

**UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI**

**Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Ambiente e Sociedade**

**José Ramalho dos Santos Neto**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO POTENCIAL DE EROÇÃO HÍDRICA NA BACIA  
DO RIO ARAÇUAÍ-MG**

**Teófilo Otoni**

**2017**



**José Ramalho dos Santos Neto**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO POTENCIAL DE EROSÃO HÍDRICA NA BACIA  
DO RIO ARAÇUAÍ-MG**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Ambiente e Sociedade da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Christóforo Matosinhos

**Teófilo Otoni**

**2017**

Ficha Catalográfica  
Preparada pelo Serviço de Biblioteca da UFVJM  
Bibliotecário responsável: Raniere Barros Barreto – CRB6 nº ES000861/O

S237d Santos Neto, José Ramalho dos.  
2017 Distribuição espacial do potencial de erosão hídrica na bacia do rio Araçuaí-MG. / José Ramalho dos Santos Neto. Teófilo Otoni, 2017.  
75 p. ; il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Ambiente e Sociedade, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Christófaros Matosinhos.

1. Perda de solos. 2. USLE. 3. Bacia hidrográfica. I. Título.

**CDD: 551**

JOSé RAMALHO DOS SANTOS NETO

**Distribuição Espacial do Potencial de Erosão Hídrica na Bacia  
Hidrográfica do Rio Araçuaí**

Dissertação apresentada ao  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM TECNOLOGIA, AMBIENTE E  
SOCIEDADE - STRICTO SENSU,  
nível de MESTRADO como parte dos  
requisitos para obtenção do título de  
MAGISTER SCIENTIAE EM  
TECNOLOGIA, AMBIENTE E  
SOCIEDADE

Orientador : Prof. Dr. Cristiano  
Christofaro Matosinhos

Data da aprovação : 30/06/2017

Prof.Dr. ALEXANDRE CHRISTOFARO SILVA - UFVJM



Prof.Dr. WELLINGTON WILLIAN ROCHA - UFVJM



Prof.Dr. CRISTIANO CHRISTOFARO MATOSINHOS - UFVJM

Teófilo otoni



A todos aqueles que contribuíram para a  
realização deste trabalho.





## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha família, em especial a minha mãe de criação, Santa Santos Pinheiro, pelo total apoio em minhas decisões e pelo incentivo nos momentos em que estava desanimado.

Agradeço a minha esposa e amiga Gilmária Veiga Santos que esteve presente em minha vida em todos os momentos me incentivando a estudar e ajudando nos momentos de dificuldades.

Agradeço ao meu orientador Cristiano Christófaros Matosinhos pela ajuda em todas as etapas da pesquisa, orientando me nos melhores métodos e meios de realização do trabalho e, principalmente, pela paciência e tolerância quanto aos deveres, que nem sempre cumpri, como orientado.

Agradeço a UFVJM Campus Mucurí, em especial a coordenação do mestrado por oferecer todo o apoio necessário ao desenvolvimento do trabalho.

Por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente, contribuíram para que esse sonho tornasse realidade promovendo um substancial avanço em minha forma de pensar e agir.



## RESUMO

A erosão hídrica é um dos grandes problemas da atualidade e vem causando muitos impactos socioambientais, principalmente em países de climas tropicais onde o poder erosivo das águas pluviais é mais altas. Tal fenômeno reduz a fertilidade natural dos solos o que por sua vez, impacta na produtividade agrícola, bem como a qualidade e quantidade dos recursos hídricos disponíveis. Nesse contexto, o presente trabalho objetiva caracterizar a distribuição espacial do potencial de perda de solos por erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Araçuaí. Para isso, utilizou-se a Equação Universal das perdas se solo a qual determina o potencial médio de perda de solos por erosão hídrica por meio da interação entre a energia cinética das gotas de chuva, as características dos solos, as formas do relevo e os usos e manejos adotados. Os resultados obtidos apontam um potencial médio de perda de solos de  $7,58 \text{ Ton ha}^{-1}\text{Ano}^{-1}$ , indicando um baixo potencial de perda de solos por erosão hídrica distribuído de forma irregular no território da bacia.

**Palavras-chave:** Perda de Solos. USLE. Bacia Hidrográfica.



## ABSTRACT

Water erosion is one of the bigger problems of actuality and has been caused many social and environmental impacts, mainly in countries of tropical climates where the erosive power of rainwater is higher. This phenomenon reduces the natural fertility of soils, which in turn impacts the agricultural productivity, as well as the quality and quantity of water available. In this context, the present work aims to characterize the spatial distribution of soil loss potential due to water erosion in the Araçuaí river basin. For this, the Universal Soil Loss Equation was used, which determines the average potential of soil loss by water erosion through the interaction between the kinetic energy of the raindrops, the soil characteristics, the relief forms and the uses and management. The results indicate an average soil loss potential of  $7.58 \text{ Ton ha}^{-1}\text{Year}^{-1}$ , indicating a low soil loss potential for water erosion irregularly distributed in the basin's territory.

**Keywords:** Loss Soil. USLE. Watershed



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Mapa 1: Localização da bacia do rio Araçuaí no estado de Minas Gerais.....   | 37 |
| Mapa 2: Precipitação média e Erosividade média na bacia do rio Araçuaí-MG, de<br>janeiro de 1996 a dezembro de 2015..... | 51 |
| Mapa 3: Classificação da Erosividade na bacia do rio Araçuaí. ....   | 52 |
| Mapa 4: Classes de Solos da bacia do rio Araçuaí e Classificação.....  | 55 |
| Mapa 5: Classes de declividade da bacia do rio Araçuaí. ....   | 56 |
| Mapa 6: Fator LS da bacia do rio Araçuaí. ....   | 57 |
| Mapa 7: Classes de uso e conservação do solo na bacia do rio Araçuaí. ....   | 58 |
| Mapa 8: Potencial de perda de solos na bacia do Rio Araçuaí.....   | 61 |
| Mapa 9: Classificação do potencial de perda de solos por erosão na bacia do rio<br>Araçuaí. ....                         | 62 |





## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1: Estações Pluviométricas Utilizadas no trabalho.....  | 44 |
| Tabela 2: Classes para a interpretação da Erosividade anual.....   | 46 |
| Tabela 3: Valores de erodibilidade dos solos da bacia hidrográfica do rio Araçuaí.....   | 47 |
| Tabela 4: Classes de Erodibilidade do Solo.....  | 47 |
| Tabela 5: Classes de Declividade.....  | 48 |
| Tabela 6: Valores de CP condições de cobertura e uso do solo na Bacia Hidrográfica do rio Araçuaí-MG.....  | 49 |
| Tabela 7: Valores médios mensais e valor total anual da precipitação pluvial e da Erosividade para a bacia do rio Araçuaí entre 1996 e 2015..... | 53 |
| Tabela 8: Classificação da taxa de erosão na bacia hidrográfica do rio Araçuaí.....  | 59 |



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANA - Agência Nacional de Águas  
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Naturais  
EI 30 - Índice de Erosão  
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
MDE - Modelo Digital de Elevação  
MFI - Índice de Fournier Modificado  
MUSLE - Modified Universal Soil Loss Equation  
NASA - National Aeronautics and Space Administration  
QGIS - Quantum Gis  
RUSLE - Revised Universal Soil Loss Equation  
SHP - Shapefile  
SIG - Sistema de Informação Geográfica  
SRTM - Shuttle Radar Topography Mission  
USLE - Universal Soil Loss Equation  
WEPP - Water Erosion Prediction Project



## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....                                      | <b>19</b> |
| 1.1.JUSTIFICATIVA.....  | 21        |
| 1.2.OBJETIVOS .....   | 22        |
| 1.2.1.Objetivo Geral.....                                       | 22        |
| 1.2.2.Objetivos Específicos.....                                | 22        |
| <b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....                           | <b>23</b> |
| 2.1.MANEJO INTEGRADO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS .....              | 23        |
| 2.2.ESTUDO DO SOLO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS .....                | 23        |
| 2.3.EROSÃO DO SOLO.....   | 24        |
| 2.4.MODELOS DE PREDIÇÃO DE EROSIÃO .....                        | 27        |
| 2.4.1.Equação Universal das Perdas de solo (USLE).....          | 28        |
| 2.5.FATORES CONDICIONANTES DA EROSIÃO HÍDRICA.....              | 29        |
| 2.5.1.Precipitação Pluvial – Fator R.....                       | 29        |
| 2.5.2.Erodibilidade - Fator K .....                             | 32        |
| 2.5.3.Formas do Relevo – Fator LS .....                         | 33        |
| 2.5.4.Uso, Manejo e Práticas Conservacionistas - Fator CP ..... | 35        |
| <b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....                             | <b>37</b> |
| 3.1.CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....                      | 37        |
| 3.1.1.Aspectos Físicos.....                                     | 38        |
| 3.1.1.1. Clima.....   | 38        |
| 3.1.1.2. Geologia e Geomorfologia.....                          | 38        |
| 3.1.1.3 Solos da Bacia do Rio Araçuaí.....                      | 40        |
| 3.1.1.4. Vegetação .....  | 41        |
| 3.1.2.Aspectos Socioeconômicos .....                            | 42        |
| 3.2.METODOLOGIA DA PESQUISA .....                               | 43        |
| 3.2.1.Erosividade.....  | 44        |
| 3.2.2.Erodibilidade .....                                       | 46        |
| 3.2.3.Fator Topográfico.....                                    | 48        |
| 3.2.4.Fator Uso, Manejo e Práticas Conservacionistas .....      | 49        |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....                          | <b>51</b> |
| 4.1.EROSIVIDADE.....  | 51        |
| 4.2.ERODIBILIDADE.....  | 54        |
| 4.3.FATOR TOPOGRÁFICO.....                                      | 56        |
| 4.4. USO, MANEJO E PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS.....              | 58        |
| 4.5.PERDA DE SOLOS NA BACIA DO RIO ARAÇUAÍ.....                 | 59        |
| <b>5. CONCLUSÃO</b> .....                                       | <b>65</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....                         | <b>67</b> |



## 1 INTRODUÇÃO

O mundo atual apresenta grandes problemas socioambientais dos mais variados tipos. A degradação acelerada dos solos pela ação da erosão hídrica pluvial, principalmente em países de climas tropicais tem causado grandes prejuízos socioambientais. Nesses países, inclusive no Brasil, o poder erosivo das águas pluviais é potencializado por alterações na paisagem oriundas das atividades antrópicas nos ecossistemas.

