thus the present work has aim to identify soil erosion changes in the Urucuia River Basin, Minas Gerais state, Brazil using the USLE results in 1987 and 2007. The Urucuia's River Basin is a tributary of the São Francisco River Basin, with approximately 25.000 km², which contributes with 10% of the discharge and 18% of the sediment loads. The methodology used GIS tools in order to facilitate derivation of the topographic factor (LS) from DEM and remote sensing data to obtain land cover classifications and consequently both factors cover-management (C) and support practice (P). The Landsat TM images classification were obtained by using an ISODATA classifier for the two years, 1987 and 2007. The multitemporal analysis determined that there were significant changes concerning soil erosion in the studied area in the last twenty years. The most significant factor that added to the degradation and erosion was the increase of agricultural areas, evidenced by the comparison of the potential erosion with the current erosion. The results show the spatial distribution of different erosion prone areas in watershed, where management practices might be suitable to prevent soil erosion. The analysis is important for the environmental planning, as they can give subsidy to the establishment of sustainable development scenarios for the basin.

Keywords: erosion, USLE, multi-temporal analysis, use and handling, Urucuia's River Basin

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO

Em uma análise ambiental estratégica é de fundamental importância considerar os atributos do meio físico e social, buscando compreender a complexidade e a pluralidade que envolve suas relações e implicações. Uma importante preocupação para o planejamento conservacionista é a erosão, causadora de diversos impactos ambientais que atinge a população urbana e rural, como: perda da biodiversidade, comprometimento da qualidade da água, redução da produtividade agrícola, assoreamento de rios e reservatórios, redução da capacidade de drenagem, inundações, instalação de processos de arenização e/ou desertificação com consequências ambientais e sócio-econômicas.

O principal agente erosivo em ambiente tropical é a água, que intensifica sua ação quando não infiltrando no solo, seja por deficiência de cobertura vegetal ou compactação (Primavesi, 1987, Bertoni e Lombardi Neto, 1990, Merten *et al.*, 1995). A erosão hídrica pode ser de dois tipos: laminar ou linear. A erosão laminar é gerada pelo fluxo difuso de água na superfície, provocando a dispersão de energia em múltiplos canais, que resulta na remoção progressiva e relativamente uniforme dos sedimentos dos horizontes superficiais do solo. É um dos tipos de erosão mais importantes, porém dificilmente perceptível podendo ser identificada pelo decréscimo de produção das culturas e pelo aparecimento de raízes. Em contraposição, a erosão linear concentra o escoamento da água gerando sulcos, ravinas e voçorocas.

A evolução dos processos erosivos pode ser descrito em quatro estágios (CEMIG, 2001): (1) formação do canal, com concentração de escoamento de água; (2) crescimento rápido em profundidade e largura; (3) pausa ou diminuição do crescimento da profundidade e da largura com início do crescimento de vegetação; e (4) possível estabilização, quando as paredes da erosão se tornam estáveis graças à vegetação que segura o solo.

Analisando-se o sedimento o processo erosivo pode ser dividido em quatro etapas: (1) desagregação, definido como a liberação de partículas dos agregados e, uma vez desprendidas, elas podem permanecer próximas ao agregado ou serem transportadas (Carvalho *et al.*, 2001); (2) transporte, momento em que os sedimentos desagregados deslocam-se por ação da água, do vento ou do gelo; e (3) sedimentação, quando os sedimentos desagregados e transportados depositam-se nas porções mais baixas do relevo.

Vários modelos tem sido elaborados e aplicados como ferramentas de avaliação nos estudos erosivos. Os modelos por serem simplificações ou abstrações da realidade buscam elaborar hipóteses e previsões de um determinado sistema (Haggett & Chorley, 1967, Harvey, 1969). Cook (1936) foi um dos primeiros a formular um modelo de erosão, onde os fatores

considerados foram erodibilidade do solo, erosividade da chuva e cobertura vegetal. A partir disso, foram propostas a adição de outros fatores ao modelo como: elemento topográfico (comprimento de rampa e declividade) (Zingg, 1940); práticas conservacionistas (Smith, 1941); e uso e manejo do solo (Browning & Class, 1947).

Inicialmente denominada de Musgrave, a Universal Soil Loss Equation - USLE (Equação Universal de Perdas de Solos – EUPS) foi desenvolvida em 1954, pelo *National Runoff and Soil Loss Data Center* e pela *Agricultural Research Service* em colaboração com a Universidade de Perdue (USA) e revisada por Wischmeier & Smith (1965 e 1978). A EUPS ($\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) é o produto dos seguintes atributos (Equação 1): (1) da erosividade da chuva (Fator R - MJ.mm/ha.h), (2) da erodibilidade do solo (Fator K - ton. ha.h/ha.(MJ.mm)), (3) do comprimento de rampa (Fator L - adimensional) e do gradiente da declividade (Fator S - %), (4) da cobertura superficial ou uso/manejo (Fator C - adimensional) e, (5) das práticas conservacionistas (Fator P - adimensional).

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad 1$$

Tal equação foi concebida para aplicação em pequenas áreas de clima temperado, entretanto, seu uso em regiões tropicais e em escala regional é possível, principalmente, em um enfoque qualitativo a fim de discriminar áreas de maior e menor suscetibilidade à erosão (Hoyos, 2005, Stein *et al.*, 1987, Bloise *et al.*, 2001). Esta informação, ainda que qualitativa, fornece subsídios relevantes para a elaboração do planejamento agrícola e ambiental de bacias hidrográficas. A adequação do modelo da EUPS em ambiente computacional de um SIG permite uma otimização e resultados espaciais mais precisos.

