



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL

GILBERTO MILHOMEM MARINHO FILHO

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO
UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO

PALMAS - TO

2013

GILBERTO MILHOMEM MARINHO FILHO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO
UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado Profissional em Engenharia
Ambiental da Universidade Federal do
Tocantins como requisito para a obtenção do
título de mestre em Engenharia Ambiental.
Orientador: Dr. Rui da Silva Andrade

PALMAS - TO

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca da Universidade Federal do Tocantins
Campus Universitário de Palmas

M338e Marinho Filho, Gilberto Milhomem
 Avaliação do potencial natural de erosão na bacia hidrográfica do rio formoso através da aplicação da equação universal de perda de solo / Gilberto Milhomem Marinho Filho. - Palmas, 2014.
 52f.

Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Tocantins, Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental, 2014.

Linha de pesquisa: Hidrologia e Modelagem Hidráulica e Hidrológica.
Orientador: Dr. Rui da Silva Andrade.

1. Potencial Natura de Erosão. 2. EUPS. 3. Bacia do Rio Formoso. I. Marinho Filho, Gilberto Milhomem. II. Universidade Federal do Tocantins. III. Título.

CDD 551.48

Bibliotecária: Emanuele Santos
CRB-2 / 1309

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

FOLHA DE APROVAÇÃO

GILBERTO MILHOMEM MARINHO FILHO

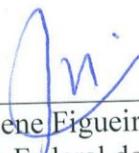
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL NATURAL DE EROÇÃO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DA
EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental,
Nível Mestrado Profissional, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Ambiental. A presente dissertação foi aprovada pela Banca
Examinadora composta pelos membros abaixo relacionados:

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Rui da Silva Andrade
Universidade Federal do Tocantins (Presidente)



Prof. Dr. Girlene Figueiredo Maciel
Universidade Federal do Tocantins



Prof. Dr. Joseano Carvalho Dourado
Fundação Universidade do Tocantins

Aprovada em: 28 de janeiro de 2014
Local de defesa: Sala 35 - Bloco III
Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Palmas

AGRADECIMENTOS

À minha família: Pai, Mãe e Irmãs pelo apoio e afeto incondicional;

A meus mestres, pelo conhecimento e experiência transferidos. Em especial ao meu Orientador Professor Rui da Silva Andrade, pela paciência, dedicação e empenho em me ajudar na elaboração deste trabalho;

Aos estimados professores componentes da banca de qualificação deste trabalho por gentilmente se disporem a realizar a avaliação deste trabalho;

À Embrapa Cerrados pelas informações fornecidas sobre análises físico-hídricas de amostras de solos armazenadas no banco de dados dessa instituição.

Aos amigos, colegas de trabalho e de estudo, pelo companheirismo;

E a todas as pessoas que direta ou indiretamente me apoiaram na realização deste.

Por reconhecer a importância de todas estas pessoas em meu desenvolvimento intelectual e social é que deixo aqui meus mais sinceros votos de Agradecimento e Estima.

“Cada escolha que fazemos é uma pequena revolução”

Nobuhiro Watsuki

MARINHO FILHO, Gilberto Milhomem. **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO**. 2013. 51 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental). Fundação Universidade Federal do Tocantins, Tocantins, TO, 2013.

RESUMO: O presente estudo teve como objetivo avaliar o Potencial Natural de Erosão (PNE) dos solos da bacia hidrográfica do Rio Formoso através da aplicação da Equação Universal de Perda de Solo. Para tanto foi necessária a determinação das variáveis naturais que compõem esta equação, que são: erosividade, baseada nos dados da precipitações ali incidentes; erodibilidade, baseada nas características físicas dos solos da região; e do fator topográfico, que é a relação entre o comprimento e a declividade dos taludes existentes na bacia; o produto destes fatores resulta no PNE da região. Como resultados verificou-se que a erosividade das chuvas apresentou altos índices com, em média, $9.900 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; os solos Podzolicos Vermelho Amarelos e dos Litólicos apresentam taxas de erodibilidade de $0,0758$ e $0,0530 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, respectivamente, números estes que são significativamente mais altos que o encontrado para as demais tipologias de solo encontradas na bacia; o fator topográfico foi obtido computacionalmente e apresentou valores médios relativamente pequenos e se apresentou com menores valores relacionados com as zonas de sedimentação da bacia e os maiores valores à montante dos canais de drenagem. O PNE da bacia do Rio Formoso apresentou índices elevados, em média 1.200 t ha^{-1} , sendo o fator erosividade um dos mais influentes para se atingir tais valores, os resultados obtidos foram espacializados em forma de mapas e são de grande valia para o estabelecimento de políticas de planejamento ambiental que considerem a susceptibilidade do solo à erosão.

Palavras-chave: Potencial Natura de Erosão, EUPS, Bacia do Rio Formoso.

MARINHO FILHO, Gilberto Milhomem. **EVALUATION OF NATURAL POTENTIAL EROSION IN FORMOSO RIVER BASIN THROUGH APPLICATION OF UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION**. 2013. 51 f. Dissertation (Professional Master in Environmental Engineering). Fundação Universidade Federal do Tocantins, Tocantins, TO, 2013.

ABSTRACT: The present study aimed to evaluate the Natural Potential Erosion (NPE) of Rio Formoso's watershed soils by applying the Universal Soil Loss Equation. To this end, it was necessary to determine the natural variables composing this equation, namely: erosivity, based on data from precipitation events; erodibility, based on the physical characteristics of the region soils; and topographic factor, which is the ratio of length and steepness of slopes in the basin and the product of these factors results in the PNE of the region. As results, it was found that rainfall erosivity had very high level with an average of $9,900 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ year}^{-1}$, Red Yellow Podzolic soils and Litholics present rates of 0.0758 and $0.0530 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, respectively, these numbers are significantly higher than that observed for the other types of soil found in the basin, the topographic factor was computationally obtained and showed values of relatively small averages and performed with smaller values related to sedimentation basin areas and higher values to the drainage channels. Formoso's NPE in the river basin presented high average, 1.200 t ha^{-1} , being the erosivity factor one of the most influential to achieve such values, the results were spacialized in the form of maps and are of highly valuable for establishing environmental planning policies that consider the susceptibility of soil to erosion.

Keywords: Natural Potential Erosion, EUPS, Formoso River Basin.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Fatores e causas da erosão dos solos e suas interações. | 17 |
| Figura 2: Localização da bacia do Rio Formoso em relação ao Estado do Tocantins. | 25 |
| Figura 3: Mapa pedológico da bacia do Rio Formoso. | 26 |
| Figura 4: Localização da área de estudo e das estações pluviométricas utilizadas. | 28 |
| Figura 5: Modelo Digital de Elevação da Bacia do Rio Formoso. | 31 |
| Figura 6: Precipitação média mensal e precipitação média acumulada ao ano na bacia do Rio Formoso. | 34 |
| Figura 7: Distribuição espacial da precipitação anual média na bacia do Rio Formoso. | 35 |
| Figura 8: Média mensal de erosividade das chuvas e erosividade acumulada no decorrer do ano na bacia do Rio Formoso. | 36 |
| Figura 9: Distribuição espacial da erosividade anual média na bacia do Rio Formoso. | 36 |
| Figura 10: A distribuição dos valores de erodibilidade na bacia do Rio Formoso. | 38 |
| Figura 11: Área de contribuição hidrológica da bacia do Rio Formoso. | 39 |
| Figura 12: Distribuição dos índices do Fator Topográfico (LS) na bacia do Rio Formoso. | 41 |
| Figura 13: Distribuição dos valores de PNE na bacia do Rio Formoso. | 43 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Lista de estações pluviométricas adotadas | 29 |
| Tabela 2: Classes de interpretação para os valores anuais de erosividade (fator R). | 21 |
| Tabela 3: Valores de Erodibilidade dos solos para cada classe pedológica. | 37 |
| Tabela 4: Percentuais de incidência do Fator Topográfico na bacia do Rio Formoso. | 40 |
| Tabela 5: Percentuais de incidência de PNE na bacia do Rio Formoso. | 42 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA: Agência Nacional de Águas;

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;

EUPS: Equação Universal de Perda de Solos;

MMA: Ministério do Meio Ambiente;

PBH: Plano de Bacia Hidrográfica.

PNE: Potencial Natural de Erosão do Solo;

SAGA: System for Automated Geoscientific Analyses;

SEINF: Secretaria de Infraestrutura do Estado do Tocantins;

SEPLAN: Secretaria de Planejamento do Estado do Tocantins;

SIG: Sistema de Informações Geográficas;

SRHMA: Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Estado do Tocantins;

UFT: Universidade Federal do Tocantins;

USLE: Universal Soil Loss Equation;

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|----|
| 1. | INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 2. | OBJETIVOS..... | 14 |
| 2.1. | Objetivo Geral..... | 14 |
| 2.2. | Objetivo Específico..... | 14 |
| 3. | REVISÃO DE LITERATURA | 15 |
| 3.1. | Características ambientais do Bioma Cerrado..... | 15 |
| 3.2. | O Bioma Cerrado e a Agropecuária..... | 15 |
| 3.3. | Degradação dos solos..... | 16 |
| 3.4. | Modelagem da Perda de Solo | 17 |
| 3.4.1. | A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) | 19 |
| 3.4.2. | Potencial Natural de Erosão (PNE) | 20 |
| 3.4.2.1. | Erosividade da Chuva (Fator R) | 20 |
| 3.4.2.2. | Erodibilidade da Solo (Fator K)..... | 22 |
| 3.4.2.3. | Fator Topográfico (Fator LS) | 23 |
| 4. | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS..... | 25 |
| 4.1. | Caracterização do meio físico | 25 |
| 4.2. | Principais usos da bacia..... | 27 |
| 5. | MATERIAL E MÉTODOS..... | 28 |
| 5.1. | Determinação da Erosividade das chuvas (Fator R)..... | 28 |
| 5.2. | Determinação da Erodibilidade dos solos (Fator K)..... | 30 |
| 5.3. | Determinação do Fator Topográfico (Fator LS)..... | 31 |
| 5.4. | Determinação do Potencial Natural de Erosão do Solo | 32 |
| 6. | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 34 |
| 6.1. | Erosividade das chuvas da Bacia do Rio Formoso | 34 |
| 6.2. | Erodibilidade dos solos da Bacia do Rio Formoso | 37 |
| 6.3. | Fator Topográfico (Fator LS) da bacia do Rio Formoso | 39 |
| 6.4. | Potencial Natural de Erosão dos solos da bacia do Rio Formoso..... | 42 |
| 7. | CONCLUSÕES..... | 45 |
| 8. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 46 |

1. INTRODUÇÃO

O processo erosivo em bacias hidrográficas é um dos fenômenos mais prejudiciais à integridade da infraestrutura, dos serviços ambientais essenciais e da produtividade agrícola. Sendo que sua ação pode afetar as atividades econômicas e, principalmente, o meio ambiente (SILVA, *et. al.*, 2010).

Apesar dos processos erosivos ocorrerem em ambientes naturais, é evidente que o uso inadequado dos solos para produção agrícola vem causando o declínio gradual da sua capacidade produtiva e a contaminação dos corpos d'água por sedimentos e defensivos, causando prejuízos econômicos, sociais e ambientais.

De acordo com Tricart (1977, *apud* VITTE e VILELA FILHO, 2006), a erosão, enquanto processo, é resultante da dinâmica de um determinado sistema ambiental que está em desequilíbrio provocado por interferências naturais ou antrópicas em um de seus fatores. Esse desequilíbrio é resultado do balanço ecodinâmico de um determinado sistema ambiental. Para Silva *et. al.* (2011) a erosão é um processo natural que provoca a desagregação do solo e acelera a remoção de matéria orgânica e de nutrientes.

O principal agente erosivo é a água que não infiltra no solo, seja por deficiência de cobertura vegetal, por encrostamento superficial do solo ou por características relacionadas à sua estrutura. Assim, a erosão hídrica é um dos problemas mais sérios da agricultura, pois reduz a capacidade produtiva do solo, transporta sedimentos, nutrientes e agroquímicos, causando problemas na qualidade e disponibilidade da água (MERTEN *et. al.*, 1995 em BLOISE *et. al.*, 2001).

Neste contexto, Bloise *et. al.* (2001) afirmam que é importante haver um instrumento que possa oferecer subsídios às decisões sobre planejamento do uso da terra, tanto no âmbito regional como no local. Deste modo, surge a modelagem da perda de solos, que pode ajudar, fornecendo previsões para os diferentes usos do solo, caracterizando-se como uma importante ferramenta para o gerenciamento de bacias hidrográficas e de áreas agrícolas, auxiliando na determinação das práticas conservacionistas.

Entre os modelos amplamente utilizados está a Equação Universal de Perda dos Solos - EUPS, que é o produto dos parâmetros que influenciam o fenômeno da erosão (Wischmeier *et. al.*, 1971). Diversos desdobramentos e revisões ocorreram a partir desse modelo, incluindo a sua aplicação em Sistema de Informação Geográfica (SIG) (ALVES *et. al.*, 2005).

A EUPS é bastante divulgada por causa de sua linearidade e da unicidade de seus fatores que abrangem os principais tópicos que influenciam a erosão laminar (meteorologia, pedologia, geomorfologia e parcela-padrão nos âmbitos local e regional). Podendo, portanto, ser utilizada como guia para o planejamento do uso da terra, estipulando o emprego mais adequado das práticas de conservação (BLOISE *et. al.*, 2001).