A erosão é um processo natural que atua na superfície terrestre moldando as formas do relevo e criando condições para o desenvolvimento e formação dos solos. É, portanto, um fenômeno importante para o desenvolvimento da vida. Porém esse equilíbrio harmônico é perturbado por ações antrópicas no meio ambiente, originando a forma acelerada da erosão que, diferentemente da erosão natural, é prejudicial ao processo de formação e conservação dos solos.

A erosão acelerada em áreas agrícolas é basicamente um processo induzido pelo uso e manejo inadequado dos solos. Esse processo se inicia quando o homem, em suas atividades agropecuárias, remove a cobertura vegetal original do ambiente e as substituem por outras com características diferentes.

O uso e manejo do solo em desacordo com a aptidão agrícola, atuam como agravantes do processo erosivo (GRAAF, 1996). Essa forma de manejo afeta a capacidade produtiva do solo, uma vez que provoca alterações em suas propriedades físicas e químicas, reduzindo a porosidade, a fertilidade e, conseqüentemente, diminuindo a capacidade de reter e infiltrar a água proveniente das chuvas (DURÃES e MELLO, 2016).

A erosão hídrica depende de vários fatores de ordem natural e de influência antrópica nos ecossistemas. A análise da importância relativa de cada um desses fatores permite o estabelecimento de prioridades para o controle da erosão do solo, manejo das culturas e da terra, além de possibilitar o desenvolvimento de programas de mitigação e recuperação dos solos degradados, o que traz benefícios ambientais, sociais e econômicos (DENARDIM *et al.*, 2004).

Devido aos impactos provocados pela erosão dos solos, diversas estratégias de adaptação e enfrentamento têm sido propostas. Uma destas consiste na implantação de sistemas de gestão sustentável dos recursos naturais. Tais sistemas concebem o território da bacia hidrográfica como unidade de estudo e de manejo integrado. Tal concepção, em sua

abordagem, deve ser feita de forma sistêmica no interior dos territórios das bacias hidrográficas, visando atingir objetivos diversos.

A bacia hidrográfica é uma área delimitada espacialmente por divisores de água, com redes de drenagem interligada, cujo escoamento converge para um único ponto, o qual se denomina seção de controle ou exutório. É, portanto, uma área de captação da água proveniente da atmosfera e sua distribuição na superfície em direção à seção de controle (MELLO e SILVA, 2013).

Na visão de Pires *et al.* (2002), a noção de bacia hidrográfica como unidade de planejamento para ocupação socioeconômica e recuperação ambiental, vem se incorporando ao cotidiano de especialistas, produtores e ambientalistas no mundo todo.

O planejamento do uso do solo em bacias hidrográficas constitui-se parte essencial na prevenção de impactos no solo como o esgotamento de recursos naturais e a consequente redução da qualidade. Esse planejamento se inicia como um diagnóstico criterioso da propriedade, uma vez que bem elaborado, permite conhecer os problemas ambientais e fornece subsídios para a elaboração de ações preventivas ou corretivas, atendendo a fins diversos (WEILL e SPAROVEK, 2008).

O estudo da erosão do solo é de grande relevância para a sociedade, uma vez que tal processo ocorre em todo o planeta trazendo consequências negativas às atividades agropecuárias. Entre essas consequências está a perda de nutrientes dos solos, o aumento do escoamento superficial da água da chuva e a diminuição da disponibilidade de água para as plantas. Esses problemas são mais severos em regiões com alta influência antropogênica nos ecossistemas (MORGAN, 2005; SAHA, 2004).

Neste contexto, o presente trabalho pretende determinar o potencial de perda de solos por erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Araçuaí por meio da Equação Universal das Perdas de Solo (USLE). Tal estudo pretende ser uma ferramenta de diagnóstico dos fatores que interferem no processo de perda de solos por erosão, visando o embasamento de políticas públicas que concilie produção sustentável com a geração de renda. O trabalho parte das hipóteses de que as variáveis da equação USLE, permitem mapear a erosão da bacia do rio Araçuaí, e que o manejo adotado nas propriedades rurais da área da bacia é o principal fator que acarreta a perda de solos e a capacidade produtiva das terras.



## 1.1 JUSTIFICATIVA

O solo é um recurso essencial para a vida na terra. É desse recurso que provém quase todos os alimentos que os animais consomem. Além disso, ele capta e infiltra a água da chuva abastecendo os lençóis subterrâneos, nascentes e mananciais, além de sustentar a biodiversidade (LEPSCH, 2010).

O solo, em sua relação natural com o meio ambiente, apresenta-se em equilíbrio harmônico. Quando o ser humano o utiliza de forma incorreta, acaba rompendo esse equilíbrio natural, deixando-o vulnerável a ação erosiva acelerada. A aceleração do ritmo do processo erosivo produz efeitos anormais no ambiente, os quais são facilmente visíveis na paisagem como a geração de voçorocas, pomares com árvores raquíticas e raízes expostas, queda de barreiras em estradas, caminhos profundos em pastagens, assoreamento de reservatórios de água, aumento da turbidez das águas, inundação de cidades, entre outros (LEPSCH, 2010).

A erosão hídrica tem causado a perda de milhões de toneladas de solos agricultáveis em todo o território brasileiro a cada ano. Tais perdas trazem sérios problemas aos agropecuaristas além de produzir consequências negativas para os ecossistemas e para o país (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005). De acordo com Silva *et al.* (2005), esse fenômeno tem contribuído para o empobrecimento e redução ou perda de sustentabilidade dos agro ecossistemas, decorrentes do carreamento do solo, água, nutrientes e carbono orgânico a ela associada.

O estudo da erosão dos solos permite direcionar as atividades humanas em busca de um uso mais sustentável (LOPES *et al.* 2011). A compreensão dos fatores que condicionam o processo erosivo em bacias hidrográficas é de grande importância para o planejamento e gestão, no que se refere ao embasamento de medidas de mitigação das perdas de solo e do carreamento de sedimentos (XAVIER *et al.*, 2013). As pesquisas básicas sobre o processo erosivo dos solos são fundamentais para subsidiar as práticas agrícolas conservacionistas e o planejamento ambiental (ROSS, 1994).

A erosão do solo não é apenas um problema agrícola. Ela pode ser associada a danos diversos ao meio ambiente em geral, ao meio social e a área econômica além de comprometer a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável (TELLES *et al.*, 2011).

A bacia hidrográfica do rio Araçuaí apresenta uma grande quantidade de agropecuaristas que utilizam as terras de forma tradicional sem levar em conta as recomendações básicas de manejo e uso adequado. Esse tipo de manejo é insustentável, uma vez que utiliza de práticas prejudiciais aos solos como o plantio morro abaixo, a queimada e a remoção de toda a cobertura vegetal. Esse fato tem provocado o empobrecimento da qualidade dos solos e conseqüentemente, comprometendo a subsistência dos habitantes.

Outro fato que deve ser destacado na área da bacia é a substituição das florestas nativas, principalmente o cerrado, por espécies exóticas de reflorestamento como o plantio de eucalipto. Essas culturas não protegem os solos como as florestas nativas o que favorece o processo erosivo.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Caracterizar a variação espacial do potencial de perda de solos por erosão hídrica laminar na bacia hidrográfica do rio Araçuaí.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- 1 - Quantificar e classificar a perda de solo na bacia do rio Araçuaí;
- 2 – Gerar mapas de cada um dos fatores da equação na perda de solos na bacia do rio Araçuaí.
- 3 - Fazer análise temporal da Erosividade;

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 MANEJO INTEGRADO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

As bacias hidrográficas, no contexto do planejamento do meio físico, são unidades de trabalho fundamentais em decorrência dos diferentes aspectos que as caracterizam, principalmente, no que se refere aos recursos naturais do solo e água e ao uso destes. Devido a esses aspectos, o manejo adequado das bacias hidrográficas consiste em uma série de ações que visam conciliar o uso dos recursos naturais com impactos mínimos ao ciclo hidrológico (MELLO e SILVA, 2013).

A hidrologia exerce papel central no que diz respeito ao manejo de bacias hidrográficas, uma vez que o entendimento da dinâmica da água é fundamental em muitos aspectos. Porém, se não houver o conhecimento e estudo das propriedades e características físicas dos solos e da cobertura vegetal das bacias, os programas de manejo terão pouco sucesso (MELLO e SILVA, 2013).

Os estudos que abordam o manejo de bacias hidrográficas necessitam de ferramentas que estão relacionadas à evolução da tecnologia como o geoprocessamento e o sensoriamento remoto, os quais determinam, com boa precisão, as distribuições espacial e temporal do uso atual do solo, bem como desmatamentos e queimadas (MELLO e SILVA, 2013).

### 2.2 ESTUDO DO SOLO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

A origem da palavra solo vem do latim *solum*, que significa chão. Essa palavra é de difícil definição e apresenta uma complexidade muito grande uma vez que é dependente do ponto de vista de quem o define (TROEH e THOMPSON, 2007).

De acordo com Lepsch (2010), o solo pode ser definido, do ponto de vista pedológico, como um corpo natural e tridimensional dinâmico que contém matéria e é resultado da ação dinâmica do clima e de organismos sobre um material de origem.