Outros modelos empíricos foram desenvolvidos como: (a) ANSWERS - *Areal Nonpoint Source Watershed Environmental Response Simulation* (Beasley e Huggins, 1982), que simula o escoamento superficial e a erosão em micro bacias predominantemente agrícolas; (b) MUSLE - *Modified Universal Soil Loss Equation* (Glaetzer & Grierson, 1987) que consiste em uma modificação da USLE e tem sua aplicação restrita a microbacias hidrográficas; (c) AGNPS - *Agricultural Non-Point Source Pollution Model* (Young *et al.* 1989), o qual compara os efeitos do controle da poluição através de práticas de manejo conservacionista, incorporadas às bacias hidrográficas e também é utilizado no estudo de processos erosivos; (d) EPIC - *Erosion Productivity Impact Calculator* (Williams, 1990) que, conforme Araújo (2006), pode ser usado para determinar o efeito de estratégias de manejo agrícola sobre os recursos hídricos e a produtividade de solos; (e) RUSLE - *Revised*

Universal Soil Loss Equation (Renard, & Foster, 1991) se diferenciando da USLE na precisão dos valores do fator erosividade das chuvas e do fator K, que utiliza como parâmetro para seu cálculo a umidade dos solos; (f) WEPP - *Water Erosion Prediction Project* (Flanagan & Nearing, 1995), que se baseia em simulações numéricas; e (g) SWAT – *Soil and Water Assessment Tool* (Arnold e Allen, 1996), a qual objetiva estimar o impacto da água sobre o solo em grandes bacias hidrográficas.

Todavia, a EUPS (USLE) devido à sua simplicidade torna-se amplamente utilizada e aplicada. Através desta equação vários estudos tem sido desenvolvidos nas bacias do São Francisco e Parnaíba (Chaves, 1994; Silva, 2001; Farinasso *et al.* 2006).

Diante disto a EUPS será utilizada como ferramenta principal para o alcance dos objetivos desta pesquisa.

1.2. OBJETIVOS

O presente trabalho possui como objetivo identificar áreas que são mais susceptíveis a erosão na Bacia do Rio Urucuia por meio de uma análise multitemporal da EUPS nos anos 1987 e 2007. Este enfoque temporal permitirá avaliar a progressão antrópica e suas relações com processos erosivos na área de estudo. Desta forma, este trabalho fornecerá subsídios para o planejamento territorial da Bacia do Rio Urucuia, área com intensas atividades agropastoris.

Objetivos específicos:

- Gerar o Modelo Digital do Terreno;
- Mapear e caracterizar os atributos da EUPS;
- Mapear e caracterizar o Potencial Natural a Erosão;
- Mapear e caracterizar a Erosão Atual de 1987 e 2007;
- Distinguir as mudanças do uso do solo na Bacia do Rio Urucuia por meio de uma análise multitemporal e espacial do uso do solo.

1.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Os procedimentos metodológicos adotados podem ser subdivididos em três etapas: (a) obtenção dos fatores físicos da EUPS que conjuntamente correspondem ao Potencial Natural de Erosão, (b) obtenção dos fatores antrópicos avaliando suas alterações em duas datas distintas, e (c) integração de todos os fatores para identificar as áreas mais susceptíveis à erosão atual (Figura 1). Neste intuito foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento, associado a trabalho de campo. Fora isso, foram utilizadas as bases de

dados em escala 1:100.000, 1:1.000.000 e 1:5.000.000 (pertencentes à CODEVASF, IBGE, MME e CPRM), relativos aos temas de solo, vegetação, geologia, hidrografia e geomorfologia, descritos no Capítulo II.

O Capítulo III descreve a obtenção dos fatores físicos considerando suas particularidades: (a) Fator Topográfico (LS) foi extraído diretamente do Modelo Digital do Terreno (MDT), (b) Fator Erosividade (R), por meio da interpolação dos dados de chuva, e (c) Fator Erodibilidade do Solo (K) através da edição do mapa de solos de Chaves (1994). Por fim o cruzamento dos mapas relativos aos Fatores L, S, R e K gerou o Mapa de Potencial Natural a Erosão (PNE).

O Capítulo IV descreve e compara os fatores antrópicos da EUPS (C e P) em dois tempos distintos (1987 e 2007) obtidos a partir da classificação de imagens TM-Landsat. Por fim, o Capítulo V salienta as principais conclusões obtidas.