No entanto, a EUPS exige uma gama de dados experimentais para a determinação dos valores referentes aos fatores da equação e obtenção de resultados satisfatórios. Apesar disto, esse método mostra-se satisfatório para uma análise qualitativa, permitindo a localização geográfica das áreas de maior suscetibilidade natural à erosão laminar. A informação, mesmo sendo qualitativa, já fornece subsídios relevantes para a elaboração do planejamento agrícola e ambiental em grandes e pequenas bacias hidrográficas (BLOISE *et. al.*, 2001). Esta abordagem qualitativa da EUPS, quando calibradas em função de informações obtidas em campo traz uma importante contribuição para os diagnósticos físicos da bacia hidrográfica. Por este motivo, este tipo de utilização da EUPS tem sido objeto de muitos trabalhos que objetivam definir planos e diretrizes para zoneamentos agroecológicos.

O bioma Cerrado possui relevante significância na produção agrícola brasileira e por este motivo tem sido um dos biomas que mais sofrem com as consequências do manejo inadequado dos solos agricultáveis. Inserida neste contexto, verifica-se a bacia hidrográfica do Rio Formoso, localizada à sudoeste do Estado do Tocantins, como de relevante importância na produção agrícola e econômica no Estado. Logo, o presente trabalho teve por objetivo determinar o potencial de erosão dos solos desta bacia através da aplicação Equação Universal de Perda de Solo utilizando Sistemas de Informação Geográfica para definir o grau de vulnerabilidade à erosão nas regiões da Bacia do Rio Formoso.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar o Potencial Natural de Erosão dos Solos (PNE) da bacia hidrográfica do Rio Formoso através da aplicação do modelo matemático EUPS – Equação Universal de Perda de Solo.

2.2. Objetivo Específico

- Caracterizar a bacia hidrográfica do Rio Formoso;
- Calcular e espacializar as variáveis da EUPS (Erosividade, Erodibilidade, Fator Topográfico etc.);
- Calcular o Potencial Natural de Erosão dos solos da Bacia do Rio Formoso;
- Gerar mapa de Potencialidade à Erosão para a Bacia do Rio Formoso.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Características ambientais do Bioma Cerrado

O Bioma Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, chegando a ocupar 24% de todo o território nacional. O termo Cerrado é comumente utilizado para designar o conjunto de ecossistemas (savanas, matas, campos e matas de galeria) que ocorrem no Brasil Central (EITEN, 1977; RIBEIRO *et. al.*, 1981). O clima dessa região é estacional, onde um período chuvoso, que dura de outubro a março, é seguido por um período seco, de abril a setembro (KLINK e MACHADO, 2005). As precipitações do Cerrado variam de 600 a 800 mm no limite com a Caatinga e de 2.000 a 2.200 mm na interface com a Amazônia. Tal fato, associado a outros fatores abióticos e bióticos, reflete na existência de uma grande variabilidade de solos com diferentes níveis de intemperização (REATTO e MARTINS, 2005).

O Cerrado está sobre planaltos sedimentares ou cristalinos, que formam grandes blocos homogêneos separados entre si por uma rede de depressões periféricas ou interplanálticas (BRASIL & ALVARENGA, 1989 *apud* MMA, 2010). Esta variação geomorfológica ajuda a explicar, pelo menos em parte, a distribuição dos gradientes de tipos de vegetação na região. O topo dos planaltos (500 a 1.700 m) é geralmente plano e revestido principalmente pela fitofisionomia cerrado *stricto sensu*. Já as florestas ribeirinhas formam corredores lineares ao longo dos cursos d'água. Em contraste, as depressões periféricas (100-500m), apesar de serem planas e pontuadas com relevos residuais, são muito mais heterogêneas, pois são revestidas por diferentes tipos de vegetação, tais como cerrados, florestas mesofíticas e extensas florestas ribeirinhas (SILVA e SANTOS, 2005).

Os remanescentes de Cerrado que existem nos dias de hoje desenvolveram-se sobre solos muito antigos, intemperizados, ácidos, depauperados de nutrientes, mas que possuem concentrações elevadas de alumínio. Para torná-los produtivos para fins agrícolas, aplicam-se fertilizantes e calcário aos solos do Cerrado (KLINK e MACHADO, 2005).

3.2. O Bioma Cerrado e a Agropecuária

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” (BORGES, 2009).

Klink & Machado (2005) relatam que, cerca de metade dos 2 milhões de km² originais do Cerrado foram transformados em pastagens plantadas, culturas anuais e outros tipos de uso. As pastagens plantadas com gramíneas de origem africana cobrem atualmente uma área de 500.000km². Monoculturas são cultivadas em outros 100.000km², principalmente a soja. A área total para conservação é de cerca de 33.000km², claramente insuficiente quando comparada com os principais usos da terra no Cerrado.

Segundo o MMA (2010), o desmatamento no Cerrado deriva, em grande parte, da expansão das lavouras e pastagens. Tradicionalmente, a expansão das lavouras visava ao aumento da produção de grãos, sobretudo para exportação, como a soja, sendo que nos últimos anos verificou-se o crescimento de lavouras para produção de biocombustíveis.

Os principais vetores do desmatamento no Cerrado são, portanto, atividades, mercados e produtos cuja expansão e cujos ganhos promissores incentivam produtores, direta ou indiretamente, a ocuparem predatoriamente áreas do Bioma antes intocadas, destruindo sua biodiversidade, riquezas e demais benefícios para gerar outros tipos de valor, os quais são geralmente demandados por consumidores urbanos muitas vezes estranhos ao Bioma e, inclusive, de fora do País (MMA, 2010).

3.3. Degradação dos solos

Como degradação do solo entende-se a deterioração ou desgaste de suas características químicas, físicas, morfológicas e biológicas, como por exemplo, a perda da quantidade de solo e de seus nutrientes, a destruição da matéria orgânica, a compactação, a poluição causada por adubos químicos e pesticidas etc. (CAPECHE, 2005).

Silva *et al* (2011), citando os autores Bai *et al*, (2008) e Palma *et al*, (2007), pondera que a degradação do solo pode ser entendida como mudanças adversas de longo prazo em propriedades do solo e processos, levando a uma perda de função do ecossistema e produtividade causada por distúrbios de que a terra não pode se recuperar sem ajuda, ocasionando uma perda de sustentabilidade do ambiente.

A erosão é a forma mais prejudicial de degradação do solo (COGO *et. al.*, 2003). Apesar de ser um processo importante na formação dos ecossistemas terrestres, quando ocorre de forma natural e equilibrada (VITTE & MELLO, 2007 *apud* MELO, 2010). Segundo (MELO, 2010), na medida em que ultrapassa os limites de renovação natural, fato este

comumente provocado pela ação humana, o processo torna-se um dos mais maléficis para a manutenção dos recursos edáficos na terra. E além de reduzir sua capacidade produtiva para as culturas, pode causar sérios danos ambientais, como assoreamento e poluição das fontes de água (COGO *et. al.*, 2003).

A erosão acelerada ou induzida é muito mais rápida que a natural, inicialmente como um resultado da influência das atividades do homem, ou, em alguns casos, de animais (ACIESP, 1987). Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2008, citado por MELO, 2010), a erosão é o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo, causado pela água e pelo vento constituindo-se na principal causa do depauperamento acelerado das terras.

A erosão do solo é um processo inerente à evolução da paisagem. A intensidade da erosão do solo é regida por inúmeros fatores naturais e antrópicos. Fatores naturais incluem o solo, clima, vegetação, relevo e outras características ecorregionais, enquanto os antrópicos reúnem causas econômicas, sociais e políticas (LAL, 2001), conforme detalhado na Figura 1.

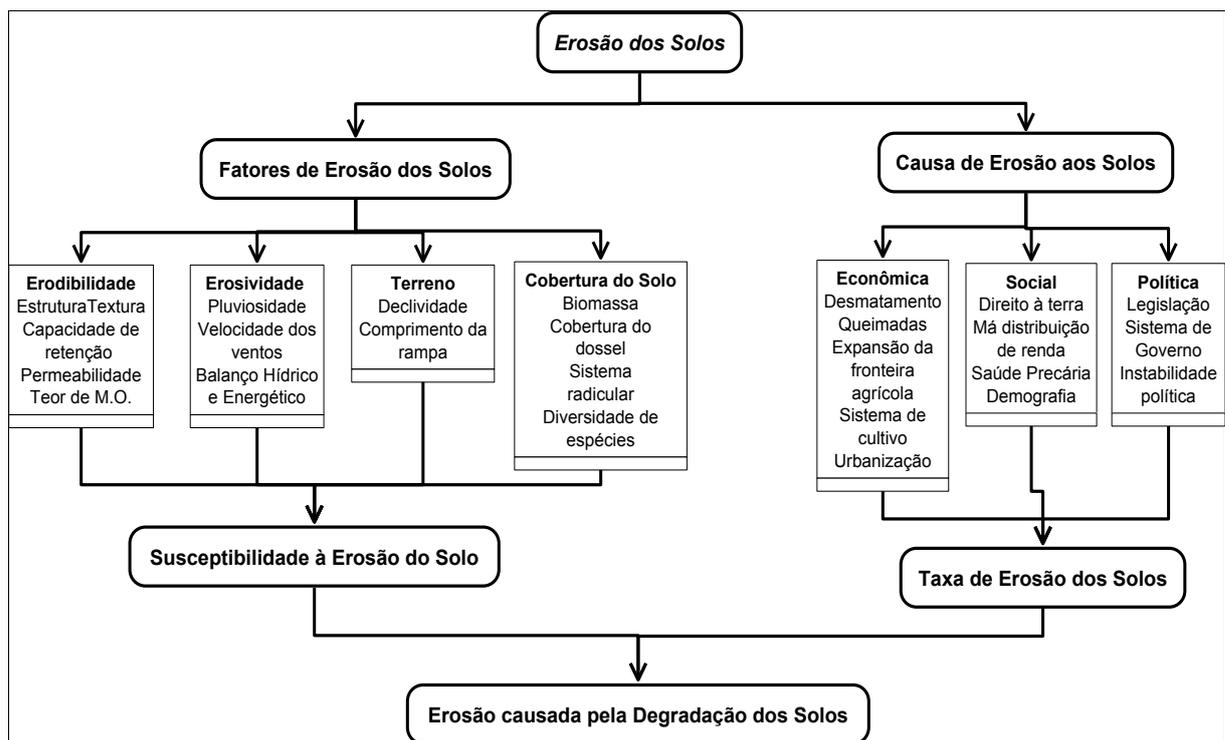


Figura 1: Fatores e causas da erosão dos solos e suas interações.

3.4. Modelagem da Perda de Solo

A concepção da modelagem advém da representação de um sistema físico por meio de equações, ou seja, a representação do comportamento de uma estrutura, esquema ou procedimento, real ou abstrato, que num dado intervalo de tempo inter-relaciona-se com uma

entrada, causa ou estímulo de energia ou informação, e uma saída, efeito ou resposta de energia ou informação (TUCCI, 1987).

De acordo com Marinho Filho *et al* (2012), os modelos são ferramentas de análise importantes, porque eles podem ser usados para entender processos hidrológicos, analisar o desempenho de práticas de manejo, bem como avaliar os riscos e benefícios advindos de diferentes tipos de uso do solo.

Segundo Mendes e Cirilo (2001), os modelos são abstrações ou representações da realidade, sempre mais simples que o mundo real, ou seja, algumas características são ignoradas e/ou simplificadas.

Na modelagem da erosão do solo, observam-se a segmentação e a descrição de subprocessos importantes, assim como a desconsideração ou agregação daqueles menos importantes que pouco influenciam os resultados (FOSTER, 1988 em BLOISE *et. al.*, 2001).

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 (BORGES, 2009).

Conforme Borges (2009), Os modelos de predição de perda de solo podem ser dos tipos determinísticos ou estocásticos, baseando-se em parâmetros físicos ou proposições estatísticas, respectivamente. Os modelos determinísticos 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.

Ainda segundo Borges (2009), modelos empíricos são os mais usados no planejamento conservacionista, pela sua simplicidade e disponibilidades de dados. Em meio aos modelos matemáticos de predição da perda de solo é possível relacionar a Equação Universal de Perda de Solos – EUPS (em inglês: Universal Soil Loss Equation – USLE), formulada por Wischmeier & Smith (1978), e que é a formulação empírica de perda de solo mais difundida globalmente; e a Equação Universal de Perda de Solo Modificada concebida por Williams (1975) através de uma adaptação da EUPS para a consideração do Escoamento Superficial.

A utilização de modelos deste tipo demanda habilidade na manipulação e cruzamento de dados e, para isso, é fundamental a utilização de Sistemas de Informações Geográficas

(SIG). Sendo este um fator favorável a adoção da EUPS que é de fácil implementação em ambientes de SIG (BORGES, 2009).

3.4.1. A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)

A modelagem matemática aplicada ao estudo dos processos erosivos vem sendo desenvolvida há décadas, e com isso vários modelos, mais ou menos complexos têm sido gerados. Dentre os modelos empíricos a EUPS é provavelmente o modelo ainda mais utilizado, uma vez que trata o assunto de modo mais dinâmico, devido ao fato de superar parcialmente restrições climáticas e geográficas e ter uma aplicação generalizada e facilitada, em comparação com outros modelos mais complexos (SILVA *et. al.*, 2007).

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 (BORGES, 2009). Silva *et. al.* (2007) relatam que a expressão matemática desta equação compreende os principais fatores envolvidos no processo erosivo (clima, topografia, solo, uso e cobertura do solo e uso e práticas conservacionistas).

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Onde: A – é a taxa de perda de solo ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$), R – é o fator de erosividade da chuva anual ($MJ\ mm\ ha^{-1}h^{-1}\ ano^{-1}$), K – é o fator de erodibilidade do solo ($t\ h\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$) ao ano, L – é um fator de comprimento de declive (m), S – é um fator de declividade (%). C – fator uso e manejo; e P – fator práticas conservacionistas. Os dois últimos fatores são adimensionais e os fatores L e S, quando administrados em conjunto, também podem ser considerados adimensionais.