SANTOS *et al.* (2006) definem solo como coleção de corpos naturais, constituídos de partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por

materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais da Terra e contém matéria viva podendo ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas.

Em seu processo de formação, o solo é exposto à ação de um conjunto de fenômenos biológicos físicos e químicos que, quando combinados, permitem que uma rocha homogênea, pouco a pouco se transforme em um material heterogêneo e acumule-se em camadas diferenciadas, paralelas à superfície, sendo denominado perfil do solo (SANTOS *et al.*, 2006; TROEH e THOMPSON, 2007; LEPSCH, 2010).

A ação combinada dos processos de formação do solo ocorre de maneira diferenciada na superfície da Terra, possibilitando que um mesmo tipo de rocha origine diferentes tipos de solos (LEPSCH, 2010). Ainda na visão do autor, o solo é um dos principais recursos naturais da Terra e exerce funções ecológicas importantes.

A pedosfera, compartimento terrestre onde os solos são localizados, funciona como alicerce para o desenvolvimento da vida pois fornece macro e micronutrientes às algas clorofiladas que, por sua vez, funcionam como mediadoras entre a hidrosfera, litosfera, biosfera e atmosfera. Tais fatores influenciam na qualidade da água e do ar além de receber e processar os resíduos sólidos (LEPSCH, 2010).

Os estudos em hidrologia requerem uma atenção especial sobre os solos. Segundo Resende (2014), o levantamento pedológico é a base para os estudos hidrológicos, uma vez que é uma das primeiras etapas da caracterização fisiográfica e geomorfológica de uma bacia hidrográfica. Para Mello e Silva (2013), a distinção das classes de solo permite direcionar a forma como as práticas de manejo deverão ser implantadas, visando ao uso adequado do solo. Esta distinção permite corrigir problemas associados à erosão e cultivo de culturas enquadradas nos limites de cada solo, caracterizados pela classe de capacidade de uso ou aptidão agrícola.

### 2.3 EROSÃO DO SOLO

O homem, inserido em um contexto de produção em larga escala, é forçado a extrair das terras produtos acima da capacidade suporte dos mesmos, deixando-os vulneráveis à ação erosiva (RICHTER, 1998; VIEIRA SANTOS *et al.*, 2007).

A erosão do solo é definida como o processo de desagregação, transporte, e deposição de partículas de solo pela ação do vento, da água e de outros agentes (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005; MORGAN, 2005; WISCHMEIER e SMITH, 1978). Esses agentes agem na superfície terrestre quebrando as partículas de solo dispersando-as para regiões diferentes dos locais de origens, sendo que esse processo pode ser acelerado pela ação antrópica por meio de práticas de uso e manejo inapropriados (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005).

Segundo Bennett (1939), existe duas classes distintas de erosão: a erosão acelerada, advinda das atividades antrópicas e a erosão geológica ou natural. Para o autor, a primeira é caracterizada pelo alto poder destrutivo em curto intervalo de tempo, enquanto a segunda é um processo lento e contínuo da evolução da superfície terrestre. A erosão do solo, quando ocorre de forma acelerada, torna-se um problema ambiental no que se refere à ocupação para práticas agropecuárias e florestais, o que afeta sua capacidade produtiva.

O processo erosivo reduz a porosidade do solo, interferindo em sua capacidade de retenção e infiltração de água, aumentando o escoamento superficial, transporte de sedimentos e assoreamento de corpos de água (DURÃES e MELLO, 2016).

Outra forma de classificação da erosão é baseada no fator erosivo. Nessa classificação os principais agentes são: o vento, a água, o gelo, a neve, a vegetação, os animais e o homem. Do ponto de vista pedológico, os principais agentes erosivos são o vento e a água, devido aos seus potenciais destrutivos em grandes áreas e por causar grandes prejuízos (ZACHAR, 1982).

Em regiões tropicais, a erosão hídrica se configura como a principal forma de erosão. Nesses locais, os índices pluviométricos são mais elevados do que em outras regiões do planeta e as chuvas são mal distribuídas durante o ano, potencializando a ação erosiva (GUERRA *et al.*, 2005).

A erosão hídrica é causada por forças ativas, como as características das precipitações, a declividade do terreno e a capacidade do solo de absorver água; e por forças passivas, como a resistência à ação erosiva da água e densidade da cobertura vegetal (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005). Essa forma de erosão age no processo de desagregação e remoção de partículas do solo pela ação combinada do impacto das gotas de chuva e da ação do escoamento superficial sendo, portanto, um processo natural contínuo que

ocorre sempre que o agente erosivo se torna mais forte do que as forças de coesão das partículas (MORGAN, 2005).

Essa forma de erosão age no processo de desagregação e remoção de partículas do solo pela ação combinada do impacto das gotas de chuva e da ação do escoamento superficial sendo, portanto, um processo natural contínuo que ocorre sempre que o agente erosivo se torna mais forte do que as forças de coesão das partículas (MORGAN, 2005).

De acordo com Lepsch (2010), quando a água da chuva escorre pela superfície terrestre, na forma de escoamento superficial, pode desgastar o solo de formas diversas, dependendo da maior ou menor susceptibilidade à erosão do horizonte pela qual ela escoar.

Existem três formas de erosão associadas à erosão hídrica: erosão laminar, erosão em sulcos e erosão em voçorocas. A erosão laminar consiste em um processo de remoção uniforme da camada superior do solo. Trata-se de um desgaste imperceptível que ocorre na camada superficial do solo e que se não controlada com práticas de conservação pode evoluir para estágios mais avançados causando grandes prejuízos econômicos e ambientais (LEPSCH, 2010). É, portanto, um processo erosivo associado ao escoamento superficial em que não há a formação de canais definidos, ocorrendo a partir de precipitações que excedem a capacidade de infiltração dos solos (GUERRA, 2008). Esse tipo de erosão é comum em áreas agrícolas, onde os solos se apresentam desnudos em determinadas épocas do ano (VALLE JÚNIOR, 2008).

Os estudos de erosão hídrica contam hoje com sofisticados modelos de predição que, por se associar a técnicas de geoprocessamento, permitem a previsão de perdas de solo, o que possibilita a seleção das melhores práticas de manejo e controle dos recursos do solo mediante planejamento ambiental (VALLE JÚNIOR, 2008).

A erosão em sulcos resulta das irregularidades dos terrenos onde a água da chuva concentra as enxurradas. Essa concentração da água vai removendo o solo aos poucos, aprofundando os sulcos e agravando a perda de solos (LEPSCH, 2010). Esse tipo de erosão hídrica constitui-se na segunda fase evolutiva do processo físico da erosão hídrica do solo, que é marcada pela mudança da forma em que a água escoar pela superfície. Nesta fase, a água concentra-se em pequenas depressões da superfície dos solos chamados de sulcos de erosão desenvolvendo maior tensão de cisalhamento pelo aumento de espessura da mesma, o que eleva a capacidade do escoamento em desagregar o solo (CATALICE *et al.*, 2005).

Por fim, a erosão em voçorocas resulta do aprofundamento dos canais abertos pela erosão em sulcos. Trata-se da forma mais espetacular de erosão apresentando verdadeiros rasgos na superfície podendo chegar até o horizonte C dos solos, formando paredes quase verticais (LEPSCH, 2010).

## 2.4 MODELOS DE PREDIÇÃO DE EROSIÃO

Os modelos matemáticos de predição de erosão têm grande aplicação em ações de planejamento agrícola. Tais modelos descrevem em linguagem matemática os processos erosivos (VALLE JÚNIOR, 2008). Esses modelos vêm sendo desenvolvidos e aperfeiçoados para prever a magnitude das perdas de solo por erosão, visando criar ferramentas que possibilitam avaliar as perdas de solo e, assim, auxiliar no planejamento agrícola (AMORIM, 2010). Os modelos de predição de erosão do solo evoluíram no decorrer dos anos. De modelos empíricos, tais como a Universal Soil Loss Equation (USLE) e a Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), para modelos baseados em princípios teóricos, como o Water Erosion Prediction Project (WEPP) (AMORIM, 2010).

Segundo Pruski *et al.* (2006), as pesquisas sobre os processos erosivos ganharam importância no período compreendido entre os anos 1940 a 1954 no oeste EUA (Estados Unidos da América), quando as equações de perdas de solo, incluíram os efeitos do comprimento e declividade de encostas, das características do solo, das práticas conservacionistas e das condições de uso e manejo do solo. Entre 1954 e 1965 surgiu um novo modelo empírico de predição de erosão denominado Equação Universal da perda de solos (USLE), revisado e atualizado por Wischmeier e Smith (1978), que visava quantificar as perdas de solo pela ação da erosão hídrica.

A partir do início dos anos 1980, surgiram outros modelos de predição de erosão, como o, como o AGNPS (Agricultural Non Point Source Model), que simula o escoamento usando o procedimento do número de curvas do escoamento (CHRISTOFOLETTI, 1999). Outro modelo importante na predição da erosão é o EUROSEM (European Soil Erosion Model), designado para predizer a erosão em eventos individuais e para avaliar as medidas de proteção do solo. Este modelo simula o volume de precipitação pluvial por meio da queda direta da água da chuva, da drenagem pelas folhas e do escoamento pelo caule (SILVA, 2003).

Dentre os diversos modelos criados, destacam-se ainda o LISEM (Limburg Soil Erosion Model), cuja finalidade é o planejamento e conservação ambiental utilizando arquivos em formato raster que facilitam a aplicação em bacias hidrográficas e permitem o uso de dados gerados por sensoriamento remoto (SILVA, 2003).

Já o modelo WEPP (Water Erosion Prediction Project) é um modelo criado para aplicação em pequenas bacias hidrográficas e utiliza parâmetros distribuídos e simulação contínua, dividindo a bacia em células e canais, possibilitando a determinação espacial e temporal da perda de solos (DIAS, 2003).