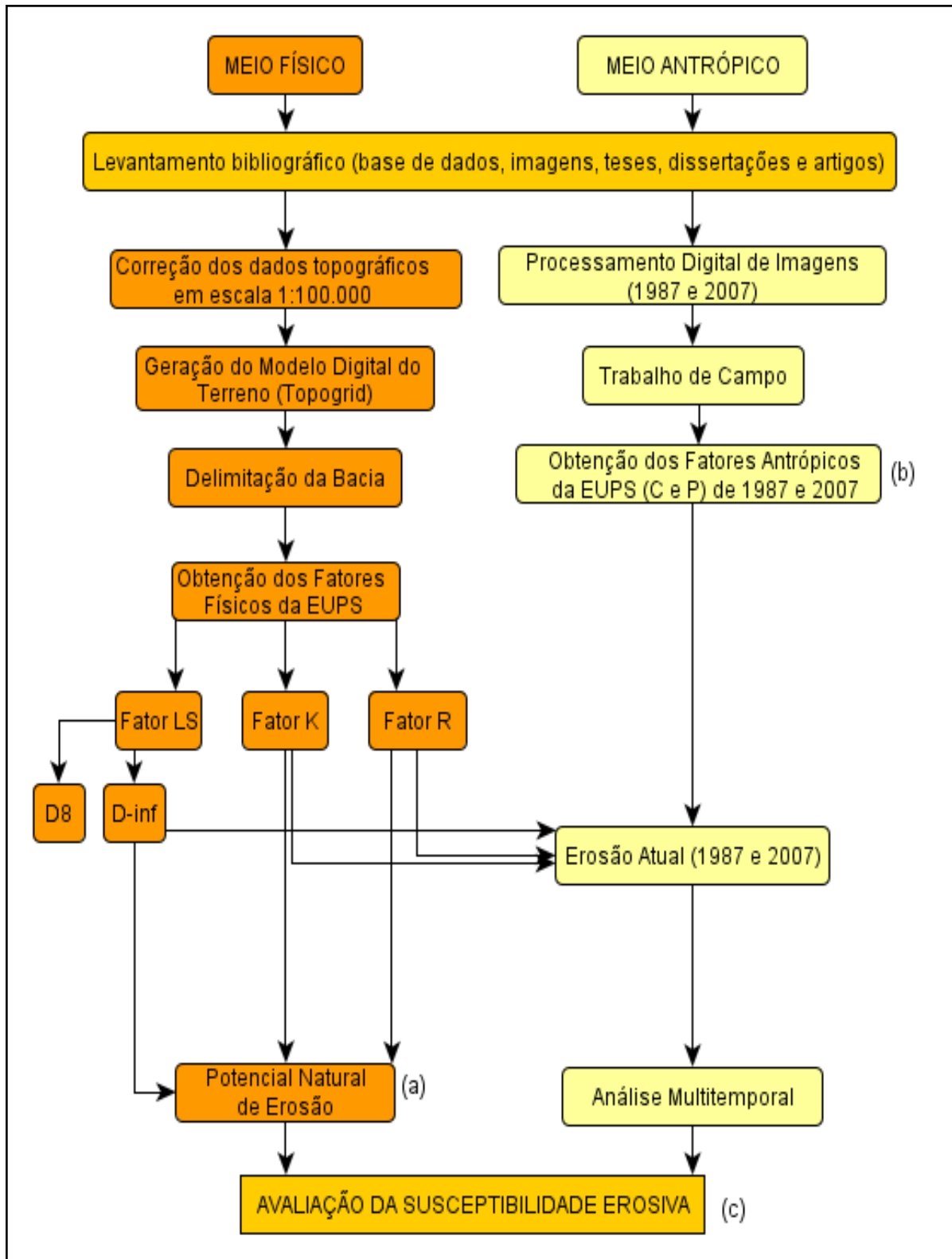


Figura 1: Procedimentos Metodológicos

CAPÍTULO II

ÁREA DE ESTUDO

2.1. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

A Bacia do Rio Urucuia está localizada praticamente toda no estado de Minas Gerais com algumas nascentes situadas no estado de Goiás (45°04'33"W a 47°06'36"W e 14°42'03"S a 16°43'37"S) (Figura 2).

Com aproximadamente 25 mil km² de área e densidade hidrográfica¹ igual a 0,16 (Horton, 1945) e índice de circularidade igual a 0,3 (Miller, 1953), é partícipe da Bacia do Rio São Francisco, a qual com área de 639.207,60 km² (CODEVASF, 2007), exerce relevante função no abastecimento hídrico do Brasil. O São Francisco é um dos principais rios do Brasil, seu canal principal (2.836 km de comprimento) juntamente com seus tributários atravessa seis estados brasileiros (Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Paraíba, Alagoas e Sergipe), característica que lhe confere jurisdição Federal e importância política. Suas águas promovem o desenvolvimento da agricultura, tanto da agricultura familiar quanto do agronegócio, que utiliza irrigação em larga escala, e atende a demanda de vários outros usos, proporcionando o uso múltiplo.

Atualmente, o rio São Francisco tem sido alvo de discussões devido à implementação da transposição do rio, a qual tem como intuito principal diminuir o problema da seca na região e melhor aproveitar o recurso hídrico disponível.

Nesse contexto, a Bacia do Rio Urucuia tem grande importância, pois é uma das bacias de médio porte do São Francisco e possui expressiva contribuição que corresponde a 10% da vazão total e 18% da carga total de sedimentos recebidos pelo Rio São Francisco (CODEVASF, 2002).

2.2. CLIMA

A bacia objeto da pesquisa insere-se em duas tipologias climáticas da classificação de Thornthwaite (1948): (a) tipo B2 (úmido) na porção oeste, que engloba a maior parte da bacia, de montante até as proximidades da confluência do Ribeirão Santa Cruz com o Rio Urucuia, e (b) Tipo C1 (sub-úmido seco) na porção leste da bacia até a confluência com o Rio São Francisco (Figura 3)

Na Bacia do Rio Urucuia todos os meses do ano acusam temperatura média superior a 18°C, sendo que a média anual é de 23°C. O período seco é sempre quente e muito longo, de setembro a março, seguido de uma estação chuvosa que vai de abril a agosto.

¹ A hidrografia apresentada nos mapas foi produzida em escala 1:5.000.000 a fim de facilitar a visualização dos temas de cada mapa.