Freitas *et. al.* (2007), pondera que a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) combinada com o geoprocessamento vem sendo utilizada em vários trabalhos, na tentativa de se identificar áreas que apresentam vulnerabilidade aos processos erosivos. O mapeamento das áreas mais susceptíveis a perda de solo é um importante atributo para a elaboração de um planejamento territorial de uma bacia hidrográfica.

3.4.2. Potencial Natural de Erosão (PNE)

A suscetibilidade à erosão, também conhecida por Potencial Natural de Erosão PNE é característica de uma área e independe do seu uso, cobertura e manejo, é, portanto, a erosão esperada numa área desprovida de vegetação (ACCIOLY *et. al.*, 2010).

Esta grandeza expressa a suscetibilidade de determinada área à erosão, indicando onde ocorreria maior ou menor erosão, sem levar em consideração os fatores antrópicos, cobertura vegetal e práticas conservacionistas (BRANDÃO, 2001).

O PNE, quando apresentado em forma cartográfica, permite uma clara interpretação do risco de erosão que pode existir em função das características do meio físico (SILVA *et. al.*, 2007 citado por SILVA, 2008). As estimativas do PNE podem colaborar para um ordenamento do uso e ocupação de áreas potencialmente suscetíveis à erosão, evitando assim o acontecimento de desastres, como enchentes e deslizamentos de terra, onerar custos de infraestrutura, permitindo trazer a atenção dos planejadores e autoridades locais para as regiões mais frágeis, de relevo acidentado e com solos com alta erodibilidade (PEDRO e LORANDI, 2004).

3.4.2.1. Erosividade da Chuva (Fator R)

A expressão do potencial de erosão de uma chuva refere-se à perda de solo por unidade de área que pode ser esperada de uma chuva caindo em área completamente desprovida de cobertura, mas sofrendo os mesmos tipos de operações culturais do solo cultivado. Por essa definição, o potencial de erosão de uma chuva é função do solo, do declive e das características da chuva (LOMBARDI NETO e MOLDENHAUER, 1992).

De acordo com Bertoni & Lombardi Neto (1990, *apud* VITTE & MELLO, 2007), a chuva é um dos fatores de maior importância para a erosão, sendo que a intensidade, a duração e a frequência são as propriedades mais importantes que afetam o processo erosivo. Segundo os autores, considerando-se que a duração da chuva é o complemento da intensidade, a combinação de ambas determinará a chuva total. Da mesma forma, a frequência das chuvas influenciará nas perdas de solo, mesmo com chuvas de menor intensidade. Caso os intervalos sejam curtos, o solo terá um alto teor de umidade, o que favorece o escoamento superficial.

A capacidade das chuvas em provocar erosão pode ser quantificada e expressa como um índice de erosividade das chuvas (COGO *et. al.*, 2002). Conforme Silva *et al* (2007), o conceito de erosividade apresentado por Hudson (1971) e Wischmeier & Smith (1978) descreve-a como sendo uma interação entre a energia cinética presente nas gotas de água de

chuva e as partículas da superfície do solo. Esta interação pode resultar num maior ou menor grau de destacamento e um transporte “morro abaixo” das partículas conforme a quantidade de energia e intensidade de chuva, considerando um mesmo tipo de solo, mesmas condições topográficas e ainda cobertura e manejo do solo.

Assim, o conhecimento da erosividade da chuva é fator fundamental nos estudos sobre erosão do solo, além de fornecer subsídios importantes em relação a época mais adequada para os trabalhos de preparo do solo (COGO *et. al.*, 2002).

O método original para calcular os valores de erosividade (Fator R) de um evento de chuva requer dados de registros pluviográficos (SILVA *et. al.*, 2007). Devido ao fato de que os registros de pluviógrafos são escassos ou inexistentes em países pouco desenvolvidos, além de as análises dos diagramas dos pluviógrafos para fins de cálculo da energia cinética serem extremamente morosas e trabalhosas, diversos autores tentaram correlacionar o índice de erosão com fatores climáticos de mais fácil medida e que não requerem registros de intensidade de chuva (LOMBARDI NETO e MOLDENHAUER, 1992).

Lombardi Neto & Moldenhauer (1992) relatam que Wischmeier & Smith (1958) verificaram que, 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 multiplicada por sua intensidade máxima em 30 minutos (E_{i30}). Essa foi a melhor correlação encontrada para expressar o potencial erosivo da chuva.

Com o intuito de se facilitar a interpretação dos valores de erosividade Silva (2007) apresentou uma classificação dos níveis de erosividade, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1: Classes de interpretação para os valores anuais de erosividade (fator R).

| Erosividade (MJ.mm/ha.h.ano) | Classes de erosividade |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| $R \leq 2.452$ | Erosividade baixa |
| $2.452 < R \leq 4.905$ | Erosividade média |
| $4.905 < R \leq 7.357$ | Erosividade media – forte |
| $7.357 < R \leq 9.810$ | Erosividade forte |
| $R > 9.810$ | Erosividade muito forte |

Fonte: Silva *et. al.* (2007).

Ainda de acordo com Silva *et. al.* (2007), uma das formas de se expressar os estudos de erosividade dos solos é através da utilização de mapas isoerodentes. O mapa isoerodente

representa uma fonte importante de informação sobre o potencial de erosão das chuvas de uma região. Os mesmos autores afirmam que Pereira *et. al.* (1994) mencionando algumas diretrizes que foram estabelecidas em reuniões brasileiras visando uma padronização de estudos e informações geradas sobre conservação de solo e água no território brasileiro - mais especificamente sobre erodibilidade de solos, erosividade das chuvas e outros fatores diretamente ligados ao processo erosivo, destacam a importância em estudar e avaliar os padrões de distribuição da erosividade das chuvas, seus possíveis efeitos sobre sua variabilidade espaço-temporal e sua competência em iniciar e/ou acelerar o processo erosivo.

3.4.2.2. Erodibilidade do Solo (Fator K)

A erodibilidade do solo (Fator K) é considerada a mais importante variável na predição da erosão e no planejamento do uso do solo (VALLE JUNIOR, 2008) e é considerada como a maior ou menor susceptibilidade que um solo tem, em condições iguais de chuvas, vegetação, manejo e declividade, de sofrer erosão (CORREA e PINTO, 2012). Elliot & Lal (1994, em GÓMEZ, 2012) descreve-a como o efeito integrado de processos que regulam a recepção da chuva e a resistência do solo para desagregação de partículas e o transporte subsequente.

A erodibilidade ocorre em função das características do solo que influenciam no processo erosivo, tais como a velocidade de infiltração, a permeabilidade, capacidade de absorção, resistência a dispersão, ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte da chuva e enxurrada (STEIN *et. al.*, 1987 *apud* VALLE JUNIOR, 2008). Valle Junior (2008) expõe ainda que as propriedades que contribuem mais significativamente para explicar a variância da perda de solo são: textura dos solos, matéria orgânica, estrutura, densidade do solo, espaço poroso ocupado por ar e concavidade e convexidade da encosta.

De acordo com Gómez (2012), o fator K de erodibilidade pode ser determinado em campo por métodos diretos, relacionando a erosividade com a perda do solo, para solos diferentes dentro de parcelas padrões em localidades distintas. Este método precisa de longas séries temporais para obtenção dos parâmetros. O autor afirma ainda que outras metodologias por métodos diretos utilizam chuva simulada para diferentes solos com várias repetições, tendo assim uma grande resposta da resistência dos solos ao impacto da chuva. Entretanto, avaliações experimentais do valor do fator erodibilidade (K), conforme as normas estabelecidas pela equação universal de perda de solo, além de demandarem excessivos gastos também exigem muito tempo nas suas determinações, uma vez que trabalham com o processo

direto da causa e efeito, que é o fenômeno da erosão do solo. Tais motivos tornaram necessária a estimativa do fator K por outros meios mais fáceis, denominados métodos indiretos de determinação da erodibilidade (MANNIGEL, 2002), sendo necessário recorrer a mecanismos de regressão linear múltipla e outros valores medidos de fácil obtenção.

Existem vários métodos para estimar a erodibilidade (SCOPEL e SILVA, 2001). Valle Junior (2008) cita os princípios de três deles: O primeiro, à partir de condições de campo sob chuva natural em condições específicas de declividade e comprimento de rampa, requer para sua determinação, a instalação de tanques coletores de enxurrada, sendo o método dispendioso e muito demorado; O segundo método, semelhante ao primeiro, quantifica o fator K sob condição de chuva simulada, e; O terceiro método baseia-se em equações de regressão que contenham como variáveis independentes propriedades físicas químicas do solo, correlacionadas com a erodibilidade.

De acordo com Scopel e Silva (2001) a simples determinação da erodibilidade não fornece ao planejador a localização e o tamanho da área com características de solo favoráveis à utilização. Por este motivo o mesmo autor sugere, a espacialização dos resultados através de técnicas de geoprocessamento e da utilização de em sistemas de informação geográfica – SIG's, de modo a facilitar a manipulação de banco de dados, análises e espacialização cartográfica.

3.4.2.3. Fator Topográfico (Fator LS)

As características do relevo influenciam fortemente a intensidade da erosão hídrica (BORGES, 2009). De acordo com Fujihara (2012), a intensidade da erosão hídrica é variável, dependendo da rampa que a água percorre, através de suas características comprimento (L) e grau de declive (S). Ainda segundo o autor, esses dois efeitos são pesquisados separadamente, mas para aplicação na EUPS, são analisados conjuntamente, constituindo o fator topográfico (LS).

Conforme Wischmeier e Smith (1978), 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. Enquanto 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.

O fator LS é de fácil determinação em escalas experimentais, mas, de acordo com Gómez (2012), a obtenção destas medidas para escalas de bacia hidrográfica ou escalas

globais não é factível devido a limitações de recursos humanos e de tempo. O mesmo autor relata ainda que sofisticação dos cálculos para estimar o fator LS também vem acompanhada do desenvolvimento de software e hardware especializado para este fim, usando satélites e sensores remotos, que permitem a obtenção de informações chaves para o cálculo em nível de bacias e a escalas regionais, mediante a produção mapas de elevação digital. 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.*, 2001 *apud* BORGES, 2009) .

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

A bacia do Rio Formoso localiza-se no quadrante 10°45' e 13°50' de latitude sul e 48°50' e 50°00' de longitude oeste abrangendo uma área de drenagem de 21.328,57 km².

Conforme a divisão hidrográfica da Agência Nacional das Águas (ANA), a bacia do Rio Formoso pertence à Região Hidrográfica do Araguaia-Tocantins e apresenta uma área de drenagem que ocupa cerca de 7,7% da área total do Estado do Tocantins e 5,6% da bacia do Rio Araguaia. Situa-se na região sudoeste do Estado à margem direita do Rio Araguaia. (SRHMA, 2007)

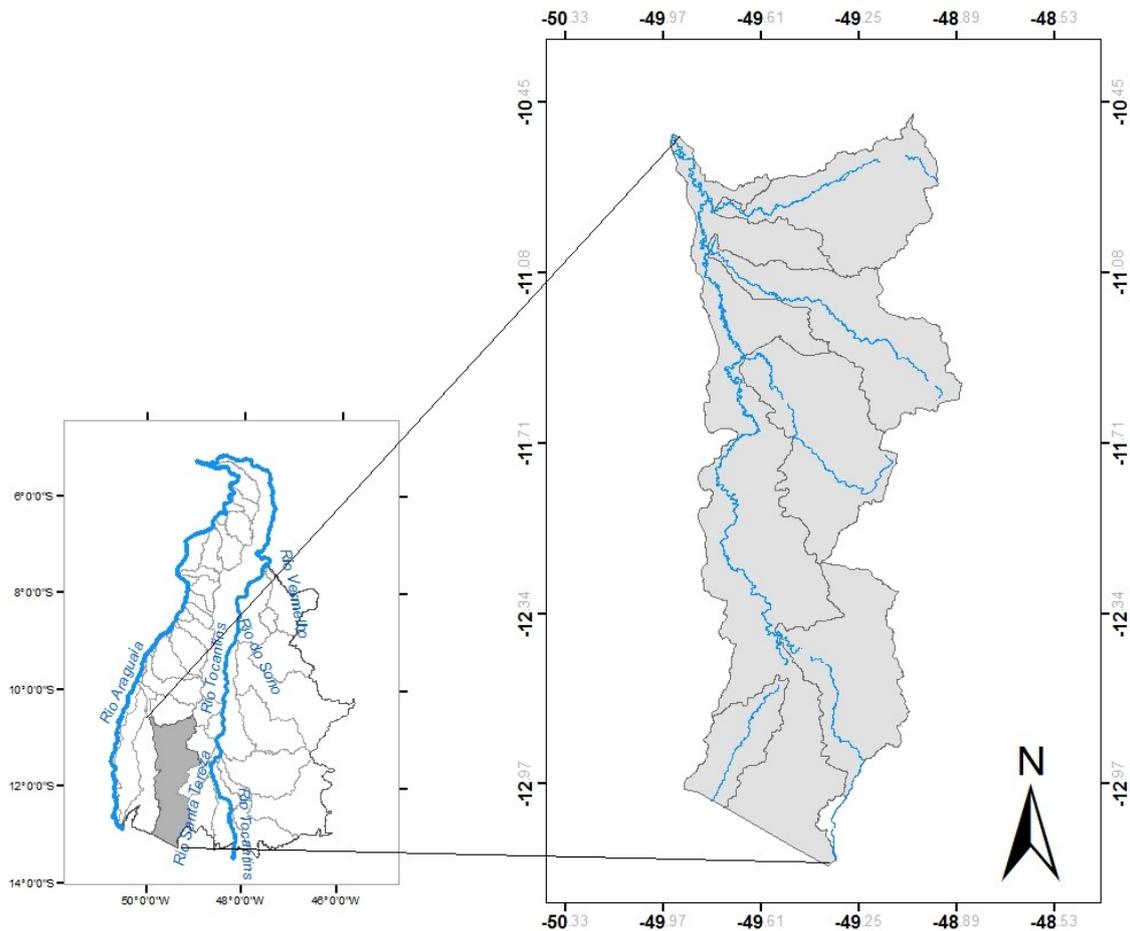


Figura 2: Contribuição e situação da bacia do Rio Formoso em relação ao Estado do Tocantins.