#### **2.4.1 Equação Universal das Perdas de solo (USLE)**

A equação Universal das Perdas de solo (USLE) e sua versão revista (RUSLE) são os métodos mais aceitos e utilizados na predição de perdas do solo por erosão hídrica. Trata-se de modelos empíricos utilizados na estimativa da perda média anual de solo por erosão hídrica (WISCHMEIER e SMITH, 1978; RENARD, 1997). Esses modelos têm grande aceitação na avaliação da perda de solo da agricultura pelo fato de serem simples, de fácil utilização e apresentarem desempenho satisfatório (AMORIM, *et al.*, 2010). São os modelos mais eficientes na estimativa das perdas de solo no mundo e são utilizados em projetos agrícolas, planejamento e gestão ambiental (SOUZA C. *et al.* 2003; RUHOFF, 2006).

O modelo RUSLE é uma variação do modelo USLE, diferenciando-se apenas nas formas de determinação dos fatores da equação. A diferença está no termo Erosividade, o qual prevê o aporte de sedimentos, oriundo de pequenas e médias bacias hidrográficas em determinados exutórios de bacias (ARAÚJO JUNIOR, 2003).

Ambos os modelos USLE e RUSLE são amplamente utilizados na estimativa de perdas de solo por erosão, principalmente em regiões do Planeta onde existe uma grande disponibilidade de dados, em razão exigirem um pequeno número de informações quando comparados a modelos mais complexos e de serem amplamente conhecidos e estudados, podendo ser executados nos Sistemas de Informações Geográficas (DEMARCHI, 2012). A USLE permite prever a perda de solos a partir do produto de seis fatores: Erosividade (R), Erodibilidade (K), Comprimento de Rampa (L), Declividade (S), Uso e Manejo do Solo (C) e Práticas Conservacionistas (P) (ARAÚJO JUNIOR, 2003).



A USLE foi desenvolvida inicialmente em terras agrícolas, posteriormente foi adaptada para outros tipos de uso e ocupação de solos, incluindo áreas de construção urbana, locais de recreação, aterros, entre outros (WISCHMEIER e SMITH, 1978; RENARD, 1997). A expressão matemática da equação relaciona os principais fatores que influem na erosão hídrica (Equação 1).

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

Onde a letra A representa a perda de solo por erosão hídrica, em Ton ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>; R é o fator Erosividade, em MJmm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>; K é o fator Erodibilidade em Ton ha<sup>-1</sup> MJmm<sup>-1</sup>; L é o fator comprimento de rampa (adimensional) S é o fator declividade (adimensional); C é o fator uso e manejo (adimensional) e P é o fator práticas de conservação (adimensional).

Os fatores condicionantes do meio físico que interferem no processo de erosão hídrica R, K, L e S constituem o potencial natural de erosão (PNE), uma vez que, correspondem às perdas de solo em áreas destituídas de cobertura vegetal e sem qualquer intervenção antrópica (VALÉRIO FILHO, 1994). Já os fatores C e P, por sua vez, constituem os componentes antrópicos da equação e podem ser modificados pelos agricultores de modo a ampliar a proteção do solo contra os efeitos da erosão hídrica (OLIVEIRA F. G. *et al.*, 2015).

## 2.5 FATORES CONDICIONANTES DA EROSÃO HÍDRICA

### 2.5.1 Precipitação Pluvial – Fator R

A precipitação pluvial é um processo em que a umidade, presente na atmosfera, em função de condições termodinâmicas, precipita em forma de chuva, constituindo-se no principal componente de entrada de água na superfície terrestre (MELLO e SILVA, 2013). A precipitação líquida, em forma de chuva, é vital para a sobrevivência da vida na Terra, uma vez que as atividades humanas como a agricultura e o abastecimento público, são sensíveis às suas oscilações (MELLO e SILVA, 2013).

A ação da chuva em causar erosão é denominada Erosividade, fator R da USLE. Esse fator é descrito como uma interação entre a energia cinética das gotas de chuva e a

superfície do solo, sendo originalmente calculado a partir do produto entre a energia cinética total da chuva e a sua intensidade máxima em 30 minutos (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

Determinada em  $Mjmm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ , a Erosividade corresponde à capacidade erosiva da chuva em seu contato direto com a superfície do solo, sendo dependente das características físicas das precipitações, tais como: intensidade, duração, distribuição e tamanho das gotas (WISCHMEIER e SMITH, 1978; MELLO e SILVA, 2013).

A Erosividade é um parâmetro muito importante dentre aqueles que afetam a erosão do solo e, ao contrário dos outros fatores, como o relevo e características do solo, não podem ser alterados pela ação humana. Representa uma limitação ambiental natural que condiciona o uso e manejo da terra. No contexto das mudanças climáticas, o efeito da alteração das características da chuva na erosão do solo é uma das principais padrões nos estudos de conservação (ANGULO MARTÍNEZ e BEGUERÍA, 2009).

Em sua proposta original, o fator R é calculado para cada evento de chuva, necessitando para isso, de registros pluviográficos (WISCHMIER e SMITH, 1978). Esse tipo de dado, por ser de custo elevado, é escasso em várias partes do mundo inclusive no Brasil (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005). No entanto, Diversos estudos de correlação entre a intensidade máxima da precipitação, em diferentes durações (10, 20, 30 e 60 minutos) e a produção de sedimentos em parcelas experimentais apontaram que a melhor correlação é aquela que apresentava intensidade máxima em 30 minutos sendo esta, utilizada largamente na obtenção da Erosividade (MELLO e SILVA, 2013). Assim, quando os outros fatores da USLE/RUSLE são mantidos constantes, a erosão é proporcional ao valor do produto de duas características da chuva: sua energia cinética e sua intensidade máxima em 30 minutos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005).

Desse modo, é possível calcular a Erosividade a partir do produto da energia cinética das gotas de chuva e sua intensidade máxima em 30 minutos ( $EI_{30}$ ), obtida para eventos de chuvas individuais com intensidade superior a 10 mm/h por meio de registros pluviográficos (Equação 2).

$$EI_{30m} = EC \cdot I_{30} \quad (2)$$

Onde:  $EI_{30m}$  é o índice de Erosividade mensal em  $MJmm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ mês^{-1}$ , EC é a energia cinética das gotas de chuva e  $I_{30}$  é a intensidade máxima da precipitação em 30

minutos. A soma dos índices mensais de EI30 corresponde ao índice de erosão mensal (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

Diversos autores encontraram grande relação entre valores anuais de Erosividade com estimativas baseadas em dados pluviométricos anuais ou mensais (SILVA A., 2004; ANGULO MARTÍNEZ e BEGUERÍA, 2009), utilizando índices específicos, como o MFI (Índice de Fournier Modificado) (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

O MFI é boa alternativa para estimar a Erosividade média mensal em locais desprovidos de dados pluviográficos. Esse índice está associado à Erosividade por meio de uma equação empírica, obtida por cálculos de regressão para uma localidade que tenha dados pluviométricos (MELLO e SILVA, 2013). Para a obtenção do MFI é necessário que haja dados pluviométricos de pelo menos 10 anos consecutivos de registros, uma vez que depende das médias mensal e anual (MELLO e SILVA, 2013).

Lombard Neto e Moldenhauer (1992) desenvolveram um modelo utilizando dados pluviométricos mensais e anuais para a obtenção do índice de erosão médio anual (Fator R) para o município de Campinas, SP. Neste estudo, os autores encontraram forte correlação entre o coeficiente de chuva e as perdas de solo em terreno descoberto e em solos cultivados com a cultura do algodão.

Diversos estudos têm sido realizados para caracterizar a distribuição espacial regional da Erosividade (VIEIRA e LOMBARDI NETO, 1995; SILVA A., 2004; AQUINO, 2005; MELLO *et al.*, 2007; MEN *et al.*, 2008).

Uma importante forma de estudo da Erosividade é o uso de mapas de Erosividade. Esses mapas permitem a identificar o comportamento espacial da Erosividade, constituindo-se em uma importante ferramenta no contexto do manejo ambiental de regiões ou bacias hidrográficas, permitindo identificar áreas vulneráveis à erosão hídrica (FERRO *et al.*, 1999; MELLO e SILVA, 2013).

Segundo Mello e Silva (2013), o uso de mapas para a identificação do comportamento espacial da Erosividade constitui-se em uma ferramenta de grande utilidade no contexto do manejo ambiental de uma região ou bacia hidrográfica. Ainda na visão dos autores, a composição de mapas de perdas de solo a partir da Equação Universal de Perda de Solo com auxílio de SIGs, permite identificar as áreas mais vulneráveis ao processo erosivo o que auxilia os estudos práticos e aplicados.

### 2.5.2 Erodibilidade - Fator K

Erodibilidade é a propriedade do solo que representa a sua susceptibilidade ao efeito erosivo enquanto que o fator K representa a relação entre a perda de solo e a Erosividade. Os procedimentos adotados na determinação desse fator são efetuados em condições de parcela padrão, o qual é a unidade fundamental em pesquisas sobre erosão preconizada pela Equação Universal das Perdas de solo (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

O fator Erodibilidade depende de vários atributos do solo como: textura, teor de matéria orgânica, estrutura e permeabilidade (RESENDE, 1985). Tais propriedades fazem com que determinados tipos de solos sejam mais facilmente erodidos do que outros (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

De acordo com Bertoni e Lombard Neto (2005), o fator K é considerado a variável mais importante na predição da erosão e no planejamento do uso do solo, podendo ser definida como a quantidade de material que é removido por unidade de área quando os demais fatores determinantes da erosão permanecem constantes. Essa característica permite que, ainda que fatores como chuva, declividade, cobertura vegetal e práticas de manejo sejam as mesmas, existam diferenças entre as propriedades do solo que levam alguns solos a serem mais erodidos que outros.

As propriedades do solo que mais contribuem para explicar a variância da perda de solo são: textura, teor de matéria orgânica, estrutura, densidade, espaço poroso ocupado por ar, concavidade e convexidade da encosta e resíduos de cultura (WISCHMEIER e MANNERING, 1969).