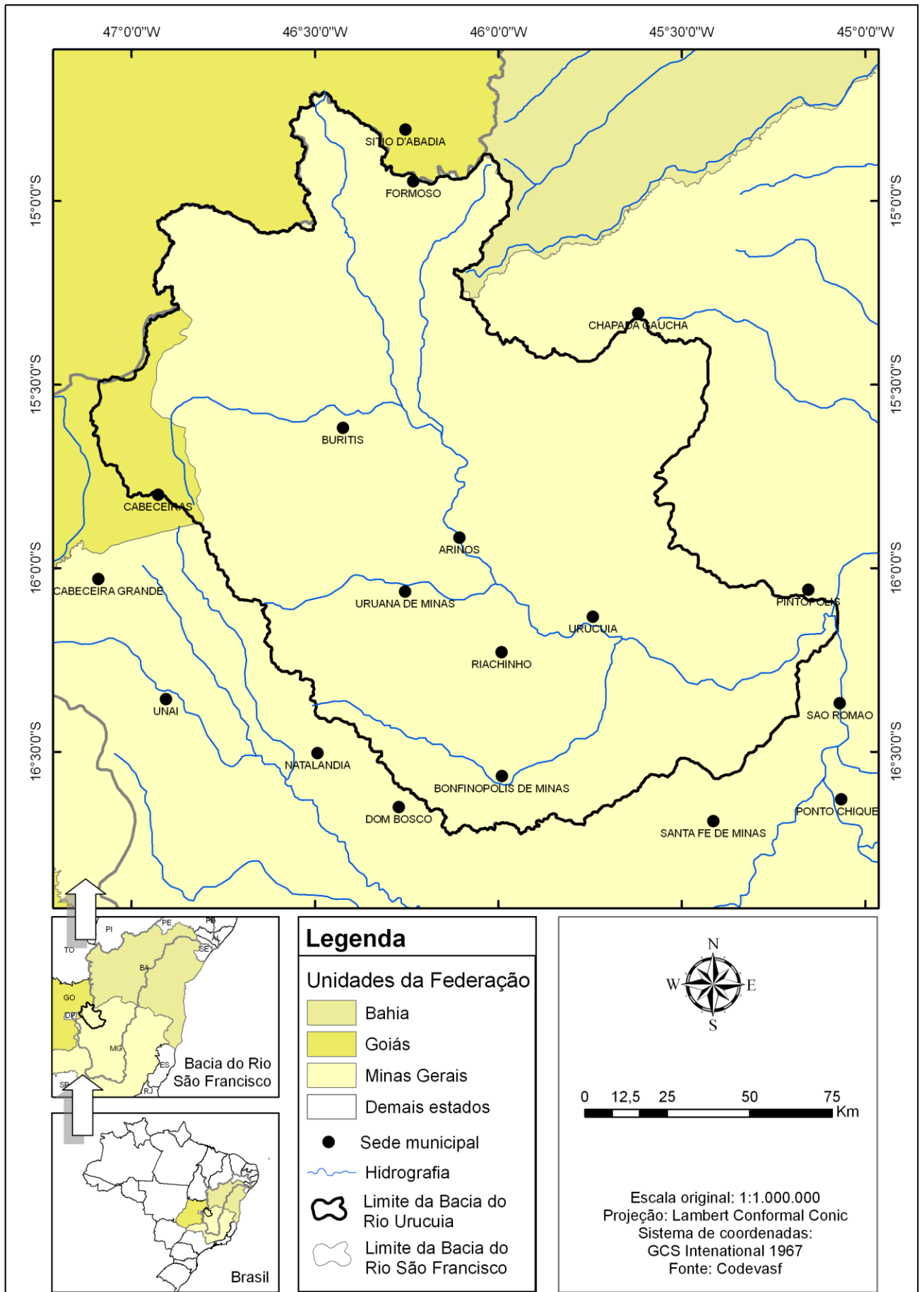


Figura 2: Mapa de Localização da Bacia do Rio Uruçua-MG

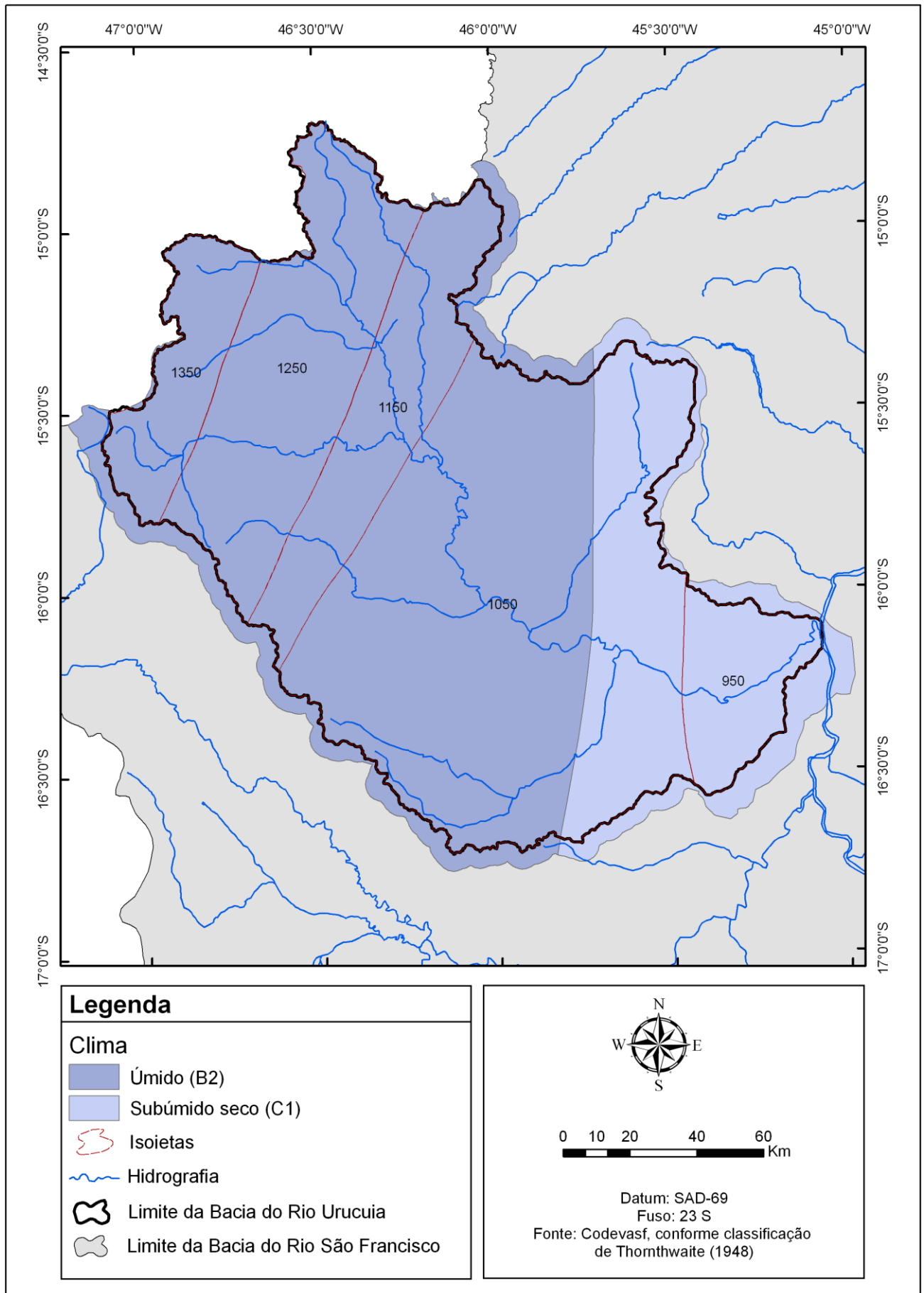


Figura 3: Mapa de Clima da Bacia do Rio Uruçua-MG

No vale do Urucuia, conforme dados do site da ANA (Hidroweb) as médias de precipitação são boas (com total de chuva anual variando entre 1150 mm e 1400 mm). Os máximos verificados nesta região ocorrem nos meses de dezembro ou janeiro. Os valores mínimos de precipitação são verificados entre os meses de junho a agosto. As isoietas presentes na Figura 3 fornecem uma boa demonstração da distribuição pluvial na área estudada.

2.3 GEOLOGIA

A região abrangida pelo Cráton do São Francisco apresenta um registro de sucessivos ciclos sedimentares desde o fim do Paleoproterozóico compreendendo diferentes unidades litoestratigráficas (Campos & Dardenne, 1997; Martins-Neto *et al.*, 2001; Spigolon & Alvarenga, 2002). A estratigrafia Fanerozóica é resultante do preenchimento de uma bacia intracratônica denominada de Bacia Sanfranciscana (Sgarbi, 1989). A Bacia do Rio Urucuia apresenta rochas neoproterozóicas do Grupo Paranoá, bem como uma seção fanerozóica, representadas pelos Grupos Geológicos: Bambuí, Areado e Urucuia (Figura 4).