4.1. Caracterização do meio físico

A Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente – SRHMA (2007) definiu que a bacia do Rio Formoso apresenta clima úmido variando de moderada à nula deficiência

hídrica, precipitação média variando entre 1.400mm e 1.700mm, sendo a estiagem comum a todo Estado nos meses de maio a agosto, e o período chuvoso na temporada de outubro a abril.

De acordo com o Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (PBH Rio Formoso) as declividades desta bacia caracterizam-se pela predominância de declives de até 10%, com predomínio de 0 a 5%, configurando, portanto, um relevo plano a suave ondulado.

As classes de solos que predominam na área de estudo, em ordem decrescente de extensão, são os Plintossolos Pétricos Concrecionários, Latossolo Vermelho-Amarelo, Plintossolo, Gleissolos e Argissolos. As Neossolos Quartzarênicos e os Neossolos Litólicos que têm uma ocorrência bastante restrita, existindo apenas na sub-bacia do Rio Escuro (SRHMA, 2007), conforme o ilustrado na Figura 3.

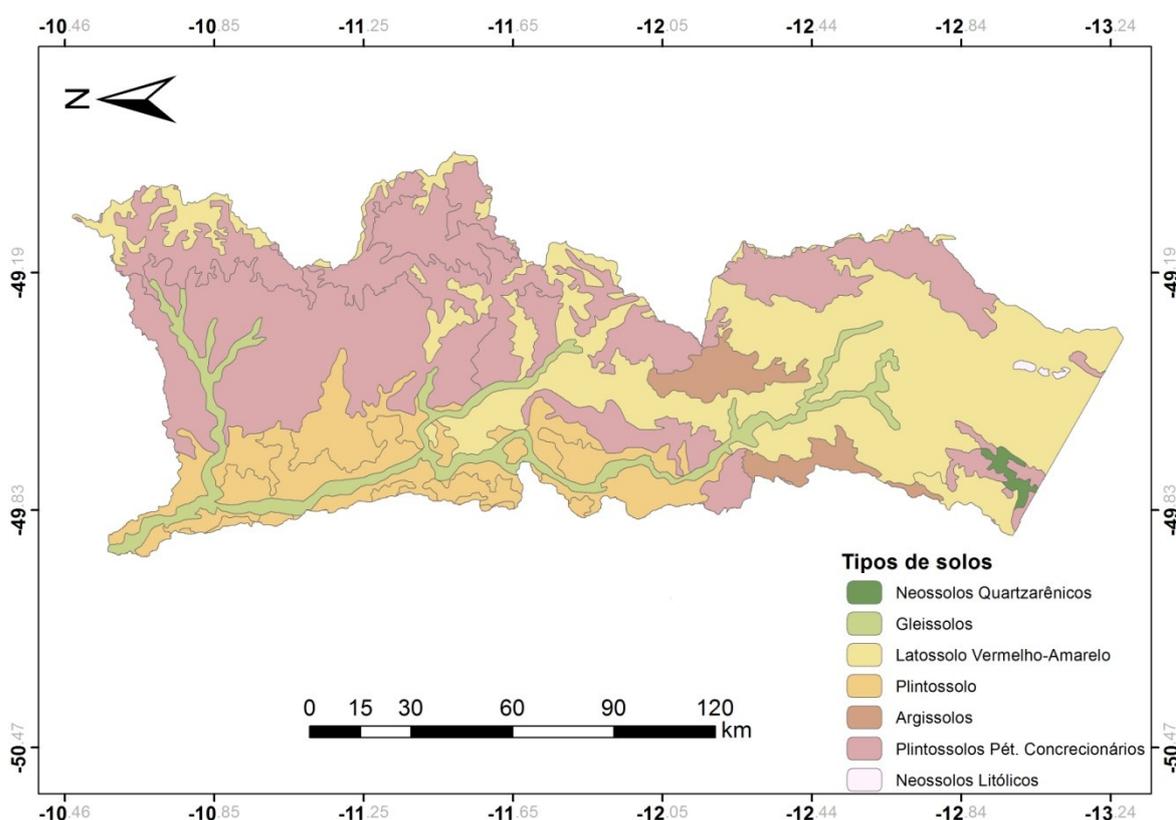


Figura 3: Mapa pedológico da bacia do Rio Formoso.

A bacia do rio Formoso está situada no contato Cerrado-Floresta Estacional. Das fisionomias do Cerrado encontradas na bacia, a maioria delas é de formação campestre entremeadas por arvoretas, sendo somente a porção noroeste da bacia, já em seus limites, de formação florestal representada pela Savana Arbórea Densa (SRHMA, 2007).

4.2. Principais usos da bacia

Dentre os principais usos do solo presentes na bacia hidrográfica do Rio Formoso é possível destacar a ocupação urbana, a mineração, a pecuária e a agricultura irrigada. Sendo estes dois últimos tipos de ocupação os mais significativos economicamente dentro da bacia.

A região da bacia do Formoso possui um cultivo agrícola intenso principalmente nos municípios de Formoso do Araguaia e Lagoa da Confusão mais precisamente às margens do Rio Formoso onde o cultivo de arroz, feijão, milho e melancia são bastante significativos (SRHMA, 2007).

Segundo Santo & Rabelo (2004), no período de 1989 a 2002, a área média cultivada com arroz nas várzeas do estado do Tocantins era de 49.000ha. Nos anos de 2003 e 2004 foi de 54.680ha onde 45.000ha corresponderam ao cultivo do arroz nas regiões centro-oeste e sudoeste do estado. Esse crescimento tem se acentuado a cada ano devido às condições propícias da região para a irrigação por gravidade.

Esta intensa atividade agrícola na bacia é decorrente, além da suave declividade da região, da boa definição dos períodos seco e chuvoso no Estado do Tocantins, o que facilita os preparos para plantio e a delimitação mais precisa dos períodos de safra e entressafra. Com base nisto, verifica-se que no período de safra, vinculado à estação chuvosa, há o plantio de arroz irrigado por inundação, enquanto no período de estiagem verifica-se a produção de melancia, soja, feijão etc. pelo método de subirrigação.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Determinação da Erosividade das chuvas (Fator R)

Este trabalho utilizou dados diários de precipitação pluviométrica oriundos das estações meteorológicas da Rede do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e da Agencia Nacional de Águas (ANA) obtidos através do site Hidroweb, localizadas na bacia do Rio Formoso ou em seu entorno (Figura 4). A consistência dos dados é classificado pela ANA como 1 ou 2. Onde o nível 1 é o nível bruto e o nível 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.

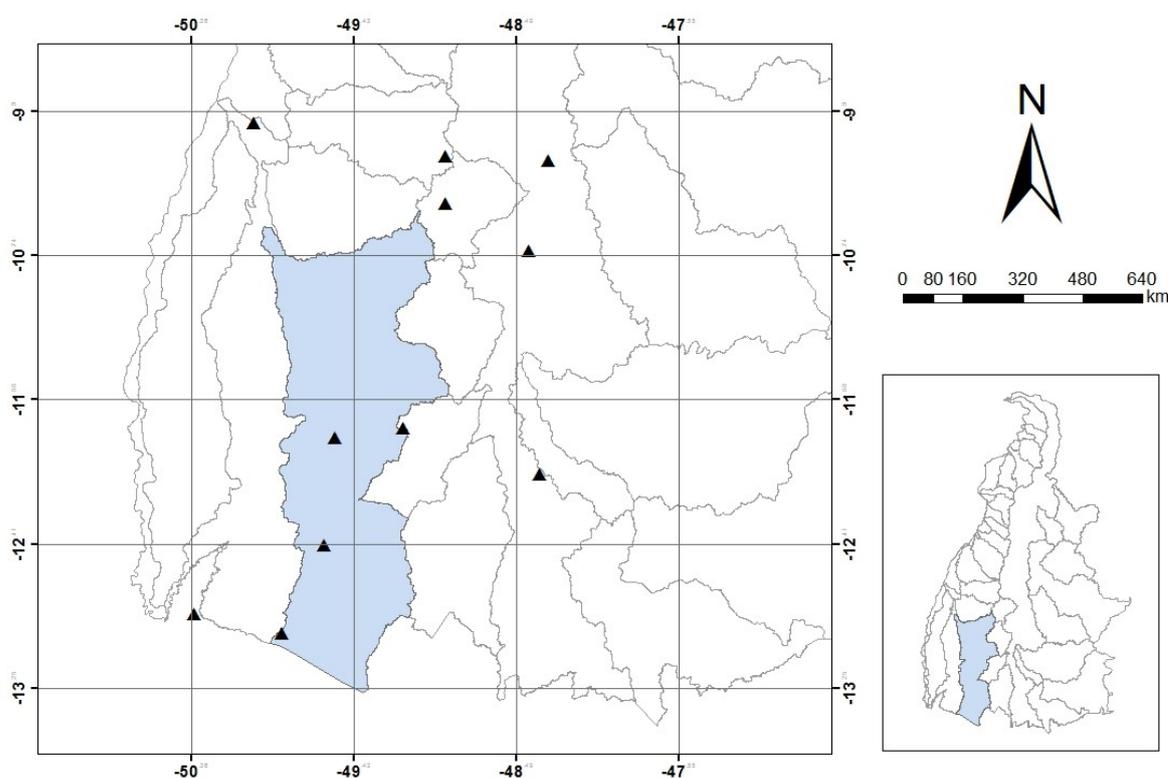


Figura 4: Localização da área de estudo e das estações pluviométricas utilizadas.

Ao todo, utilizaram-se dados de 11 estações meteorológicas, com séries referentes aos últimos 20 anos, seguindo o proposto por Cogo *et. al.* (2002), com o intuito de se homogeneizar os resultados obtidos e reduzir os efeitos da variabilidade anual dos valores estudados.

Tabela 2: Lista de estações pluviométricas adotadas

| LATITUDE | LONGITUDE | MUNICÍPIO | PERÍODO CONSISTIDO |
|----------|-----------|--------------------------|-----------------------|
| -10,19 | -48,30 | Palmas | 1993-2012 |
| -12,01 | -48,35 | Peixe | 1993-2012 |
| -10,71 | -48,41 | Porto Nacional | 1993-2012 |
| -11,79 | -49,52 | Formoso do Araguaia | 1993-1994 |
| -11,73 | -49,13 | Gurupi | 1993-1994 |
| -12,41 | -49,59 | Praia alta (Sandolândia) | 1993-1994 |
| -12,93 | -49,82 | Araguaçu | 1993-1994 |
| -9,97 | -49,99 | Cangussu | 1993-1994 |
| -10,16 | -48,89 | Paraíso do Tocantins | 1993-1994 |
| -10,44 | -48,89 | Pium | 1993-1994 |
| -12,82 | -50,33 | Fazenda Piratininga | 1993-1994 |

A determinação da erosividade (Fator R) das chuvas foi calculada indiretamente pelo método da EI_{30} , através da equação estabelecida por Lombardi Neto & Moldenhauer (1992), conforme o exposto a seguir:

$$EI_{30} = 68,730 (p^2/P)^{0,841}$$

onde:

EI_{30} = média mensal do índice de erosão em MJ mm ha⁻¹h⁻¹ ano⁻¹;

p = precipitação média mensal em milímetro;

P = precipitação média anual em milímetro.

Com base neste método o índice de erosão médio anual, isto é, o fator R para um local, é a soma dos valores mensais do índice de erosão.

$$R = \sum_{1}^{12} EI_{30}$$

Para um longo período de tempo, vinte anos ou mais, essa equação estima, com relativa precisão, os valores médios de EI_{30} de um local, usando somente totais de chuva, disponíveis para muitos locais.

Através do software MS Excel foram realizados os cálculos das médias anuais de precipitação e de erosividade para cada uma das estações adotadas.

Embora a chuva seja um fenômeno de grande amplitude espacial, as medidas pluviométricas são feitas de modo pontual, sendo assim necessária a extrapolação dos dados. Por este motivo, as informações obtidas neste estudo geopositionadas e interpoladas através do Método das médias ponderadas pelo Inverso do Quadrado da Distância (IDW), presente no pacote de ferramentas do software ArcGIS, de modo a gerar o mapa de erosividade.

5.2. Determinação da Erodibilidade dos solos (Fator K)

A erodibilidade dos solos reflete as características físicas do solo, como a permeabilidade, capacidade de armazenamento, velocidade de infiltração dentre outras. Neste trabalho o Fator de erodibilidade no solo foi obtido indiretamente, através da aplicação da expressão de Bouyocos (HUDSON, 1971; BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990; MANNIGEL, 2002), apresentada a seguir:

$$\text{Fator K} = ((\% \text{ areia} + \% \text{ silte}) / (\% \text{ argila})) / 100$$

Onde: K representa o fator erodibilidade do solo em $t h MJ^{-1} mm^{-1}$ e % areia, % silte e % argila representaram as porcentagens das respectivas frações para cada ponto avaliado.

Em função da indisponibilidade de amostras de solo para a região estudada, o presente estudo utilizou informações de 473 amostras de solo analisadas pela EMBRAPA Cerrados e que também já foram utilizadas em outras pesquisas de solos por Andrade & Stone (2009a; 2009b; 2011). As amostras concedidas possuem detalhamentos das características físicas dos solos para diferentes tipos de solos presentes no bioma cerrado. Assim sendo, as informações obtidas a partir destes dados foram extrapoladas para as tipologias de solos equivalentes presentes na bacia do Rio Formoso.