Existem três métodos diferentes para a determinação do fator Erodibilidade. O primeiro, obtido em 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 é semelhante ao primeiro, porém determina o fator K por meio de chuva simulada (MEYER e McCUNE, 1958; WISCHMEIER e SMITH, 1978). No terceiro método, utilizam-se equações de regressão que contenham como variáveis independentes as propriedades físicas e químicas do solo, correlacionando-as com a erodibilidade (WISCHMEIER e MANNERING, 1969).

A estimativa da Erodibilidade depende da velocidade de infiltração da água no solo, da permeabilidade, da resistência à dispersão e salpicamento, as forças de transporte da

chuva e ao escoamento superficial (STEIN *et al.*, 1987). As propriedades do solo que afetam sua erodibilidade são aquelas que afetam a capacidade de infiltração, permeabilidade e capacidade máxima de armazenamento de água, bem como aquelas relacionadas ao efeito das forças de dispersão, salpico, abrasão, transporte pela chuva e escoamento (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005)

A textura do solo é um dos fatores de carácter físico que mais influenciam no processo erosivo. O tamanho das partículas e sua distribuição exercem grande influência no fator erodibilidade (FERREIRA, 1992). As partículas de solos de menores dimensões são mais facilmente removidas e transportadas pelos agentes do intemperismo, enquanto que as partículas maiores oferecem maiores resistências a essa situação (RESENDE, 1985). A matéria orgânica atua na modificação da estrutura do solo, melhorando as condições de arejamento e retenção de água (CORRECHEL, 2003).

A estrutura exerce uma influência importante no bom estado do solo. Tal atributo, através das propriedades físico-químicas da argila e de propriedades biológicas, atua na estabilização dos agregados. Quanto mais estáveis forem os agregados em água, maior será a permeabilidade e menor será a desagregação (CORRECHEL, 2003).

Vários trabalhos foram realizados na tentativa de se obter um melhor método para a determinação da Erodibilidade (DENARDIM, 1990; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005). Wischmeier e Smith (1978) propuseram um nomograma derivado de dados de solos do Meio Oeste dos Estados Unidos para a determinação do fator Erodibilidade. Eles adotaram as variáveis de teores de silte modificado (silte + areia muito fina), argila, matéria orgânica, estrutura do solo e permeabilidade do perfil do solo.

### **2.5.3 Formas do Relevo – Fator LS**

O estudo das formas de relevo que influenciam no processo de escoamento da água na superfície terrestre é fundamental para o entendimento e quantificação da erosão e da variabilidade das principais propriedades dos solos. A quantificação da erosão associada às formas de paisagem tem apresentado subsídios para a determinação de zonas específicas de manejo (SOUZA C. *et al.*, 2003).

O fator da USLE relacionado às formas de relevo é denominado fator topográfico (LS) o qual representa a relação esperada de perda de solo por unidade de área de um declive qualquer em relação às perdas de solo de uma parcela unitária de 25 m de comprimento de rampa e 9% de declive (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005). Esse fator determina os diferentes processos erosivos na superfície desde a forma laminar até a forma de voçorocas (STEIN, 1987).

O comprimento de rampa (Fator L) é à distância do ponto de origem da precipitação da gota de água até o ponto em que a mesma, integrada ao escoamento superficial, diminui a sua energia cinética e sedimenta em vertente de vales, ou quando vai de encontro a um canal definido, que pode fazer parte de uma rede de drenagem ou terraço (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Já o fator declividade (S), segundo Farinasso *et al.* (2006), caracteriza-se pelo ângulo ou o índice de inclinação do terreno.

Na tentativa de automatizar o processo de determinação do fator LS, várias metodologias têm sido propostas e implementadas fazendo surgir novos conceitos a respeito do tema. Um conceito que trouxe uma nova abordagem para a estimativa do comprimento de rampa é a área de contribuição, obtida a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) (FARINASSO *et al.*, 2006).

Um MDE é definido como qualquer representação quantitativa digital da variação contínua do relevo sobre o espaço, ou seja, um mapa de elevação, que pode ser utilizado para derivar diferentes atributos topográficos (WILSON e GALLANT, 2000). O uso dos MDEs tem tido grande importância na atualidade, sendo utilizado para a representação digital da variação contínua de qualquer fenômeno geográfico que ocorre na superfície da terra (FITZ, 2008; CHAGAS *et al.*, 2010).

A geração dos MDEs necessita de uma base de dados consistente. No Brasil a fonte de dados mais comum são as curvas de nível e, de forma complementar, a rede hidrográfica, obtidas em cartas topográficas, principalmente aquelas elaboradas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Porém, as escalas disponíveis são inadequadas para estudo detalhados e, por esse motivo, dados oriundos de imagens de sensoriamento remoto estão sendo cada vez mais utilizados para a geração desses modelos (CHAGAS *et al.*, 2010).

Em razão de a concepção original do comprimento de rampa apresentar várias limitações, Moore e Burch (1986) propuseram uma adequação da variável área de

contribuição, a qual permite determinar os processos erosivos advindos do fluxo laminar sobre declives com mais precisão. Posteriormente, Desmet e Govers (1996) propuseram um cálculo do fator L, baseado nas equações de Foster e Wischmeier (1974). No Brasil destacam-se os trabalhos de Tavares (1986) e Costa (2005), que consideraram o comprimento médio das vertentes como extensão do percurso superficial.

#### **2.5.4 Uso, Manejo e Práticas Conservacionistas - Fator CP**

O uso antrópico no meio ambiente intensifica os processos erosivos. Tais práticas modificam as condições naturais da cobertura vegetal e as propriedades dos solos compactando-os e dificultando o processo de infiltração de água, levando ao aumento do escoamento superficial e do carreamento de partículas (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

A cobertura vegetal interfere diretamente no processo erosivo, pois contribui para a redução do impacto das gotas de chuva no solo, e constitui a proteção natural do terreno contra os processos erosivos. As práticas agrícolas, em geral, aumentam a susceptibilidade do solo à erosão. Entretanto, os níveis são diferenciados quanto ao tipo de cultivo e às técnicas utilizadas (NUNES, 2013). O processo erosivo é agravado pelas alterações rápidas na cobertura vegetal e tipo de manejo adotado (Rodrigues, 1984). Mudanças nas condições naturais de forma descontrolada no meio ambiente são as principais causas do processo erosivo em terras agrícolas (TOMAZONI *et al.*, 2005).

Os fatores da USLE relacionados ao uso e ocupação do solo e as práticas conservacionistas são representados pelas letras C e P, respectivamente. Tais fatores estão diretamente relacionados às alterações provocadas pelo homem no ambiente (WISCHMEIER e SMITH, 1978; BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

O fator uso e manejo do solo (C) é a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em determinadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto. Por outro lado, o fator Práticas conservacionistas (P) é a relação entre a intensidade esperada de perdas de solo por erosão com determinada prática conservacionista e a intensidade de perdas verificada quando a cultura é plantada no sentido de declive (SALOMÃO, 1999). Ambos os fatores C e P se caracterizam por serem variáveis

inter-relacionadas, o que permite analisá-las em conjunto em ambientes SIG (STEIN *et al.*, 1987).

O uso de imagens de sensoriamento remoto e técnicas de sistemas de informações geográficas constituem-se em importantes instrumentos para a avaliação de alterações ao meio ambiente, principalmente na relação do uso e ocupação do solo (FREIRE SANTANA *et al.*, 2014). A utilização de técnicas com o uso de SIGs e sensoriamento remoto tem alcançado resultados satisfatórios, consistentes para o monitoramento e gerenciamento dos recursos naturais (SOUZA J. *et al.*, 2016).

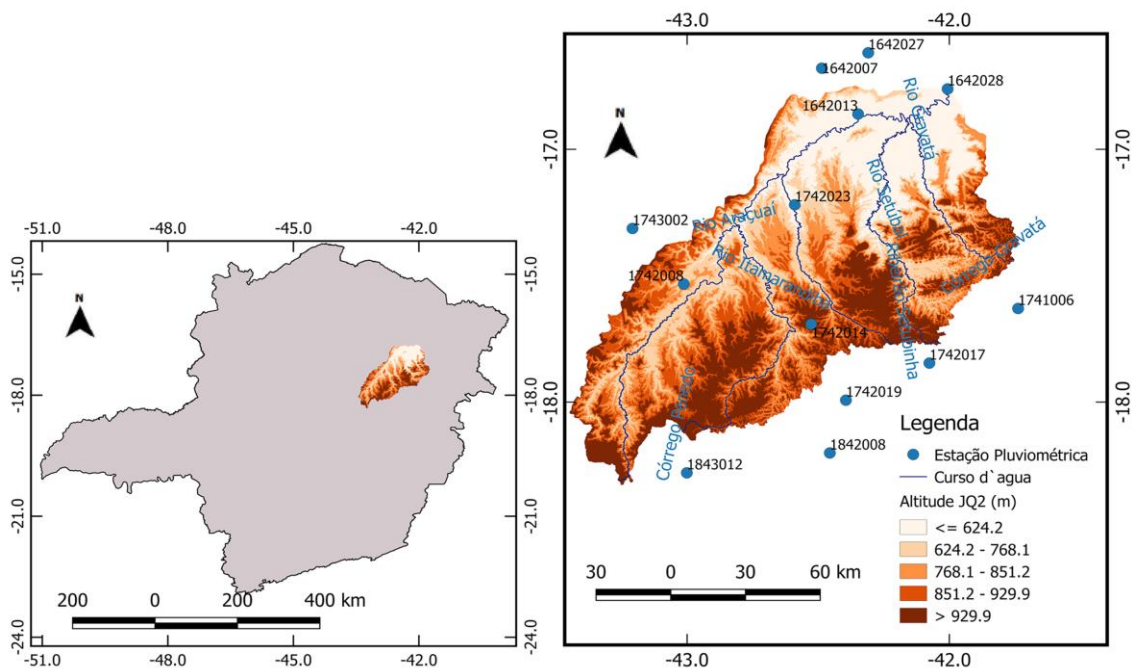


### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia do rio Araçuaí está localizada na região Nordeste de Minas Gerais (Mesorregião do Vale do Jequitinhonha), entre os paralelos 16°40'S e 18°20'S e meridianos 41°50'W e 43° 25'W (MAPA 1) drenando uma área de 16.273 km<sup>2</sup>. Nessa área abrange 25 municípios onde vive uma população estimada de 311.000 habitantes (IGAM, 2016).