Grupo Paranoá

O Grupo Paranoá é subdividido em dez unidades mapeáveis distribuídas em duas sequências principais (Olivo, 1989): (a) psamo-pelítica (metaconglomerados, filitos carbonosos e quartzitos); e (b) psamo-pelitocarbonática (calcifilitos, quartzitos, filitos carbonosos e quartzitos feldspáticos). A deposição do Grupo Paranoá é inferida como sendo de 950 e 1300 M.a. devido às associações estromatólitos de *Conophyton metula* (Dardenne *et al.* 1976 e Dardenne 1978, 1981). O evento de metamorfismo e deformação foi estabelecido por volta de 650 M.a., correspondente a orogênese Brasileira (Fuck *et al.*, 1988 e Pimentel *et al.*, 1999). Na bacia do Urucuia as rochas do Grupo Paranoá estão localizadas nas porções mais elevadas da bacia, coincidindo com a área de relevo mais escarpado.

Grupo Bambuí

O Grupo Bambuí é constituído por depósitos carbonáticos e siliciclásticos. O ambiente de deposição da Bacia do Bambuí é caracterizado por três sequências transgressivo-regressivo cada qual apresentando pelitos e calcilitos marinho-profundo na base, sobre os quais progridem depósitos marinhos rasos influenciados por tempestades, portadores de estromatólitos (Dardenne, 1981, 2000). Dardenne (1978) estabeleceu uma subdivisão estratigráfica de forma a buscar uma uniformização a partir de correlações litoestratigráficas

na bacia, sendo constituída pelas seguintes formações da base para o topo: Jequitai (ruditos), Sete Lagoas (margas, calcilutitos, calcarenitos, biolitos), Serra de Santa Helena (pelitos), Lagoa do Jacaré (calcarenitos, pelitos), Serra da Saudade (pelitos) e Três Marias (pelitos, arenitos). Na área de estudo estão presentes as formações Três Marias, Serra de Santa Helena, Serra da Saudade, Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré. Com exceção da formação Três Marias, que representa o assoreamento final do *foreland* Bambuí, todas as demais formações do Grupo Bambuí formam o Subgrupo Paraopeba.

Grupo Areado

Os sedimentos do Grupo Areado (Cretáceo Inferior) apresentam uma grande variação lateral de fácies, caracterizadas por depósitos de leque aluvial, fluvial entrelaçado, flúvio-deltaico, lacustre, campo de dunas e interdunas. Esta unidade está distribuída por toda a extensão da Bacia Sanfranciscana, formada pelos sedimentos fanerozóicos que recobrem o cráton do São Francisco. O Grupo Areado apresenta uma sequência estratigráfica contínua ao sul (Sub-Bacia Abaeté), enquanto mostra-se descontínua na porção centro-norte (Sub-Bacia Urucuia). O Grupo Areado é composto por três formações: Abaeté, Quiricó e Três Barras (Campos & Dardenne, 1997).

Grupo Urucuia

O Grupo Urucuia (Cretáceo Superior) distribui-se no chapadão da Serra Geral de Goiás, que atua como divisor de águas das bacias do rio São Francisco e Tocantins. O Grupo Urucuia é subdividido em duas formações: (a) Formação Posse, unidade basal constituída por arenitos muito finos, finos, médios, com boa maturidade textural e mineralógica, geralmente bem selecionados; e (b) Formação Serra das Araras constituída por arenitos (polimodais, silicificados, vermelhos e com níveis amarelados), argilitos, e conglomerados com coloração avermelhada, intercalados em bancos plano-paralelos com espessuras variando de 50 cm a 2 metros (Campos & Dardenne, 1997). Os arenitos podem chegar a uma espessura de mais de 200 metros (Tschiedel, 2004). O Grupo Urucuia se distribui na porção leste da Bacia do Rio Urucuia.

Depósitos Detrito-lateríticos

Sobre as rochas do Grupo Bambuí ocorre a cobertura do Terciário-Quartenário formado por sedimentos fluviais silto arenoso e areno-siltosos, cobertura argilo-siltosa e silto-arenosa. Os sedimentos inconsolidados, do Quaternário, ocorrem na porção leste, no vale