As informações obtidas foram inseridas na tabela de atributos do mapa de solos da região, que é proveniente da base de dados da Secretaria do Planejamento do Estado do Tocantins – SEPLAN atualizada no ano de 2012. A partir disto então, converteu-se estas informações para uma imagem no formato raster de modo a prepará-las para o cálculo do PNE através da utilização do software *ArcGIS*.

5.3. Determinação do Fator Topográfico (Fator LS)

O Fator topográfico da bacia do Rio Formoso foi extraído a partir do Modelo Digital de Elevação – MDE obtido pela missão do ônibus espacial de topografia por radar (Shuttle Radar Topography Mission - SRTM). Os dados SRTM utilizados neste trabalho foram processados e organizados por Weber *et. al.* (2004) de modo a se obter um mosaico do MDE de cada um estados brasileiros, com isso, utilizou-se o recorte do MDE do Estado do Tocantins a partir do qual se realizou a extração das feições da bacia em estudo, conforme o apresentado na figura a seguir:

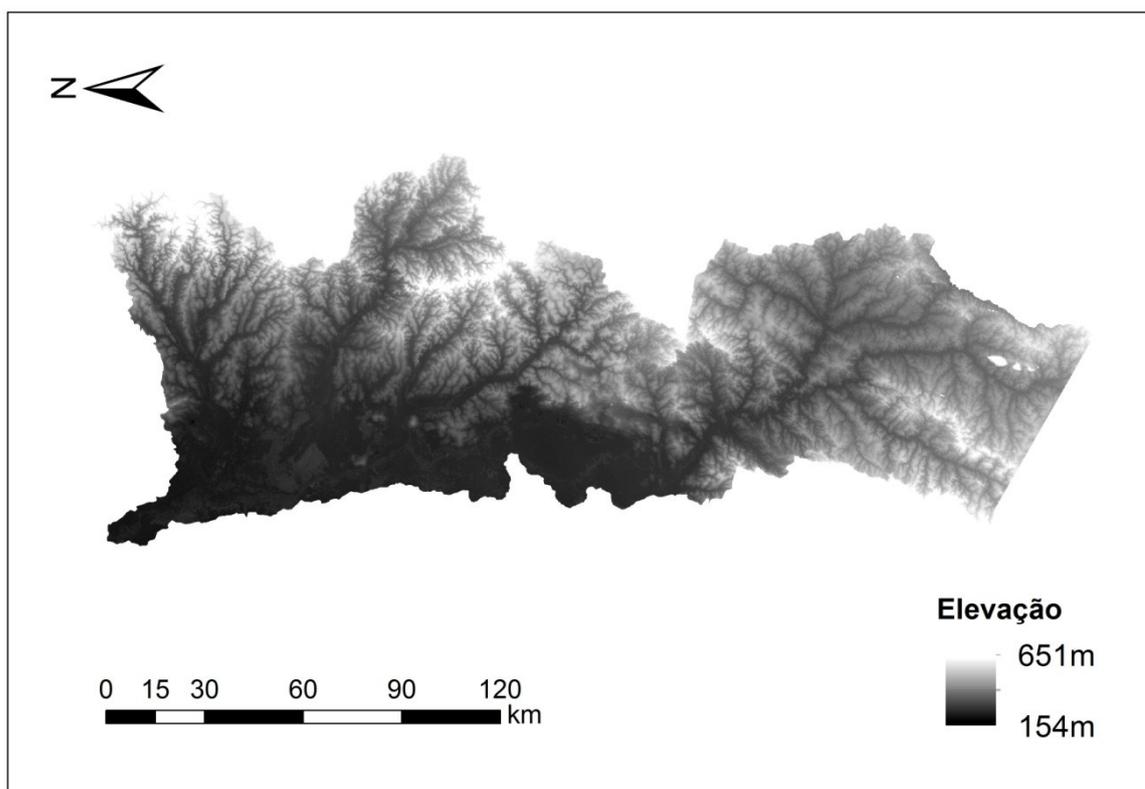


Figura 5: Modelo Digital de Elevação da Bacia do Rio Formoso.

De posse deste levantamento, o MDE foi introduzido no software *SAGA* (*System for Automated Geoscientific Analyses*) versão 2.1.0. Através da utilização do módulo *Terrain Analysis* e da ferramenta *Basic Terrain Analysis*, realizou-se o tratamento automatizado do MDE e os cálculos relativos à declividade e às formas da bacia e além da definição da área de contribuição hidrológica (A) através do método D_{∞} desenvolvido por Tarboton (1997), que calcula a direção do fluxo d'água com base na declividade do terreno, distribuindo o fluxo proporcionalmente entre as células vizinhas.

O cálculo do Fator Topográfico (Fator LS) foi realizado através da ferramenta *Factor LS*, que exige como entrada para o modelo as informações de declividade e a área de contribuição hidrológica da bacia e que se utiliza da formulação de Desmet & Glover (1996) para obter os valores do fator L que é apresentada a seguir:

$$L_{i,j} = \frac{[(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1}]}{[D^{m+2} * x_{i,j}^m * (22,13)^m]}$$

Em que:

$A_{i,j-in}$ = área de contribuição da célula com coordenada (i,j)(m²);

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), que pode ser obtido pela equação $x = \text{sen}\alpha/\text{cos}\alpha$ onde α é a direção do fluxo na vertente.

Assim, a relação dos valores de L e S (declive) é processada internamente no software *SAGA GIS*, sendo que o produto desta modelagem de terreno é convertido em formato de imagem raster de modo a possibilitar a manipulação destas informações em outros Sistemas de Informações Geográficas.

5.4. Determinação do Potencial Natural de Erosão do Solo

O potencial natural de erosão é uma simplificação da Equação Universal de Perdas de Solo, onde apenas são considerados os fatores que correspondentes ao ambiente físico da Equação Universal de Perda de Solo, conforme o disposto abaixo:

$$PNE = R * K * L * S$$

Onde: PNE – é o Potencial natural de erosão (t ha⁻¹ ano⁻¹); R – é o de fator erosividade da chuva (MJ mm ha⁻¹h⁻¹ ano⁻¹); K – é o de fator erodibilidade do solo (t h MJ⁻¹ mm⁻¹); L – é o fator comprimento de rampa, e; S – é o fator declividade. Os fatores L e S normalmente são calculados em conjunto e retornam valores adimensionais.

Deste modo, para a bacia hidrográfica do Rio Formoso, o PNE foi calculado a partir da multiplicação dos fatores físicos da Equação Universal de Perda dos Solos (Fator R, K e LS). Deste modo, o mapa do Potencial de erosão da bacia em estudo foi elaborado através da relação entre os mapas de Erosividade (Fator R), Erodibilidade (Fator K) e Fator Topográfico (Fator LS) elaborados neste trabalho.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Erosividade das chuvas da Bacia do Rio Formoso

Com base nas análises dos dados pluviométricos utilizados, verificou-se que a pluviosidade mensal média da bacia do Rio Formoso atinge seus maiores valores no trimestre que vai de dezembro a fevereiro, com precipitações mensais médias próximas a 260 mm; e menores valores no trimestre de junho a agosto, atingindo valores próximos a zero (Figura 6).

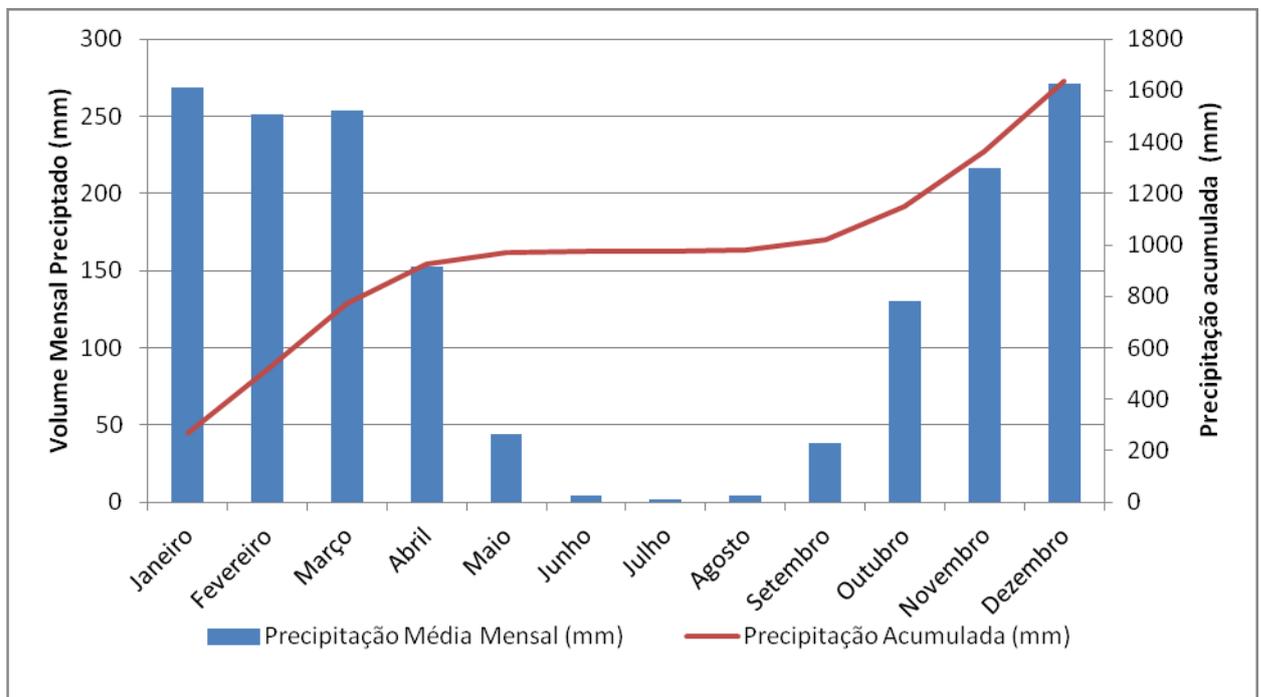


Figura 6: Precipitação média mensal e precipitação média acumulada ao ano na bacia do Rio Formoso.

A partir da interpolação dos dados de pluviosidade das estações meteorológicas utilizadas foi possível gerar o mapa de distribuição espacial destes dados onde se verificou uma variação da lâmina precipitada variando 1450 mm a 1983 mm de acordo com a região da bacia (Figura 7).

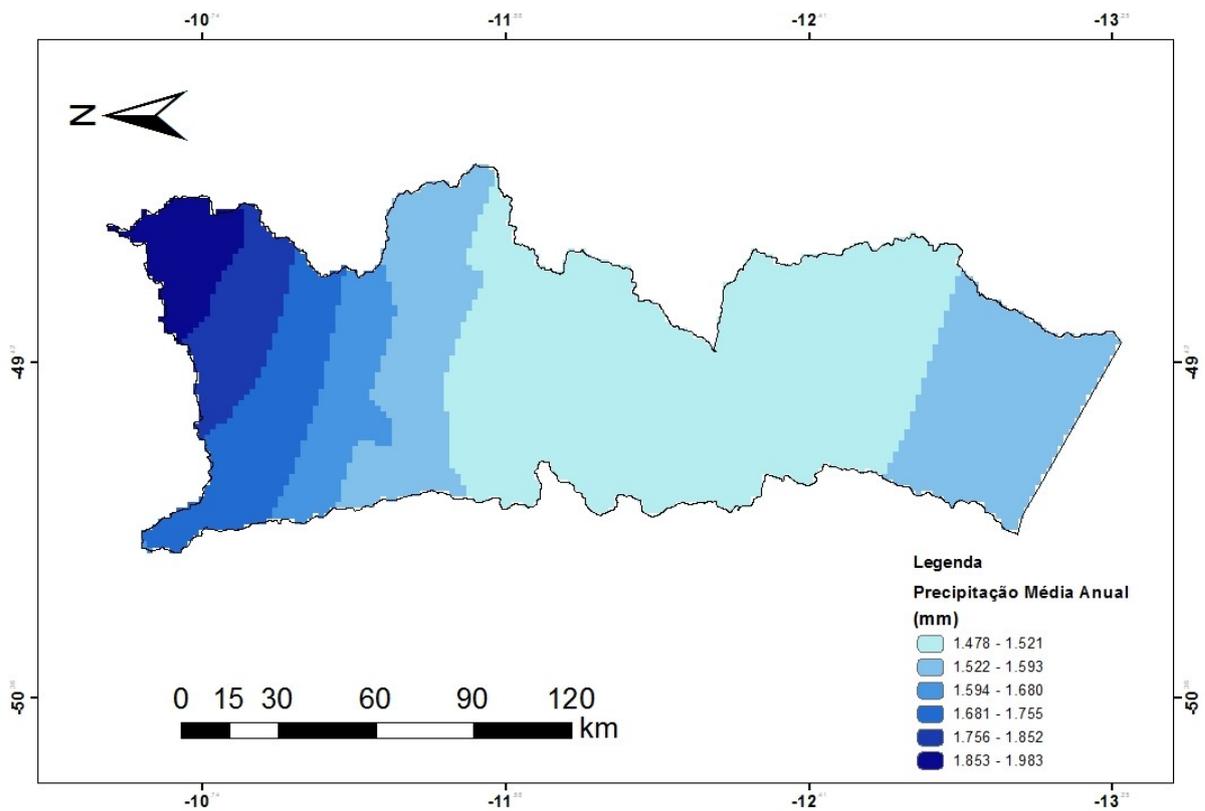


Figura 7: Distribuição espacial da precipitação anual média na bacia do Rio Formoso.

De maneira análoga aos estudos de pluviosidade nos estudos de erosividade das chuvas na bacia do Rio Formoso verificou-se uma variação no índice mensal médio de erosividade das chuvas incidentes na bacia do Formoso partindo de $2,5 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, no trimestre de maior estiagem (junho a agosto), até um valor máximo de $1.908,65 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ nos meses com maiores registros de precipitação (dezembro a fevereiro), conforme pode ser visualizado na Figura 8.