**Mapa 1:** Localização da bacia do rio Araçuaí no estado de Minas Gerais.



A bacia está inserida na Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH). Denominada de JQ2, a bacia é uma das 36 unidades territoriais destinadas à aplicação da Política de Recursos Hídricos no Estado de Minas Gerais (IGAM, 2010).

O rio Araçuaí, principal curso de água da bacia, apresenta vazão média de 91,81 m<sup>3</sup>/s representando a maior vazão de todos os afluentes do Rio Jequitinhonha (EUCLYDES *et al.*, 2011).

### 3.1.1 Aspectos Físicos

#### 3.1.1.1 Clima

O clima da bacia do Araçuaí é Tropical Continental de Transição, com áreas úmidas nas nascentes e tendência a semiárido na foz. Os índices pluviométricos variam de 700 a 1400 mm anuais. O trimestre mais chuvoso é novembro, dezembro e janeiro, nos quais apresentam valores entre 400 e 750 mm o que representa 49 a 59 % do valor precipitado. Em contrapartida, os três meses mais secos são junho, julho e agosto, com valores entre 8 e 100 mm, concentrando entre 1 e 25% das chuvas (PEREIRA *et al.*, 2000).

A região nordeste de Minas Gerais, onde se localiza a bacia em estudo, possui um déficit hídrico entre 100 a 700 mm, com taxa de evapotranspiração de 900 a 1300 mm. Os excedentes possuem valores entre 0 e 300 mm, da foz em direção às nascentes, de dezembro a janeiro (PEREIRA *et al.*, 2000).

De acordo com classificação de Köppen, que leva em conta fatores como relevo, regime de chuvas, temperatura, o tipo de clima da bacia do rio Araçuaí é do tipo Aw com temperaturas elevadas, chuva no verão, seca no inverno e temperaturas médias do mês mais quente superior a 20°C e mínimas de 18°C para o mês mais frio (IGAM, 2010).

#### 3.1.1.2 Geologia e Geomorfologia

A bacia do rio Araçuaí localiza-se na borda do Cráton do São Francisco com uma pequena parte contida na Província Costeira (DE ALMEIDA, 2017). O Cráton do São Francisco tem a maior parte de sua área coberta por metassedimentos com idades que vão do Paleoproterozóico ao Neoproterozóico e sedimentos oriundos da era Cenozóica, sendo que a maior parte da cobertura proterozóica da bacia do rio Araçuaí apresenta-se na forma dobrada, devido ao efeito da zona de deformação da orogênese brasileira, que localiza-se às margens do Cráton e define o seu contorno (UHLEIN, 1991).

Na área da bacia hidrográfica, observa-se uma predominância de xistos, quartzitos e rochas calco silicatadas, granitos, gnaisses e pegmatitos as quais pertencem à Formação

Salinas do Grupo Macaúbas, supergrupo São Francisco além de coberturas detríticas cenozoicas da Formação São Domingos (PEDROSA SOARES e SAADI, 1989).

O grupo Macaúbas tem sua origem no Neoproterozóico e localiza-se na bacia, em afloramentos principalmente nos vales e depressões do rio Araçuaí e seus principais afluentes sendo constituído, da base ao topo, pelas Formações Salinas, Chapada de Acauã e Nova Aurora (PEDROSA SOARES, 1996).

De acordo com Abreu Lima *et al.* (2016) a Formação Salinas, apresenta em suas propriedades físicas, um pacote de quartzo mica xistos intercalados com rochas cálcio silicatadas, biotita, quartzitos, xistos grafitosos e metaconglomerados. Ainda na visão dos autores, a referida formação apresenta associações de fácies sedimentares de plataforma, talude e bacia que caracterizam sedimentação desde plataforma rasa a turbidítica sendo que as últimas evidenciam depósitos de águas relativamente rasas e profundas, em ambiente de leque submarino.

Para Gradim *et al.* (2005), os xistos verdes na região do Alto rio Araçuaí, que se prolongam em direção norte, pertencem ao magmatismo básico da abertura da bacia Macaúbas, com no máximo em torno de 1,16 Ga (Giga Ano) de idade.

No que se refere aos aspectos geomorfológicos a bacia do rio Araçuaí compreende três feições principais: as serras, localizadas ao sul, as chapadas, predominantes na margem esquerda do rio Araçuaí e as depressões, que aparecem nas cotas de 300 a 600 metros de altitude (SILVA L., 2002).

A região da bacia onde situa as serras é composta pela Serra do Espinhaço a qual apresenta cotas altimétricas de 1000 a 1300 metros ultrapassando, em Diamantina, setor sul, os 1600 metros. Essa Serra é formada, predominantemente, por quartzitos do Supergrupo Espinhaço e, subordinadamente, filitos, xistos e anfibolitos com idades Paleo a Mesoproterozóico. O Supergrupo Espinhaço apresenta extensos aquíferos fraturados que contribuem para a formação das nascentes dos rios Jequitinhonha e Araçuaí (SILVA L., 2002; DINIZ *et al.*, 2001).

Na região sudeste da bacia as serras são bordejadas por planaltos constituídos por granitos e gnaisses da faixa de dobramentos brasileiros datadas como sendo da era Arqueozóica. Nessa faixa localizam-se as nascentes de diversos afluentes do rio Araçuaí em cotas altimétricas entre 600 e 800 m de altitude (DINIZ *et al.*, 2001).

A região de chapadas é constituída de sedimentos detríticos do Cenozoico e apresenta 800 a 1200 metros de altitude. As chapadas são as formas predominantes do relevo da margem esquerda do rio Araçuaí. As chapadas que constituem a Formação São Domingos correspondem a pediplanação sul-americana, são cobertas por sedimentos detríticos cenozoicos (DINIZ *et al.*, 2001).

A cobertura cenozóica presente nas chapadas é formada por sedimentos detríticos laterizados, porosos e permeáveis e constituem importantes aquíferos freáticos. Estes sedimentos estão sobrepostos às rochas do Grupo Macaúbas, do Supergrupo São Francisco, datadas como sendo do Neoproterozóico, e constituídas por quartzitos, quartzo-xistos, meta diamictitos, filitos e xistos verdes (DINIZ *et al.*, 2001).

No que se refere às regiões de depressões, registra-se a presença de rochas metamórficas Neoproterozóicas do grupo Macaúbas, em altitudes de 300 a 800 metros (DINIZ *et al.*, 2001; SILVA L., 2002).

### 3.1.1.3 Solos da Bacia do Rio Araçuaí

Os principais tipos de solos encontrados na bacia do são Argissolo Vermelho e o Argissolo Vermelho Amarelo sendo utilizados principalmente para a implantação de pastagens, reflorestamento e cultivo (SILVA L., 2002).

De acordo com o mapa de solos do Brasil (IBGE-EMBRAPA, 2001), os solos da região são classificados como: Argissolos Vermelho e Vermelho Amarelo; Latossolos Vermelho e Vermelho Amarelo; Cambissolo Háplico e Neossolo Litólico.

Os Argissolos vermelhos são solos rasos a profundos e bem a moderadamente drenados. O horizonte A apresenta-se na forma moderada, com textura variável, em devido a localização da rocha mãe, e frequentemente, com mudança textural abrupta. São solos de bom potencial produtivo, excetuando aqueles localizados em regiões que apresentam período seco prolongado.

Os Argissolos Vermelho Amarelos são solos profundos a pouco profundos, bem a moderadamente drenados, ocorrendo ocasionalmente solos rasos, com transição abrupta. O horizonte A é quase exclusivamente moderado com textura varia que varia em função da localização e da rocha mãe. Os Latossolos vermelhos são solos profundos e bem drenados,

decrementemente álicos, distróficos e eutróficos com horizonte A moderado, textura média, argilosa e muito argilosa em relevo plano e suave ondulado. As classes de fertilidade correspondentes são muito alto e muito baixo para os solos álicos, alto e muito baixo para os distróficos e muito baixo a baixo e muito alto a alto para os eutróficos.

Os Latossolos Vermelho Amarelos são solos minerais, profundos, bastante intemperizados e normalmente bem drenados; caracterizados por apresentar um horizonte B latossólico de cores vermelhos amarelados, podendo se apresentar mais vermelhas ou mais amarelas, na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B, inclusive BA.

Os Cambissolos Háplicos são solos minerais, pouco profundos, bem drenados, medianamente desenvolvidos, e se apresentam com uma sequência de horizontes A, Bi e C, sendo que a espessura do horizonte Bi não ultrapassa 18 cm (Da SILVA *et al.*, 2002).

Os Neossolos são solos rasos e baixa taxa de infiltração de água. São solos novos, em processo de formação e são localizados em áreas de relevo ondulado ou muito ondulado.

Os solos da área apresentam diferentes graus de limitação em relação aos parâmetros de avaliação da aptidão agrícola como deficiência de fertilidade, deficiência de água, excesso de água, impedimento à mecanização e susceptibilidade à erosão. Esses solos, de acordo com suas limitações associadas aos níveis de manejo empregados, apresentam diferentes classes de aptidão agrícola (IGAM, 2010).