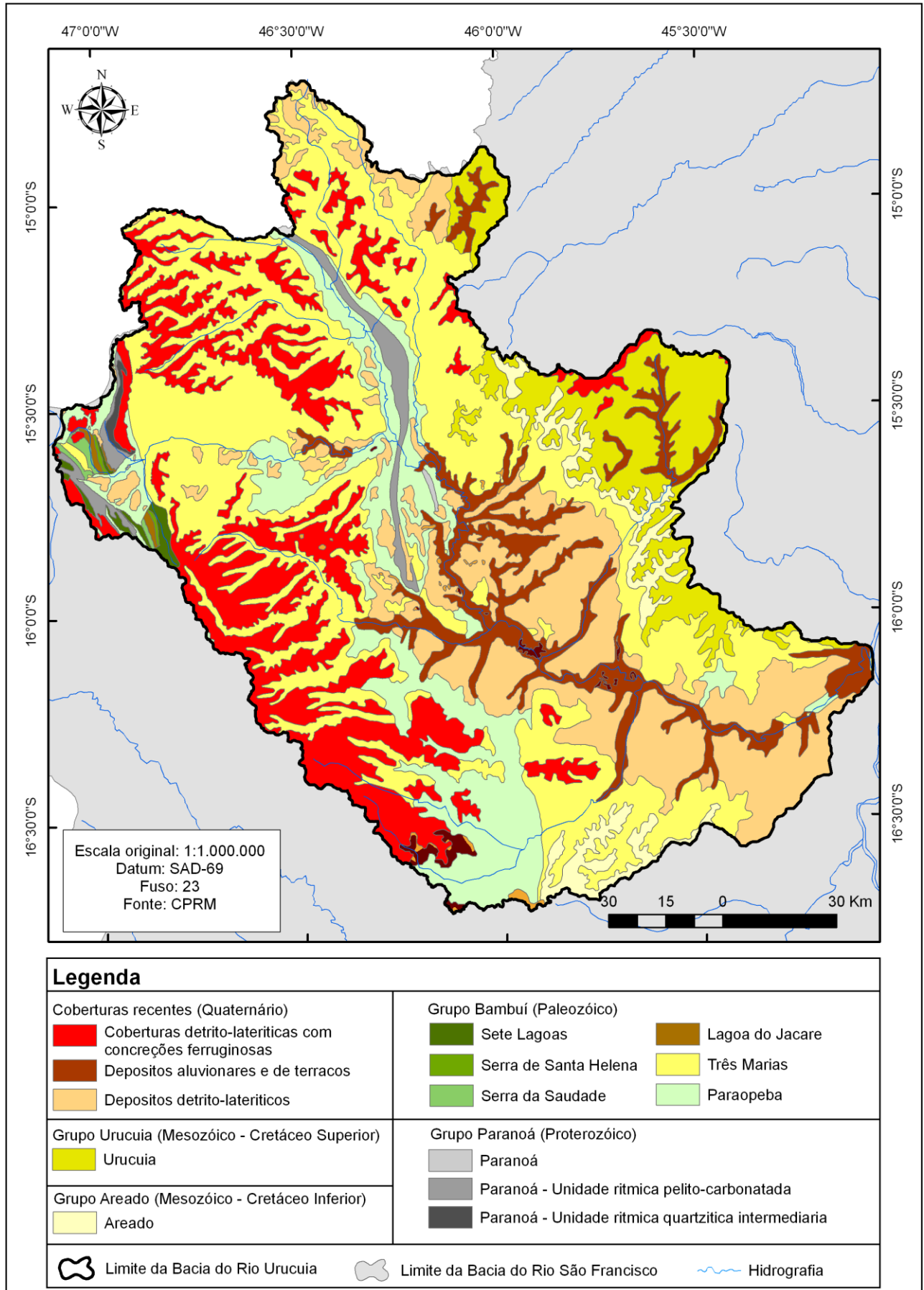


Figura 4: Mapa de Geologia da Bacia do Rio Uruçuia-MG

do Urucuia, da porção central até a jusante, na confluência do rio Urucuia com o Rio São Francisco.

2.4. SOLO

O levantamento de solos existente para a área em estudo foi realizado em escala regional (1:1.000.000) (Brasil, 1982; Embrapa, 1999). A figura 5 apresenta fotos feitas em trabalho de campo, realizado em junho de 2008, dos principais tipos de solo encontrados na bacia. A figura 6 expressa cartograficamente a distribuição espacial das classes de solo: Latossolo, Neossolo, Argissolo e Cambissolo, descritos a seguir.

Latossolo

Os Latossolos caracterizam-se por serem muito evoluídos com horizonte B latossólico e avançado estágio de intemperização (Embrapa, 1999). Os Latossolos podem ter de 15 a 80% de argila, porém mesmo com elevada concentração de argila podem apresentar uma grande permeabilidade devido à estrutura granular muito desenvolvida (Resende, 1985).

Os Latossolos se estendem por toda a Bacia do Rio Urucuia, sendo que o Latossolo Vermelho Amarelo são os mais extensos (solos com matiz 5YR ou mais vermelhos e mais amarelos que 2,5YR na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B, inclusive BA), em menores proporções Latossolo Amarelo e o Latossolo Vermelho.

Neossolo

Compreende solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso com pequena expressão dos processos pedogenéticos em consequência da baixa intensidade de atuação destes processos, que não conduziram, ainda, a modificações expressivas do material originário, de características do próprio material, pela sua resistência ao intemperismo ou composição química, e do relevo, que podem impedir ou limitar a evolução desses solos (Embrapa, 1999).

Na área pesquisada apresenta-se na forma de Neossolo Quartzarênico, solos com sequência de horizontes A-C, sem contato lítico dentro de 50 cm de profundidade, apresentando textura areia ou areia franca nos horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150 cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico; essencialmente quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala e, praticamente, ausência de minerais primários alteráveis (menos resistentes ao intemperismo) (Embrapa, 1999). Estão associados às áreas de menor declividade da bacia, em especial nas

proximidades da confluência do canal principal com o Rio São Francisco, na larga planície de inundação.

Os Neossolos Litólicos são solos rasos, variando de 40 a 50 cm (Embrapa, 1999). Na Bacia do Rio Urucuia são distribuídos de forma não homogênea e associam-se às altas altitudes e às altas declividades

O Neossolo Flúvico (antigos solos aluviais) são solos com profundidade que variam de 100 a 120 cm (Embrapa, 1999). Distribuem-se na bacia em torno do canal principal de drenagem, na porção sul, fazendo limite com os Neossolos Quartzarênicos.

Os Neossolos do tipo Regolítico (antigos Regossolos), que se apresentam de 120cm até o contato lítico (Embrapa, 1999), apresentam-se em pequena quantidade e de modo geral, por sua estrutura, são solos que não apresentam grandes evidências de processos erosivos.

Cambissolo

Os Cambissolos são solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente (Bi) subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, desde que em qualquer dos casos não satisfaçam os requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes Vertissolos, Chernossolos, Plintossolos ou Gleissolos. Tem sequência de horizontes A ou hístico, Bi, C, com ou sem R (Embrapa, 1999).

O horizonte B incipiente tem textura franco-arenosa ou mais argilosa, e o solum, geralmente apresenta teores uniformes de argila, podendo ocorrer ligeiro decréscimo ou um pequeno incremento de argila do A para o Bi. Admite-se diferença marcante do A para o Bi, em casos de solos desenvolvidos de sedimentos aluviais ou outros casos em que há descontinuidade litológica. A estrutura do horizonte Bi pode ser em blocos, granular ou prismática, havendo casos, também, de estruturas em grãos simples ou maciça. (Embrapa, 1999)

Podem ser encontrados na área em estudo associados aos canais fluviais na porção noroeste e sudoeste da Bacia Hidrográfica do Rio Urucuia, em locais de alta declividade e suave ondulado e, de modo geral, fazendo limite com os Neossolos litólicos.