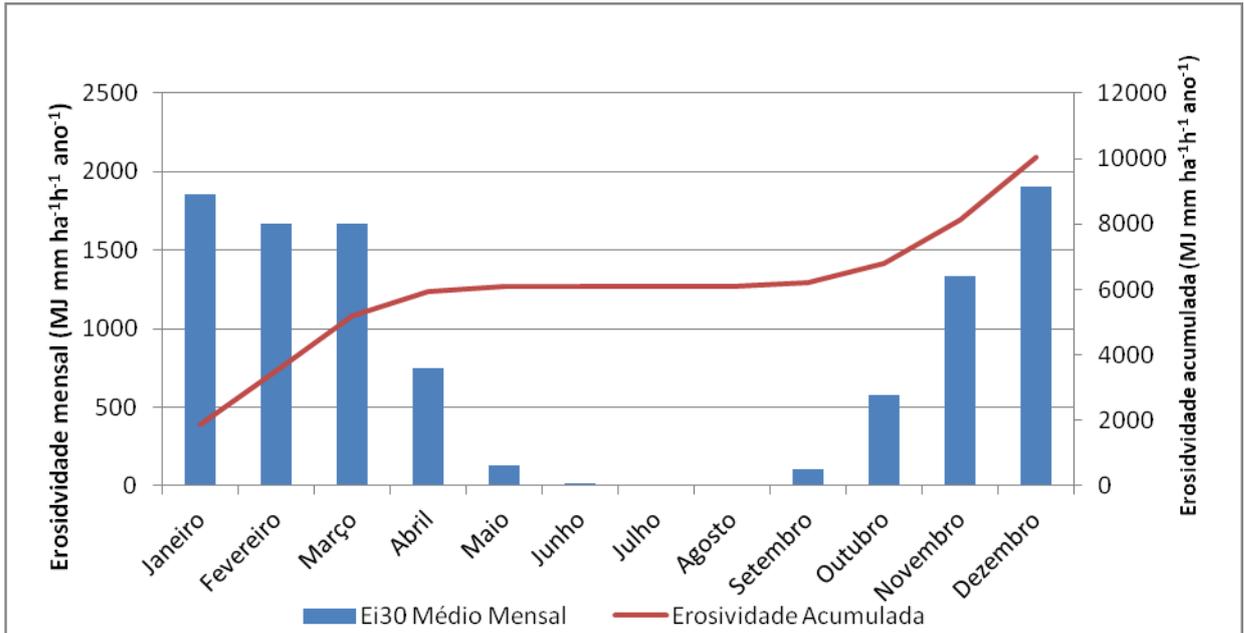


Figura 8: Média mensal de erosividade das chuvas e erosividade acumulada no decorrer do ano na bacia do Rio Formoso.

Com a interpolação dos dados das 11 estações meteorológicas utilizadas notou-se uma estratificação da distribuição da erosividade anual das chuvas incidentes na bacia variando entre $9.400 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $11.300 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, havendo a predominância de valores na faixa de $9.477 - 9920 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, intervalo este que chega a ocupar cerca de 80% da área da bacia, (Figura 9).

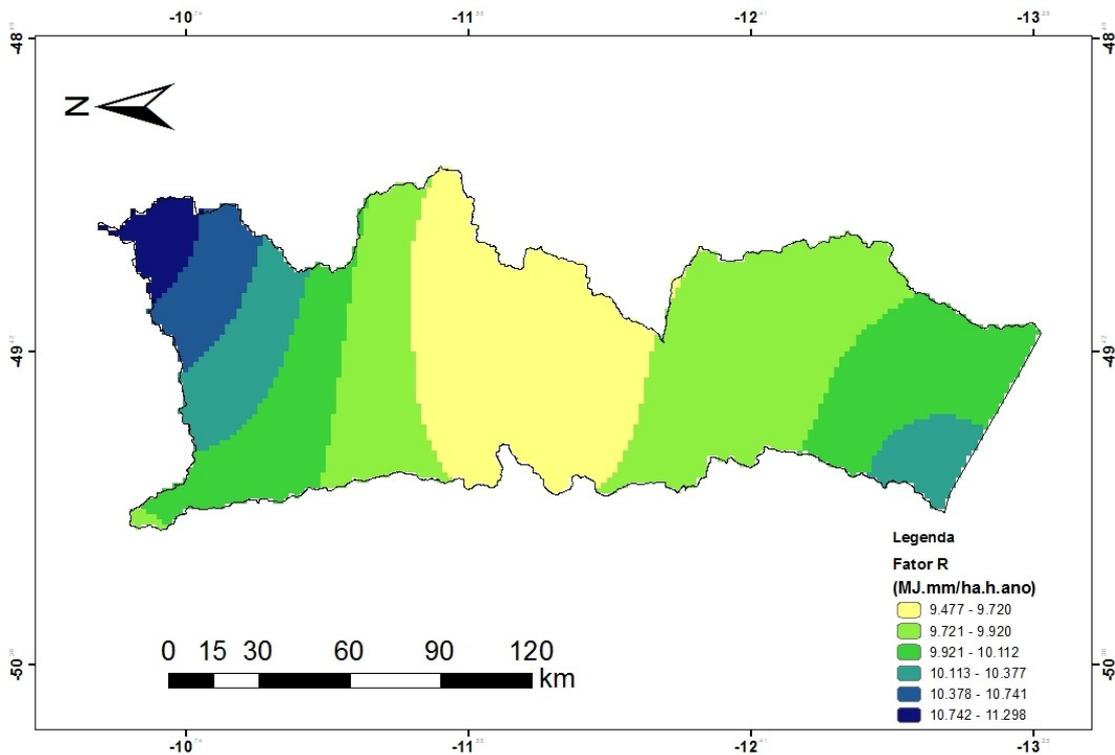


Figura 9: Distribuição espacial da erosividade anual média na bacia do Rio Formoso.

Com base nas informações obtidas e adotando o sistema de classificação utilizado por Silva *et. al.*(2007), apresentado na Tabela 11, verificou-se que a bacia hidrográfica do Rio Formoso tem sua erosividade potencial variando entre as classes de forte e muito forte. Isto decorre do considerável índice pluviométrico da região, característica essa que por sua vez tem relação com a proximidade desta bacia com o bioma amazônico, conhecido por seus altos valores de precipitação.

6.2. Erodibilidade dos solos da Bacia do Rio Formoso

A partir das análises estruturais e de granulometria dos solos obteve-se os valores médios de densidade aparente, porosidade e de erodibilidade dos solos para cada classe de solo verificada na bacia. Assim, os valores de densidade obtidos variaram de 1,084 a 1,458 g/cm³, a porosidade dos solos variou de 0,420 a 0,580 cm³/cm³ e a erodibilidade dos solos apresentou valores de 0,053 a 0,0758 t h MJ⁻¹ mm⁻¹, conforme o apresentado na tabela 3.

Tabela 3: Valores de Erodibilidade dos solos para cada classe pedológica.

| Classe de Solo | Dens. aparente (g/cm ³) | Porosidade (cm ³ /cm ³) | K (t h MJ ⁻¹ mm ⁻¹) |
|---------------------------------------|---|--|--|
| Argilossolos | 1,176 | 0,572 | 0,0758 |
| Gleissolos | 1,458 | 0,498 | 0,0350 |
| Latossolo Vermelho Amarelo | 1,424 | 0,493 | 0,0289 |
| Neossolos Litólicos | 1,410 | 0,420 | 0,0530 |
| Neossolos Quartzênicos | 1,093 | 0,574 | 0,0263 |
| Plintossolos Pétricos Concrecionários | 1,084 | 0,580 | 0,0274 |
| Plintossolos | 1,209 | 0,565 | 0,0253 |

A erodibilidade dos solos da bacia do Rio Formoso apresentou diferentes distribuições no território em estudo. Deste modo, verificou-se que 40,8% do território apresentou um índice de erodibilidade dos solos de 0.0274 t h MJ⁻¹ mm⁻¹; o segundo índice com maior incidência na bacia foi de 0.0289 t h MJ⁻¹ mm⁻¹ ocupando 33,0% da área da bacia; seguido dos valores de 0.0253 t h MJ⁻¹ mm⁻¹ em 15,0%, 0.0350 t h MJ⁻¹ mm⁻¹ em 7,0% e 0.0758 t h MJ⁻¹ mm⁻¹ em 3,5% do território da bacia. Os valores 0.0263 e 0.0530 t h MJ⁻¹ mm⁻¹, por estarem relacionados com classes de solos menos incidentes, apresentaram-se ocupando 0,5% e 0,1% da área da bacia, respectivamente. A distribuição dos valores de erodibilidade obtidos é apresentada na Figura 10.

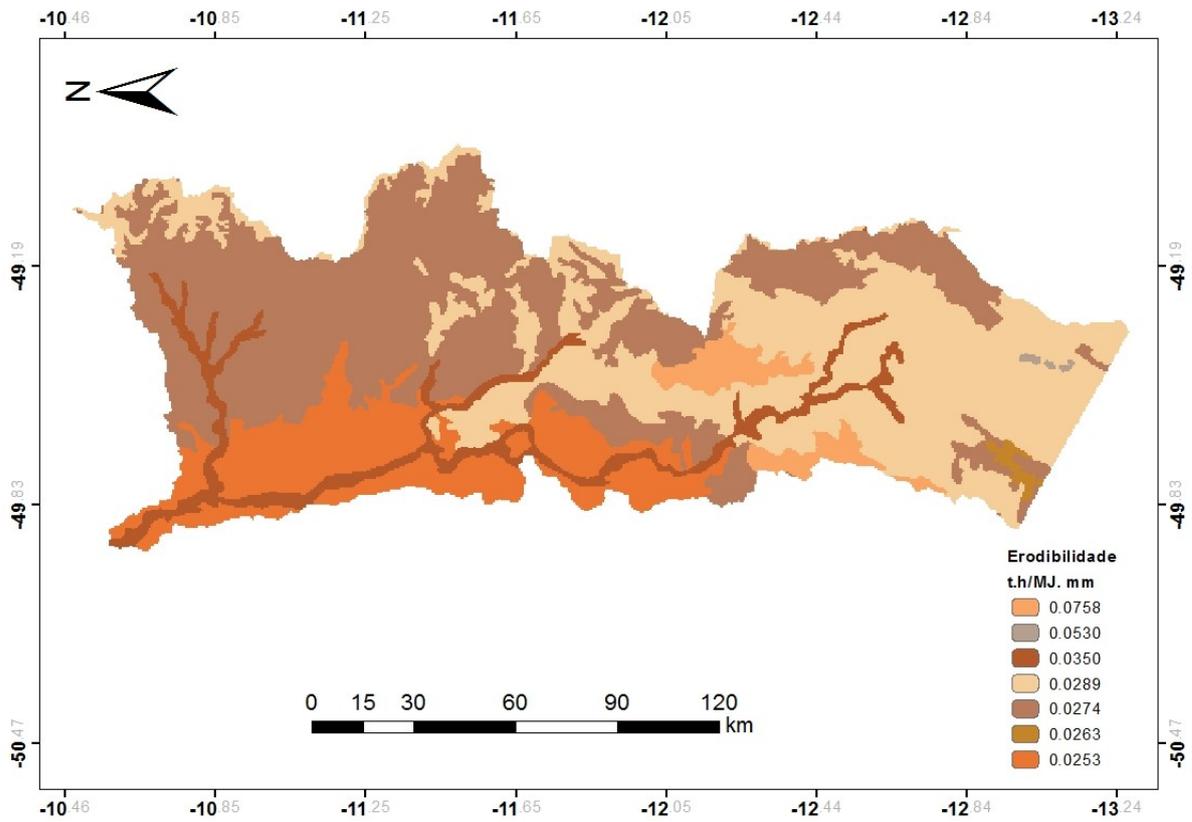


Figura 10: A distribuição dos valores de erodibilidade na bacia do Rio Formoso.

6.3. Fator Topográfico (Fator LS) da bacia do Rio Formoso

A Figura 11 apresenta a da área de contribuição hidrológica da bacia, obtida pela aplicação do método $D\infty$. Tal informação é exigida pelo modelo de Desmet e Glover (1996) para o cálculo do Fator Topográfico da bacia.