#### 3.1.1.4 Vegetação

A Bacia Hidrográfica do rio Araçuaí apresenta três tipos principais de vegetação natural: floresta tropical subcaducifólia, representada por matas pluviais no alto curso; floresta tropical caducifólia não espinhosa, representada pelas matas de cipós nas altas vertentes da Serra do Espinhaço ao sul da Bacia; e a caatinga no baixo e médio curso (PLANVALE, 1997). No que se refere a distribuição no território da bacia, a vegetação da área é composta por 47,7% de cerrados, caatingas, e matas ciliares, distribuídos por toda a bacia e campos de altitude localizados nas cotas de 1200 a 1650 metros; 23,9% de pastagens, localizadas no baixo curso do rio Araçuaí e em altitudes menores que 300 metros e 14,0 % de reflorestamento, nas chapadas (SILVA L., 2002).

De acordo com IGAM (2010), a bacia hidrográfica do rio Araçuaí encontra-se relativamente bem preservada com cerca de 69,9% da área da bacia apresentando cobertura vegetal nativa, marcada por cerrado, campo cerrado, além de florestas decíduais e semidecíduais. Porém as áreas anteriormente ocupadas por vegetação nativa têm sido substituídas por florestas de eucaliptos para a produção de carvão (DINIZ *et al.*, 2001). As florestas decíduais aparecem com mais frequência nos municípios de Chapada do Norte, Berilo, Francisco Badaró, Jenipapo de Minas, Virgem da Lapa e Araçuaí. As florestas semidecíduais ocorrem na parte sul da bacia nos municípios de Felício dos Santos, São Gonçalo do Rio Preto, Senador Modestino Gonçalves, e Itamarandiba. Já as regiões de Cerrado e campo cerrado se dispersam por toda a área da bacia, principalmente na região central. As áreas urbanas são representadas por pequenas cidades as quais representam aproximadamente 0,23% do total da área com pouca expansão horizontal e boa parte dos centros urbanos limitados por uma topografia acidentada (IGAM, 2010).

Quanto ao uso antrópico, a bacia apresenta cerca de 26,89% do seu território ocupado por pastagens ou florestas plantadas, e em menor proporção por áreas de cultivo (IGAM, 2010).

### **3.1.2 Aspectos Socioeconômicos**

Localizado no Vale do Jequitinhonha, a bacia do rio Araçuaí é uma das mais pobres do Estado de Minas Gerais e uma das mais pobres do mundo. A região convive com muitos problemas socioeconômicos os quais são de extrema importância no que se refere às alternativas de sobrevivência da população residente (SILVA L., 2002). A região tem a agricultura como principal atividade econômica. Esta atividade gera muitos impactos ambientais como o desmatamento, a erosão dos solos, a poluição e a contaminação. Por esse motivo os estudos abordando a sustentabilidade se faz necessário (SILVA L., 2002).

Desde a década de 1970 a região desafia os mineiros, época em que se começaram a perceber as grandes diferenças socioeconômicas em relação a outras regiões de Minas Gerais. Tal fato serviu de base para que a região fosse concebida como um lugar de pobreza e abandono, carente de ajuda de programas públicos de combate à pobreza oriundos do poder público (RIBEIRO *et al.*, 2007).

Os programas de governos surgidos a partir desse momento até os anos 2000, na área de desenvolvimento rural e elevação de renda para os ciclos de secas e mudanças de governos surgiram poucos efeitos, com a permanência dos problemas identificados na década de 1970 (RIBEIRO *et al.*, 2007).

De acordo com Galizoni *et al.* (2016) a região é caracterizada pela predominância de unidades familiares na agricultura, posse da terra pulverizada, baixo dinamismo econômico, alta taxa de migração tanto sazonal quanto definitiva e agricultura extrativista baseada em um sistema de pousio.

As famílias residentes na região vivem em agrupamentos de casa e as comunidades onde estão inseridas são denominadas pelos nomes dos córregos os quais recebem nomes de algum santo, árvore, animal, descrições geográficas, denominações de fatos históricos ou, ainda, jocosos. Essas comunidades rurais na maior parte das vezes são constituídas de conjuntos de parentescos e de vizinhança na junção de córregos e grotas (GALIZONI *et al.*, 2016).

A bacia apresenta baixa densidade populacional com população distribuída ao longo dos cursos fluviais tendo a agropecuária e a silvicultura como principais atividades econômicas. Esse sistema de produção atrai pouca mão de obra o que força a população local a migrar para outras regiões do país a procura de emprego (PLANVALE, 1997).

### 3.2 METODOLOGIA DA PESQUISA

O trabalho consiste na aplicação da Equação Universal das Perdas de Solo (USLE) para a bacia hidrográfica do rio Araçuaí por meio do SIG QGIS (Quantum Gis) versão 2.16 e dados públicos disponíveis. Esse programa permitiu o processamento dos dados e elaboração de mapas contendo os valores de cada fator da equação: Erosividade; Erodibilidade, Fator Topográfico; uso e manejo do solo e práticas conservacionistas, conforme equação 3.

$$A = R.K.LS.CP \quad (3)$$

Onde, A representa o potencial de perda de solos em. R é a Erosividade em MJmm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. K é a Erodibilidade em Ton ha<sup>-1</sup>MJmm<sup>-1</sup>, LS é o Fator Topográfico (adimensional) e CP é o Fator Uso, Manejo do Solo e as Práticas Conservacionistas adotadas(adimensional).

As etapas da quantificação, bem como os métodos utilizados para a predição da perda de solos por erosão hídrica na bacia do rio Araçuaí estão descritas a seguir:

### 3.2.1 Erosividade

A Erosividade foi obtida mediante a análise de dados de 14 estações pluviométricas com dados diários de precipitação, situadas na área de influência da bacia do rio Araçuaí, ou mesmo em interior (Tabela 1). Esses dados estão disponíveis no site Hidroweb da Agência Nacional de Águas (BRASIL, 2016).

Os critérios para a escolha das estações pluviométricas utilizados no trabalho foram a proximidade destas com o território da bacia e a existência de séries históricas ininterruptas entre janeiro de 1996 a dezembro de 2015, de modo a incluir 20 anos de registros anuais o que, segundo Wischmeier e Smith (1978), é o período ideal para a obtenção da Erosividade.

**Tabela 1: Estações Pluviométricas Utilizadas no trabalho.**

| REGISTRO ID | CÓDIGO  | NOME                  |
|-------------|---------|-----------------------|
| 1452        | 1843012 | Rio Vermelho          |
| 1445        | 1842008 | Santa Maria do Suaçuí |
| 1450        | 1843003 | Mendanha              |
| 1337        | 1742019 | Água Boa              |
| 1336        | 1742017 | Malacacheta           |
| 1335        | 1742014 | Capelinha             |
| 1328        | 1741006 | Ladainha              |



|      |         |                             |
|------|---------|-----------------------------|
| 1334 | 1742008 | Carbonita                   |
| 1343 | 1743002 | Vila Terra Branca (Jusante) |
| 1340 | 1742023 | Minas Novas                 |
| 1233 | 1642013 | Pega                        |
| 1237 | 1642028 | Tira                        |
| 1231 | 1642007 | Porto Mandacaru             |
| 1236 | 1642027 | Barra Do Salinas            |

---

O cálculo da Erosividade foi obtido por meio da relação entre a Erosividade média da chuva, em escala mensal, e o índice de Fournier modificado (MFI), conforme Renard e Freimund (1994) (Equação 4):

$$MFI = \frac{PM^2}{Pa} \quad (4)$$

Nessa equação, MFI representa o índice de Fournier Modificado;  $PM^2$  é a média mensal de precipitação elevada ao quadrado; e  $Pa$  é precipitação média anual (mm).

Após a determinação dos MFIs, procedeu-se a execução dos cálculos dos índices de Erosividade mensal  $EI30_m$  conforme Oliveira F. P. *et al.* (2009), o qual consiste na aplicação da equação 5:

$$EI30_m = 121,385 \cdot (MFI_m)^{0,7982} \quad (5)$$

Onde,  $EI30_m$  é o índice de Erosividade mensal em  $Mjmm \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$  e  $MFI_m$  é o índice de Fournier Modificado.

A partir dos  $EI30_m$  calculou-se a Erosividade média anual de cada estação pluviométrica em estudo pela soma dos índices dos respectivos meses. Tendo obtido os índices de Erosividade anual das 14 estações, inseriu-se esses valores em tabela de atributos do arquivo vetorial da bacia do rio Araçuai contendo as estações e interpolou-os no algoritmo *interpolation* do QGIS com o método Peso Inverso da Distância (IDW), o qual consiste na

aplicação da média ponderada pelo inverso da distância entre as estações pluviométricas e as localidades vizinhas (MELLO e SILVA, 2013).

O resultado da interpolação dos dados de Erosividade das 14 estações pluviométricas analisadas, foi o mapa de Erosividade da região de influência das estações. Esse mapa foi, posteriormente, recortado com uma camada máscara da bacia do rio Araçuaí.

Para melhor entender a Erosividade na bacia do rio Araçuaí, classificou-se o fator R em cinco classes de acordo com os critérios estabelecidos por Carvalho (2008), representados na Tabela 2.

**Tabela 2: Classes para a interpretação da Erosividade anual.**

| <b>EROSIVIDADE<br/>(Mjmm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>)</b> | <b>CLASSE DE EROSIVIDADE</b> |
|--|------------------------------|
| R ≤ 2452   | Erosividade Fraca            |
| 2452 < R ≤ 4905  | Erosividade Média            |
| 4905 < R ≤ 7357  | Erosividade Média Forte      |
| 7357 < R ≤ 9810  | Erosividade Forte            |
| R > 9810   | Erosividade Muito Forte      |

**Fonte:** Adaptado de Carvalho (2008).

### **3.2.2 Erodibilidade**

Para a obtenção da erodibilidade dos solos da bacia do rio Araçuaí, utilizou-se o mapa de solos do Brasil (IBGE-EMBRAPA, 2001) e valores de erodibilidade das classes de solos semelhantes aos encontrados na bacia, disponíveis na literatura.