Argissolo

Os Argissolos compreendem solos constituídos por material mineral, que tem como características diferenciais argila de atividade baixa e horizonte B textural (Bt), imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico. Parte dos solos desta classe apresenta um evidente incremento no teor de argila, com ou sem

decréscimo, do horizonte B para baixo no perfil. A transição entre os horizontes A e Bt é usualmente clara, abrupta ou gradual. (Embrapa, 1999).

Na Bacia do Rio Urucuia o Argissolo Vermelho Amarelo apresenta-se de forma esparsa, sendo que sua maior concentração está na planície de inundação do canal principal do rio, nas proximidade da confluência com o Rio São Francisco.



a. Latossolo em processo de coleta



b. Cambissolo com furo do trado de coleta



c. Neossolo Litólico



d. Neossolo Flúvico.

Figura 5: Fotos dos principais tipos de solos encontrados em trabalho de campo a Bacia do Rio Urucuia-MG, realizado em junho de 2008. Fotos de Kelly Resende e Clarisse Lacerda.

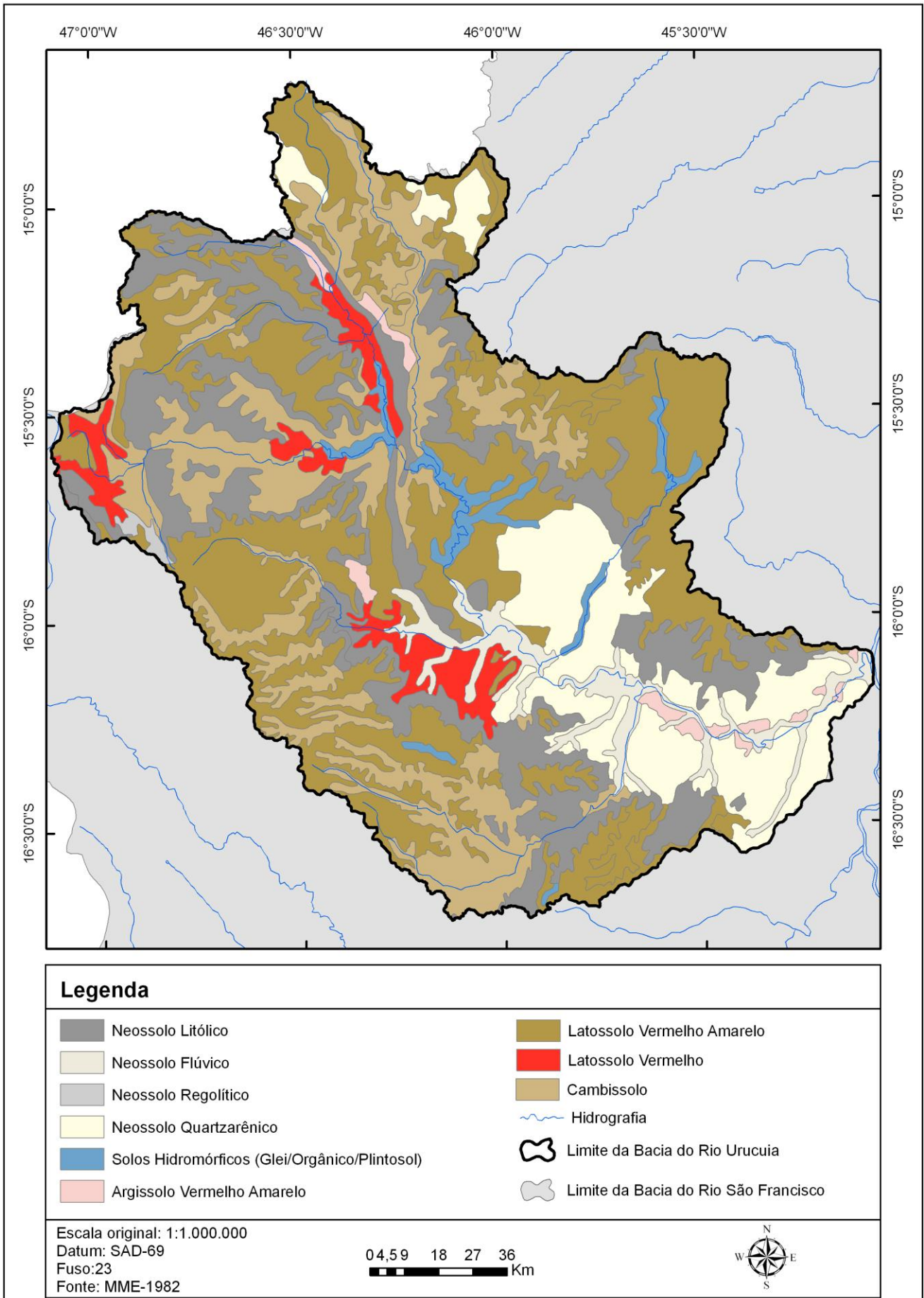


Figura 6: Mapa de Solos da Bacia do Rio Urucuia-MG, com a classificação de solos conforme Embrapa, 2006.

2.5. VEGETAÇÃO

A bacia está contida no Bioma Cerrado com a presença das seguintes fitofisionomias: Cerrado *Strito Censo*, Cerradão, Vereda, Mata Ciliar, Campo sujo e limpo (Figura 7).

O Mapa de Vegetação elaborado na escala 1:5.000.000 (IBGE, 1988) apresenta a predominância de savana (ou cerrado) natural, em especial com vegetação arbórea aberta (Figura 8). Há ainda a presença de Floresta estacional, que se distribui em forma de manchas nas porções Noroeste e Sudoeste da Bacia.

Na bacia ocorrem extensas áreas de pastagem e de plantio provenientes da expansão da fronteira agrícola e do desenvolvimento da região. Tais áreas são denominadas pelo IBGE de área antropizada (Figura 8).



a. Cerrado *Strito Censo*

b. Vereda

c. Cerradão



d. Campo Sujo

e. Campo Limpo

f. Mata Ciliar

Figura 7: Fitofisionomias de Cerrado encontradas na Bacia do Rio Urucuia-MG em trabalho de campo realizado em junho de 2008. Fotos de Kelly Resende e Clarisse Lacerda.