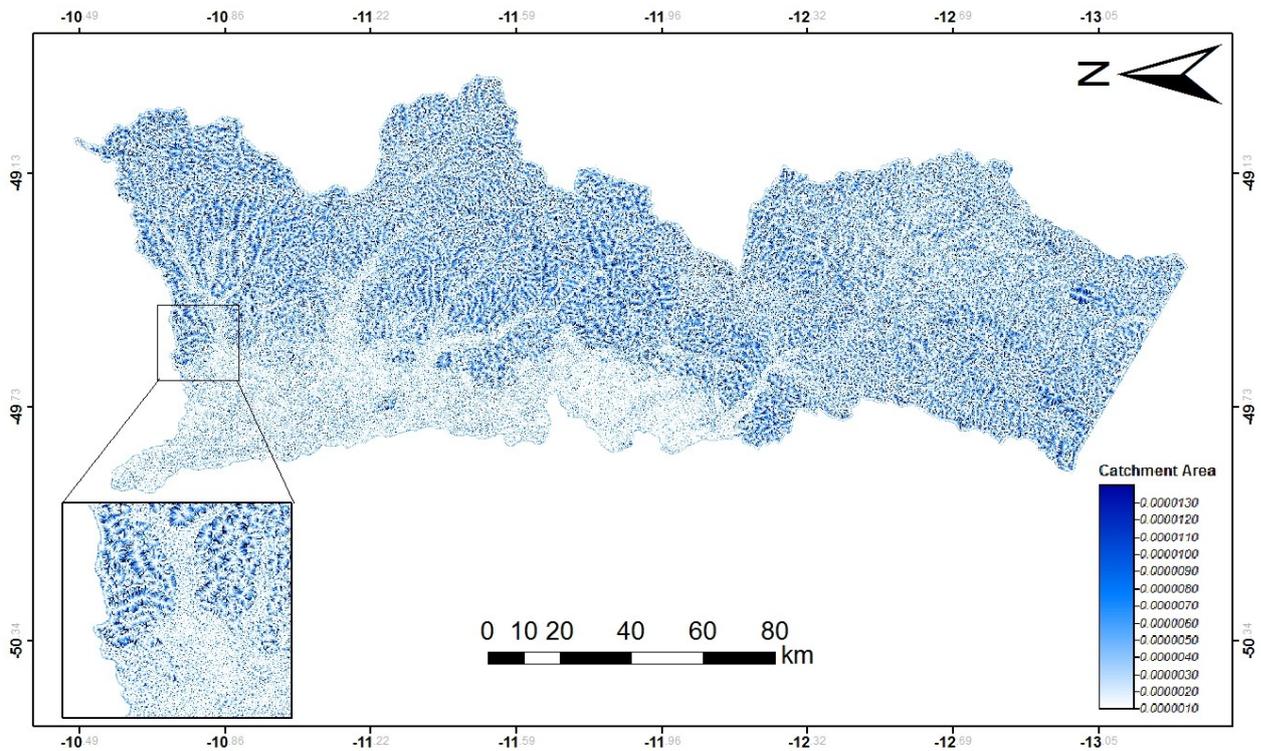


Figura 11: Área de contribuição hidrológica da bacia do Rio Formoso.

Os resultados dos cálculos do Fator LS, obtidos em ambiente computacional são adimensionais, o valor médio de LS para a bacia do Rio Formoso foi de 4,35, com valor máximo de 29,32 e mínimo de 0,03. Os resultados foram classificados em cinco intervalos onde: menos de 1% da área da bacia possui valores de LS menores que 2,00; 55,5% do território da bacia é ocupado por valores LS que variam de 2,01 a 4,00 caracterizando-se como a feição topográfica predominante na bacia; os intervalos de LS de 4,01-6, 6,01-10 e maiores que 10 ocupam 32,5%, 9,8% e 2,1% da área da bacia, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4: Percentuais de incidência do Fator Topográfico na bacia do Rio Formoso.

| Intervalos de Fator LS | Percentual de ocupação na bacia |
|-------------------------------|--|
| ≤2 | 0,011 |
| 2,01-4 | 55,50 |
| 4,01-6 | 32,50 |
| 6,01-10 | 9,8 |
| >10 | 2,19 |

Analisando a distribuição dos valores resultantes (Figura 12) verificou-se que os menores valores de LS tendem a se localizar a nas regiões de topo de encostas e de declives mais suaves (cotas mais baixas da bacia), por outro lado, os valores mais acentuados de LS tendem a se localizar em regiões de declives mais acentuados, podendo ser visualizados nas regiões às margens dos córregos de menor ordem, onde ocorrem as vertentes de grau mais acentuado.

Segundo Silva (2008), os valores de LS menores que 2 têm, ao menos matematicamente, função amenizadora no processo erosivo, visto que em estudos erosivos verificou-se que tal intervalo de valores tende a diminuir as taxas de perda de solo. Entretanto, devido a este tipo de comportamento ser praticamente inexistente na região em estudo verifica-se que a resultante final apresenta valores que favorecem significativamente a erosão do solo em função de seu fator topográfico (Fator LS), sendo que quanto maior o valor de LS maior será a susceptibilidade à erosão em função das vertentes da região.

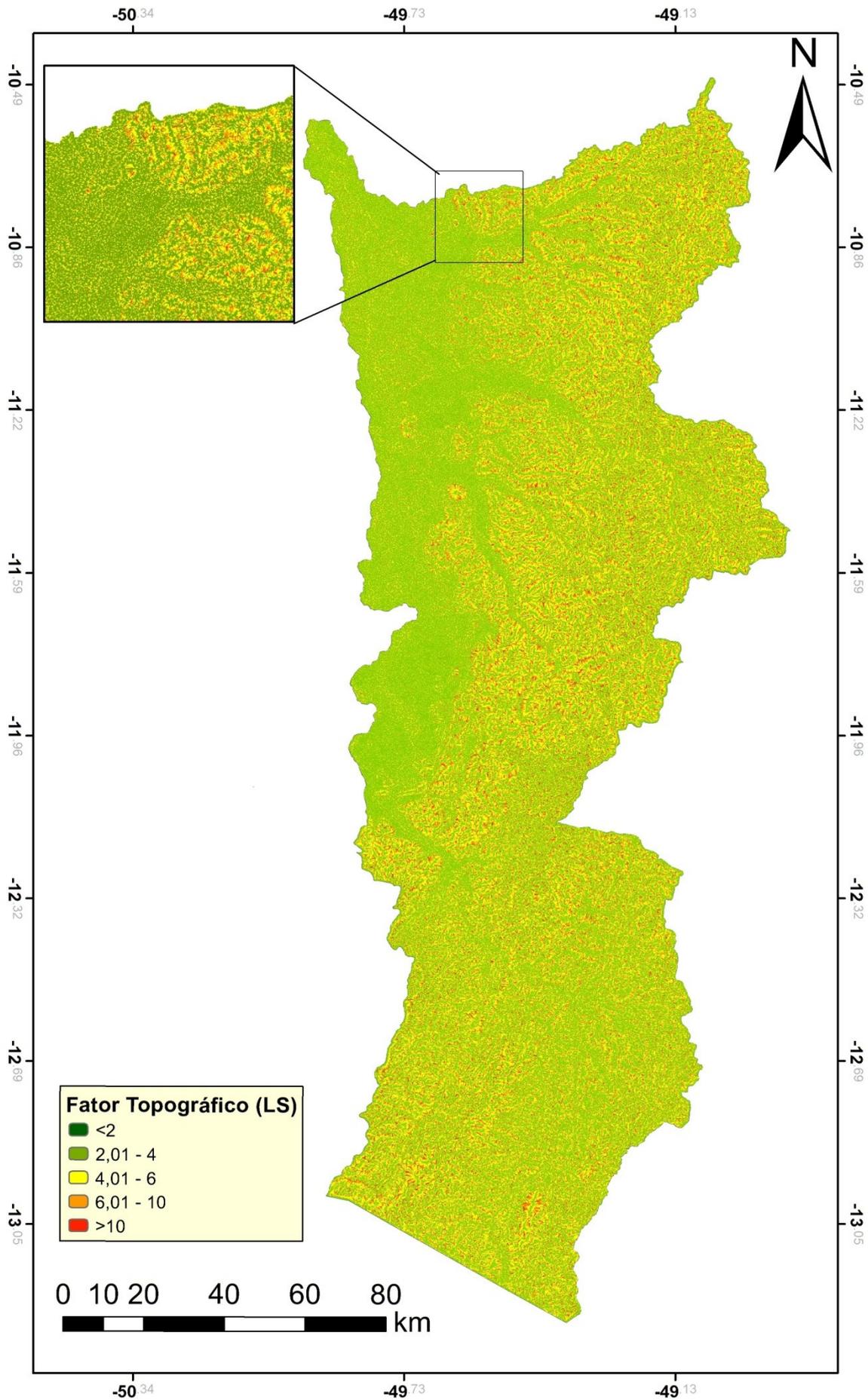


Figura 12: Distribuição dos índices do Fator Topográfico (LS) na bacia do Rio Formoso.

6.4. Potencial Natural de Erosão dos solos da bacia do Rio Formoso

A partir da integração dos fatores expressos anteriormente (R,K e LS) obteve-se o Potencial Natural de Erosão dos Solos da bacia em estudo, demonstrado na Figura 13. Observou-se que em aproximadamente 7% da área da bacia incide um Potencial Natural de Erosão dos solos menor que $700 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. A faixa de incidência erosiva de maior representatividade foi a de 700 a $1000 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ocupando cerca de 33% da bacia, seguida pelos intervalos com taxas de $1000 \text{ a } 1200 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, valores maiores que $1500 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e os valores entre 1200 a $1500 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ que tomam aproximadamente 21%, 20,5% e 18,3% da área da bacia (Tabela 5).

Tabela 5: Percentuais de incidência de PNE na bacia do Rio Formoso.

| Intervalos de valores para PNE ($\text{t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) | Percentual de ocupação na bacia |
|--|--|
| <700 | 7,36 |
| 700-1000 | 32,77 |
| 1000-1200 | 21,03 |
| 1200-1500 | 18,30 |
| >1500 | 20,54 |

Os altos valores para PNE se devem, em grande parte, aos altos valores de erosividade que incidem sobre a bacia, sendo acometida por chuvas classificadas como de fortíssima erosividade.

Analisando a distribuição dos resultados na bacia verificou-se que os maiores potenciais de erosão do solo são encontrados nas regiões de incidência de Argilossolos e de Neossolos Litólicos. Além disto, é possível verificar também altos valores de PNE nas regiões de cota mais alta e valores medianos nas regiões que margeiam os corpos d'água existentes na bacia. Verificou-se também que os menores valores de PNE são encontrados, em sua maioria, nas regiões à jusante dos corpos hídricos de maior ordem, região esta que é caracterizada pela predominância de Plintossolos.

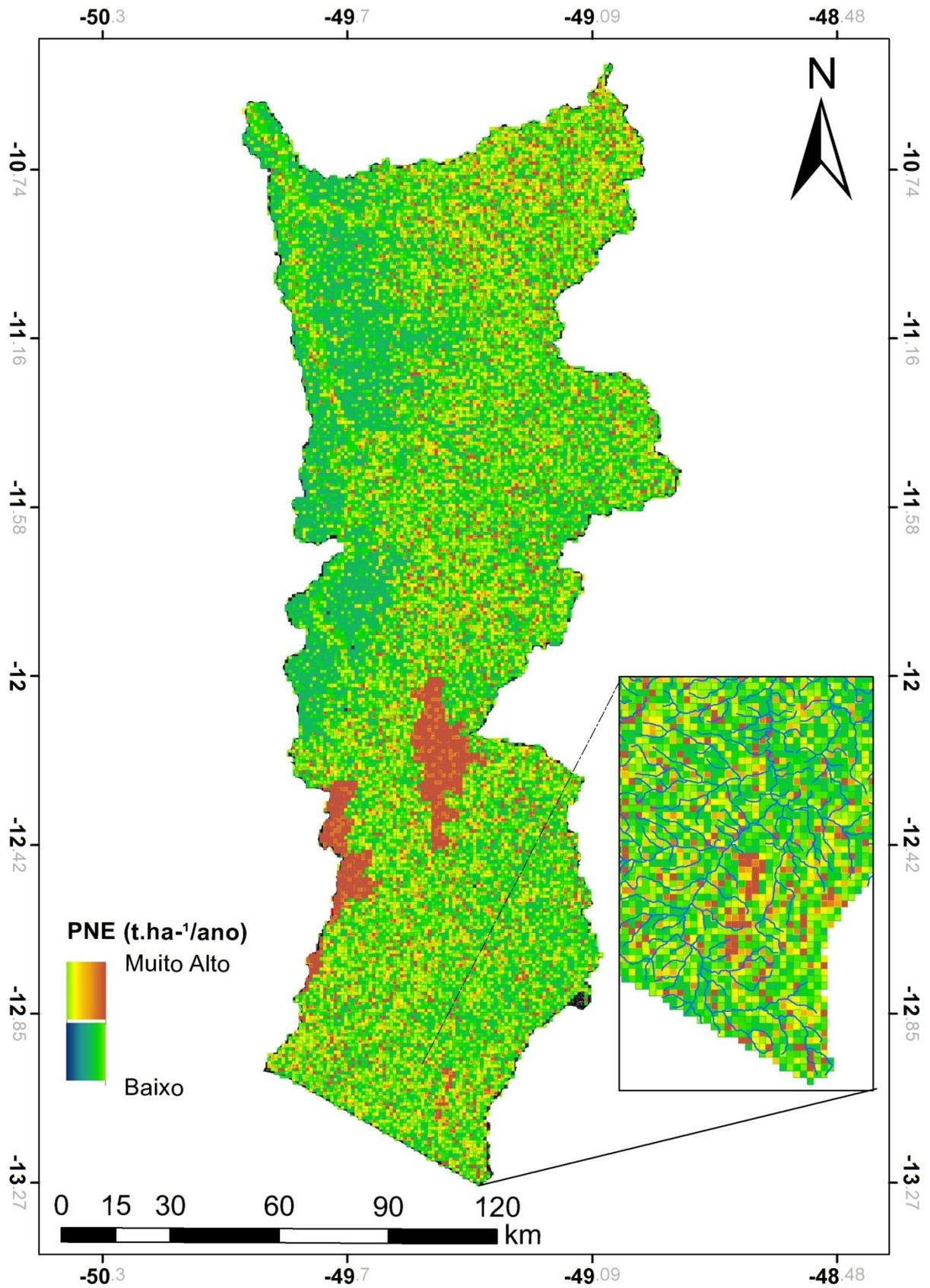


Figura 13: Distribuição dos valores de PNE na bacia do Rio Formoso.

O PNE atingiu valores significativamente elevados, em média $1.200 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Entretanto, por se tratar de um cenário de total exposição do solo aos fenômenos naturais é preferencial que a análise destes resultados seja feita de modo a apontar as áreas da bacia mais e menos susceptíveis à erosão, auxiliando na definição de políticas de Planejamento Ambiental para a bacia. Deste modo, é possível inserir a susceptibilidade à erosão em zoneamentos estabelecidos para a região, possibilitando a minimização dos impactos socioambientais causados pela erosão.

7. CONCLUSÕES

Diante do exposto conclui-se que:

A bacia hidrográfica do Rio Formoso possui alta pluviosidade, em média 1500 mm ao ano, dividida em períodos de tempo bem definidos, resultando em níveis de erosividade das chuvas de em média $9.900 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, o que pode ser considerado como fortíssima erosividade, ou seja, as chuvas que ali incidem têm significativo potencial de desagregação dos solos.

Em relação à erodibilidade, o estudo verificou que, das sete classes de solo existentes na área abordada as classes dos Argissolos e dos Neossolos Litólicos apresentam valores significativamente mais altos que o observado no restante da bacia. Embora estas classes não sejam predominantes na região estas exigem especial atenção em função da expressividade dos valores de erodibilidade a elas associados.

Os valores do Fator LS obtidos computacionalmente apesar de serem estimativas, apresentaram predominância de valores de LS baixos, comportamento característico de relevos suavemente ondulados. Além disto, verificou-se coerência com a realidade na distribuição dos valores de LS na bacia, apresentando valores mais baixos nas zonas de sedimentação da bacia e maiores valores à montante dos canais de drenagem da bacia.

O PNE da bacia do Rio Formoso apresentou valores relativamente altos, em média 1.200 t ha^{-1} , sendo o fator erosividade um dos mais influentes para se atingir tais valores.

A determinação do PNE, bem como de todos os demais fatores naturais da EUPS constituem importantes informações para a implantação de políticas de planejamento ambiental. Neste contexto, a utilização de sistemas de análise de informações geográficas proporciona expressiva celeridade na simulação e análise de cenários utilizados neste planejamento.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, L. J. D. O.; ARAÚJO, A. M.; SILVA, A. B. da; LOPES, H. L.; SILVA, E. A. da. **Estimativas do Potencial Natural de Erosão das Terras da Bacia do Rio Ipojuca-PE**. In: XVIII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. Terezina: 2010. p. 4.

ACADEMIA DE CIÊNCIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - ACIESP. *Glossário de Ecologia.*, v. n ° 57, n. 1 a, p. 271 p, 1987.

ALVES, A.; SOUZA, F. J. D.; MARQUES, M. **Avaliação do potencial à erosão dos solos: uma análise comparativa entre Lógica Fuzzy e o Método USLE**. In: ANAIS XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Goiânia, p. 2011-2018., 16-21 abril 2005.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, 2009a. pg 382-388.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Uso do índice S na determinação da condutividade hidráulica não-saturada de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, 2009b. pg 376-381.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob Cerrados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Impresso)**, v.15, 2011. pg 111-116.

BAI, Z. G.; DENT, D. L.; OLSONN, M. E. Proxy global assessment of land degradation. **Soil Use and Management**, v. 24, p. 223-234, 2008.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo - SP: Ícone, 2008. 355 p.

BLOISE, G. D. L. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. de; REATTO, A.; GUIMARÃES, R. F.; MARTINS, É. de S.; CARVALHO, A. P. F. de . **Avaliação da Suscetibilidade Natural à Erosão dos Solos da Bacia do Olaria-DF**. In: _____ BOLETIM DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO. Planaltina: EMBRAPA, v. 14, 2001. p. 33p.

BORGES, K. M. R. Avaliação da susceptibilidade erosiva da Bacia do Rio Carinhanha (MG/BA) por meio da EUPS - Equação Universal de Perda de Solos. **(Dissertação de Mestrado)**, Universidade de Brasília, p. 68, 2009.

BRANDÃO, D.. Risco de degradação dos recursos hídricos na bacia do ribeirão: uma proposta metodológica. In: AGRÍCOLA, F. D. E. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2001. p. 85.

BRASIL A. E & S. M. ALVARENGA. Relevo. In Duarte AC, ed. Geografia do Brasil - Região Centro-Oeste, p. 53-72. IBGE, Rio de Janeiro, 1989.

CAPECHE, C. L. Processos erosivos em áreas da Usina Hidrelétrica Franca Amaral, Bom Jesus de Itabapoana, RJ, p. 27, 2005.

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.pdf**. In: ANAIS DO VII SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO. Goiânia-GO: 2001.

COGO, C. M.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. **Erosividade das chuvas de Santa Maria, RS, determinada pelo índice EI 30 no período de 1963 a 2000**. XIV REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. Cuiabá - MT: 2002. Disponível em: http://w3.ufsm.br/ppgcs/congressos/XIV_Reuni%3o_Brasileira_Cuiab%27.pdf (acesso em: 05/06/2013).

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, p. 743-753, 2003.

CORREA, E. A.; PINTO, S. S. A. F. Avaliação do potencial natural de erosão da bacia hidrográfica do córrego Monjolo Grande (Ipeúna-SP). **Revista Geonorte**, v. 2, n. Edição Especial, p. 1356-1367, 2012.

DESMET, P. J. J. & G. GOVERS. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 51 n. 5, p. 427-433, 1996.

EITEN, G. **Delimitação do conceito de Cerrado**. Arquivos, Rio de Janeiro, p. 125-134., 1977.

ELLIOT, W.; LAL, R. Erodibility and Erosivity. In: _____ **Soil Erosion Research Methods Second Edition**. [S.l.]: Cleveland: St. Lucie Press, 1994. p. 181-208.

FOSTER, G. R. **Development and use of models for management of runoff and erosion process**. Proc. of the 1988 Int. Symp. Chicago. Chicago: ASAE. 1988.. p. p. 156-165.

FREITAS, L. F. D. CARVALHO JÚNIOR, O. A. de; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, É. de S.; LOEBMANN, D. G.. Determinação do potencial de erosão a partir da utilização da EUPS na bacia do Rio Preto. **Revista Espaço & Geografia**, v. 10, n. 2, p. 431-452, 2007. ISSN ISSN: 1516-9375.

FUJIHARA, A. K. Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento. **Dissertação (mestrado)**, Piracicaba, p. 118, 2012.

GILLEY, J. E. Erosion water-induced. In: HILLEL, D. **Encyclopedia of Soils in the Environment**. Elsevier Editor. [S.l.]: Elsevier Editor, v. 4, 2005. p. p. 463 - 469.

GÓMEZ, J. D. P. Estimativa de erosão pela Equação Universal de Perda de Solo (USLE) e transferência de sedimentos para todo território Brasileiro. **Dissertação (Mestrado)**, Piracicaba, p. 89, 2012.

HUDSON, N. **Soil Conservation**. New York, USA: Cornell University Press, 1971.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **MEGADIVERSIDADE**, v. 1, n. Nº 1, 2005.

LAL, R. Soil degradation by erosion. **Land degradation and Development**, v. 12, p. 519-539, 2001.

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

MANNIGEL, A. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 1990, p. 1335-1340, 2002.

MARINHO FILHO, G. M. et al. Modelos Hidrológicos: Conceitos e aplicabilidades. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 6, n. 2, p. 35 a 47, 2012. ISSN 1981-8858.

MELO, L. F. S. Caracterização dos níveis de degradação de solos da microbacia do Sucuriú no núcleo de desertificação de Gilbués. **Dissertação de Mestrado**, p. 42, 2010.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. Geoprocessamento em recursos hídricos - princípios, integração e aplicação, **ABRH**. Porto Alegre, Rs, p. 534, 2001.

MERTEN, G. H.; CAVIGLIONE, J. H.; CIACOMINI, D. C.; RUFINO, R.L.; MEDEIROS, G.; SAINTRAIT, D.; C., RIBAS G.; DEDECEK, R.; KESSLER, C. A... El uso del SIG del modelo USLE para determinar mapas de erosion potencial y actual en las microcuencas pilotos de Água Grande y Córrego do Pensamento, Mamboré, Paraná, Brasil. (**FAO. Documento de Campo, 6**), p. 43p, 1995.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado**. Brasília, p. 187. 2010.

MOORE, I. D.; BURCH, G. J. Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. **Soil Sci. SOC. Am. J.**, 50, 1986. 1294-1298.

PALM, C. et al. Soils: A Contemporary Perspective.. **Annual Review of Environmental Resources**, v. 32, p. 92-129, 2007.

PEDRO, F. G.; LORANDI, R. Potencial Natural de Erosão na área periurbana de São Carlos – SP. **Rev. Bras. Cartografia**, v. 56, p. 28 – 33, 2004.

PEREIRA, V. P.; FERREIRA, V. P.; CRUZ, M. C. P. **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal - SP: Soc. Bras. Ciência Solo - FCAV, 1994.

REATTO, A.; MARTINS, E. S. **Classes de solo em relação aos controles da paisagem do bioma Cerrado**. Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Brasília, DF: MMA, 2005.

REIS, F. C. D. Estudo de uma proposta de vazão de referência Q90 para o Rio Formoso na Bacia do Araguaia. **UFT - Universidade Federal do Tocantins, monografia de graduação em Engenharia Ambiental**, Palmas, 2010. 53.

RIBEIRO, J. F.; SANO, S. M.; SILVA, J. A. D. **Chave preliminar de identificação dos tipos fisionômicos da vegetação do Cerrado**. In: ANAIS DO XXXII CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA DO BRASIL, Teresina, p. 124-133, 1981.

SANTOS, A. B.; RABELO, R. R. **Cultivo do Arroz Irrigado no Estado do Tocantins**, novembro 2004. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoTocantins/index.htm>>. Acesso em: 14 jul. 2013.

SCOPEL, I.; SILVA, M. R. ERODIBILIDADE NO ESTADO DE GOIÁS. **Uniciência (Anápolis)**, Anápolis, v. 8, n. 1 e 2, p. 123-132, 2001.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E DA MODERNIZAÇÃO DA GESTÃO PÚBLICA (SEPLAN). Superintendência de Pesquisa e Zoneamento Ecológico-Econômico. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE). **Base de Dados Geográficos do Tocantins - atualização 2012**. Palmas, SEPLAN/DZE, janeiro/2012. CD-ROM. (Atualização de arquivos em escala 1:1.000.000 da Base de Dados Geográficos do Tocantins). Organizado por Rodrigo Sabino Teixeira Borges e Paulo Augusto Barros de Sousa.

SILVA, A. M. D. Potencial natural de erosão no município de sorocaba, São Paulo, Brasil. **Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil**, v. 8, p. 5-13, 2008.

SILVA, A. M. D.; ALVARES, C. A.; WATANABE, C. H. Natural Potential for Erosion for Brazilian Territory. In: _____ **Soil Erosion Studies**. [S.l.]: [s.n.], 2011.

SILVA, A. M. D.; MARQUES, M. A.; RODRIGUES, B. B. **Manual do usuário**. In: _____ EROSIDIDADE BRASIL 1.0. Sorocaba: [s.n.], 2007. p. 24. Disponível em: <<http://www.sorocaba.unesp.br/professor/amsilva>>. Acesso em: 08 jun. 2013.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. 2ª edição: revisada e ampliada. ed. São Carlos - SP: Rima, 2007. 153 p.

SILVA, F. D. G. B. da; MINOTTI, R. T.; LOMBARDI NETO, F.; PRIMAVESI, O.; CRESTANA, S.. Previsão da perda de solo na Fazenda Canchim – SP. **Eng Sanit Ambient**, p. 141-148, abr/jun 2010.

SILVA, J. M. C.; SANTOS, M. P. dos; . A importância relativa dos processos biogeográficos na formação da avifauna do Cerrado e de outros biomas brasileiros. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília, DF. :MMA., 2005.

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**, p. 24-36, 2000.

SPRUILL, C. A.; WORKMAN, S. R.; TARABA, J. L. **simulation of daily and monthly stream discharge form small watersheds using the SWAT model.** In: _____ TRANSACTIONS OF THE ASAE. 1431-1439. ed. [S.l.]: [s.n.], 2000. p. 43.

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO TOCANTINS - SRHMA. **Plano de bacia hidrográfica do Rio Formoso – PBH Rio Formoso, no Estado do Tocantins..** Palmas - Tocantins, p. 70. 2007.

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.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROÇÃO. Marília: ABGE/DAEE. 1987. p. 105-135.

TARBOTON, D. G., (1997), "A New Method for the Determination of Flow Directions and Contributing Areas in Grid Digital Elevation Models," **Water Resources Research**, 33(2): 309-319. Disponível em: HYPERLINK "<http://www.engineering.usu.edu/dtarb/dinf.pdf>"
<http://www.engineering.usu.edu/dtarb/dinf.pdf>
 TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 91 p.

TUCCI, C. E. M. Simulação no gerenciamento de recursos hídricos. In: BARTH, F. T. E. A. **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos.** São Paulo: Nobel: ABRH, 1987. Cap. 3.

VALLE JUNIOR, R. F. D. Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do Rio Uberaba. **Tese (doutorado),** Jaboticabal, p. 222, 2008.

VITTE, A. C.; MELLO, J. P. Considerações sobre a erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas e suas conseqüências na morfogênese das vertentes: um balanço bibliográfico. **Climatologia e Estudos da Paisagem,** Rio Claro , v. 2, n. 2, julho/dezembro 2007.

VITTE, A. C.; VILELA FILHO, L. R. Estimativa de perdas de solos em uma bacia hidrográfica sob o cultivo de frutíferas, no município de Valinhos (SP). **GEOUSP - Espaço e Tempo,** São Paulo, n. n°20, p. 45-64, 2006.

WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C. J. S. **Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação.** Porto Alegre, 2004. Disponível em <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>.

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. ed. [S.l.]: [s.n.], 1975. p. 118-124.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and it's relationship to soil loss. **Transactions American Geophysical Union,** Washington, v. 39, n. 2, p. 285-291, 1958.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses; a guide to consevation planning.** Agriculture Handbook n° 282. ed. Washington U.S.: Departament of Agriculture, 1978. 58 p.

WISCHMEIER, W.; JOHNSON, C.; CROSS, B. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil Water Conservation**, v. 26, n. n.2, p. p.189-193., 1971.