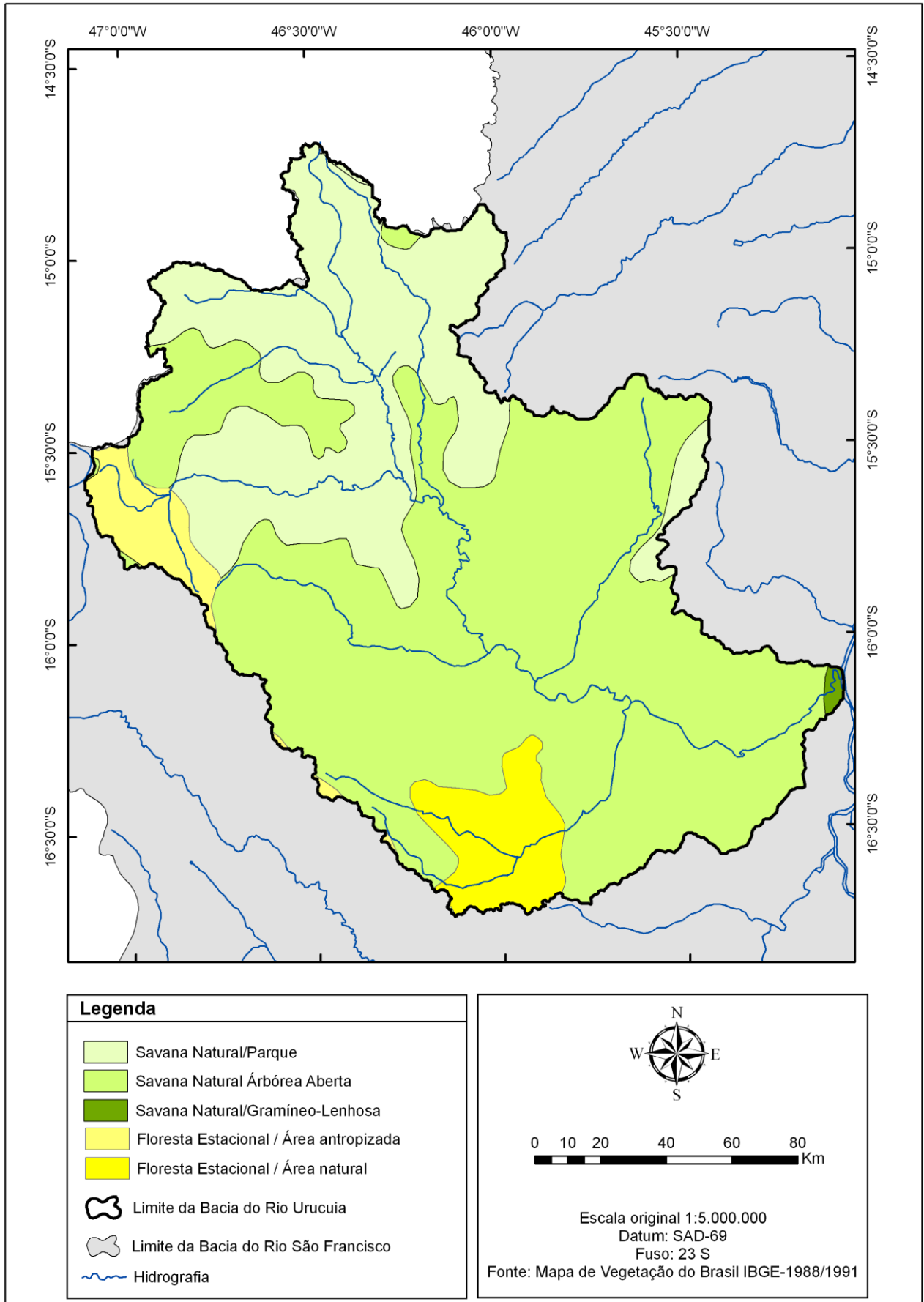


Figura 8: Mapa de Vegetação da Bacia do Rio Urucuia-MG

CAPÍTULO III

**EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS E POTENCIAL NATURAL A
EROSÃO**

No presente capítulo é abordada a confecção e análise do mapa de Potencial Natural a Erosão (PNE) da Bacia Hidrográfica do Urucuia. O PNE consiste em um modelo onde os Fatores C e P da equação da EUPS adquirem o valor 1, referente ao pior cenário em relação ao uso e ao manejo do solo. Cada fator é descrito individualmente e por fim é demonstrado o mapa resultante.

3.1. FATOR LS (TOPOGRÁFICO)

3.1.1. Elaboração do Modelo Digital do Terreno (MDT)

O comprimento de rampa (L) e a declividade (S) podem ser extraídos de um MDT em um ambiente de SIG. Para a geração do MDT foram utilizadas vinte cartas topográficas em escala 1:100.000 em meio digital cedidas pela CODEVASF (Companhia para o Desenvolvimento do Vale do São Francisco). A edição das cartas para geração do MDT foi realizado nos programas Arcgis 9.2, Arcview 3.3 e Arcinfo Workstation 9.0. Foram realizadas as seguintes correções dos atributos: (a) curvas de nível (conexão das curvas, averiguação das cotas e junção das curvas fragmentadas); (b) pontos cotados (averiguação das cotas); (c) drenagens (verificações dos nós, junção de vetores fragmentados e correção da direção de fluxo); e (d) lagos (averiguação de polígonos).

Na interpolação dos dados foi utilizado o método Topogrid (Hutchinson, 1989), implementado no programa Arcinfo. Este procedimento de interpolação utiliza o método de diferenças finitas conjugando tanto o esforço de manter as características hidrográficas (drenagens, lagos e direção de fluxo) como a remoção de dados espúrios relativos a pontos de depressões ou de elevações (Hutchinson, 1989). Tal método possui a eficiência computacional dos métodos de interpolação local (método IDW) e a continuidade da superfície proporcionada pelos interpoladores globais (interpolador Kriging) (Guimarães, 2000). O Topogrid possui melhores resultados quando comparado com outros métodos de interpolação como: INTERCON (do software IDRISI), o Inverso do Quadrado da Distância (IQD), Kriging e Kriging Multi-Direcional (Fernandes & Menezes, 2005).

O MDT foi confeccionado com resolução espacial de 35 metros (Figura 9). Este demonstra uma amplitude altimétrica de 649 metros com as maiores altitudes atingindo 1084 m na porção norte - noroeste da bacia e as menores altitudes (altitude mínima de 435 m) nos vales e planícies fluviais.