Após proceder o *download* do mapa de solos do Brasil, executou-se o recorte da área de estudo, com uma camada máscara em formato SHP, em ambiente QGIS e inseriu-se os dados de erodibilidade das classes, na tabela de atributos do mapa. Os valores de

erodibilidade utilizados foram obtidos dos trabalhos de Mannigel *et al.* (2002) e Farinasso *et al.*(2006) (Tabela 3).

**Tabela 3: Valores de erodibilidade dos solos da bacia hidrográfica do rio Araçuaí.**

| CLASSE DE SOLO             | FATOR K | FONTE                          |
|----------------------------|---------|--------------------------------|
| Argissolo Vermelho Amarelo | 0,047   | Farinasso <i>et al.</i> (2006) |
| Cambissolo Háptico         | 0,049   | Farinasso <i>et al.</i> (2006) |
| Latossolo Vermelho Amarelo | 0,011   | Mannigel <i>et al.</i> (2002)  |
| Neossolo Litólico          | 0,036   | Farinasso <i>et al.</i> (2006) |
| Argissolo Vermelho         | 0,017   | Mannigel <i>et al.</i> (2002)  |
| Latossolo Vermelho         | 0,018   | Farinasso <i>et al.</i> (2006) |

**Fonte:** Mannigel *et al.*(2002); Farinasso *et al.* (2006).

Para uma melhor visualização dos dados de erodibilidade, classificou-se o fator K conforme Foster *et al.* (1981) ampliada por Mannigel *et al.* (2002), cujas classes são apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4: Classes de Erodibilidade do Solo.**

| CLASSES DE ERODIBILIDADE | VALORES (Ton ha <sup>-1</sup> MJmm <sup>-1</sup> ) |
|--------------------------|--|
| Muito Baixo              | ≤ 0,0090   |
| Baixo                    | 0,0090 e 0,0150                                    |
| Médio                    | 0,0150 e 0,0300                                    |
| Alto                     | 0,0300 e 0,0450                                    |
| Muito Alto               | 0,0450 e 0,0600                                    |
| Extremamente Alto        | ≥ 0,0600   |

Adaptado de Mannigel *et al.* (2002).

### 3.2.3 Fator Topográfico

Para a obtenção do fator topográfico (Fator LS) utilizou-se um Modelo Digital de Elevação (MDE), derivado de imagens do Satélite Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) do Serviço Geológico dos Estados Unidos disponíveis no site *Earth Explorer* (USGS, 2016).

As imagens selecionadas, disponíveis para a área de estudo apresentam resolução espacial de 30 metros em 1 arco de segundos global. O processamento dessas imagens foi executado no software QGIS 2.16. Essa etapa consistiu na construção de um mosaico das respectivas imagens, recorte da área da bacia em estudo estudo com uma camada máscara da bacia.

Após o processamento das imagens, gerou-se o mapa do fator topográfico por meio do algoritmo *r.watershed*, disponível no QGIS o qual, gera parâmetros hidrológicos para bacias hidrográficas a partir de MDEs (QGIS, 2016).

Para melhor entender o Fator LS da bacia do rio Araçuaí, utilizou-se a classificação da declividade proposta pela Empresa Brasileira de Agropecuária (EMBRAPA) no ano de 1979 (EMBRAPA, 1979). Essa metodologia classifica os níveis de declividade em seis classes, como pode ser visto na Tabela 5.

**Tabela 5: Classes de Declividade.**

| CLASSES DE DECLIVIDADE | LIMITES PERCENTUAIS (%) |
|------------------------|-------------------------|
| Plano                  | 0 - 3                   |
| Suave ondulado         | 3 - 8                   |
| Ondulado               | 8 - 20                  |
| Forte Ondulado         | 20 - 45                 |
| Montanhoso             | 45-75                   |
| Escarpado              | >75                     |

Fonte: EMBRAPA (1979).

### 3.2.4 Fator Uso, Manejo e Práticas Conservacionistas

Para a obtenção do fator uso, manejo e práticas conservacionistas (Fator CP) utilizou-se imagens do satélite *LANDSAT-8* nas órbitas 217-072, 217-073 e 218-072 disponíveis gratuitamente no site Earth Explorer (2015). As imagens utilizadas possuem resolução espacial de 30 m, composição Colorida RGB das bandas 6-5-4, as quais correspondem à composição Landsat-5 RGB 5-4-3. Essas imagens, após serem baixadas, foram pré-processadas, em ambiente QGIS, aplicando-se o recorte com camada máscara da área de estudo, construção de um mosaico e correção radiométrica. O resultado do pré-processamento foi a obtenção de uma única imagem, em formato GeoTiff, da área de estudo.

Na etapa de classificação da imagem obtida, utilizou-se a técnica da classificação supervisionada por meio do algoritmo Máxima Verossimilhança. Essa ferramenta é parte integrante do plugin SCP (*Semi-Automatic Classification Plugin*) a qual já vem instalada na Versão 2.16 do QGIS (CONGEDO, 2016).

Antes da classificação propriamente dita, identificou-se, na área da bacia, as seguintes classes de uso e ocupação do solo e práticas conservacionistas: água, solo exposto, floresta, cerrado, pastagem e silvicultura. Essas classes foram utilizadas para a obtenção de amostras de treinamento. O resultado da classificação foi a geração de um mapa, em formato GeoTiff, contendo as classes de uso e ocupação do solo da bacia do rio Araçuaí. Classes como áreas urbanas e afloramento rochoso não foram considerados devido a suas pequenas dimensões na área da bacia.

A etapa de pós-processamento da imagem classificada consistiu na reclassificação da referida imagem com valores de CP disponíveis na literatura (SILVA A., 2004; FARINASSO *et al.*, 2006; MARTINS *et al.*, 2010). Para isso utilizou-se o algoritmo *reclass* do software QGIS 2.16 (Tabela 6).

**Tabela 6: Valores de CP condições de cobertura e uso do solo na Bacia Hidrográfica do rio Araçuaí-MG.**

| CLASSE CP    | FATOR CP | FONTE                        |
|--------------|----------|------------------------------|
| Água         | 0,0000   | Martins <i>et al.</i> (2010) |
| Solo Exposto | 1,0000   | Martins <i>et al.</i> (2010) |
| Floresta     | 0,00013  | Martins <i>et al.</i> (2010) |

|              |        |                                |
|--------------|--------|--------------------------------|
| Cerrado      | 0,0420 | Farinasso <i>et al.</i> (2006) |
| Pastagem     | 0,0250 | Silva A. (2004)                |
| Silvicultura | 0,0026 | Martins <i>et al.</i> (2010)   |

---

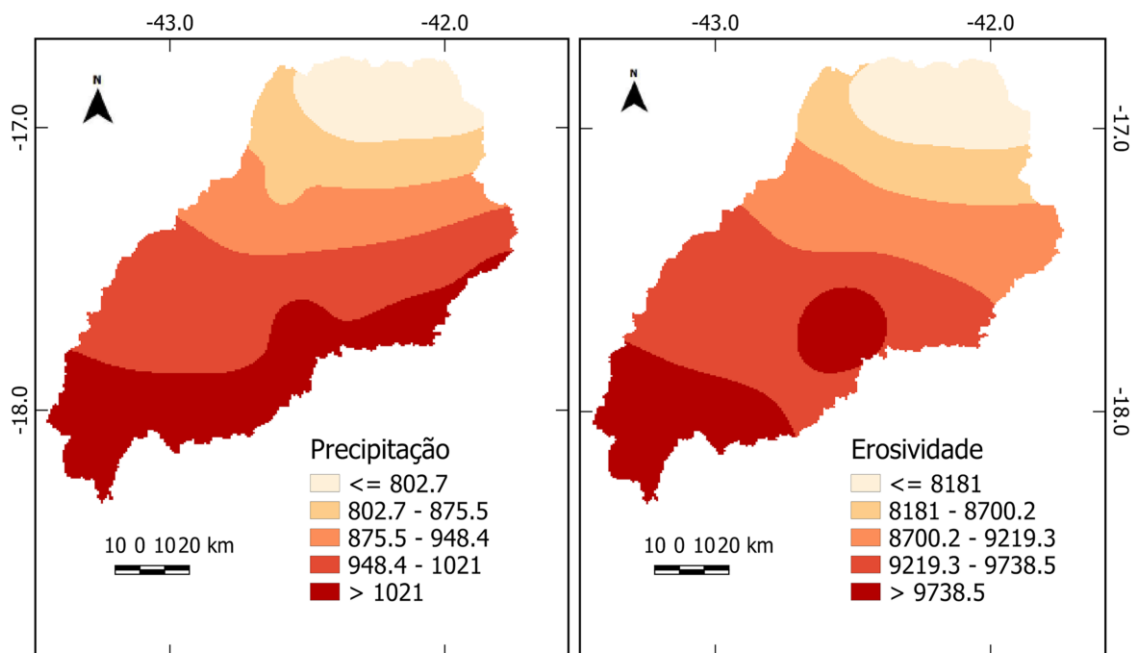
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 EROSIVIDADE

A Erosividade média anual variou pouco no território da bacia do rio Araçuaí. O valor mínimo encontrado foi de 7118,6 MJmm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na estação 1642028 em Araçuaí-MG, enquanto que o máximo foi de 10638,4 MJmm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na estação 1843003 em Mendanha, MG. Também foram nessas estações que encontrados os menores e maiores totais pluviométricos, ou seja, o valor mínimo foi de 677,5 mm na estação 1642028 e máximo de 1184,63 mm na estação 1843003.

Os resultados da interpolação dos dados de Erosividade e precipitação pluviométrica, das estações pluviométricas em estudo estão representados nos mapas de precipitação e Erosividade (MAPA 2).

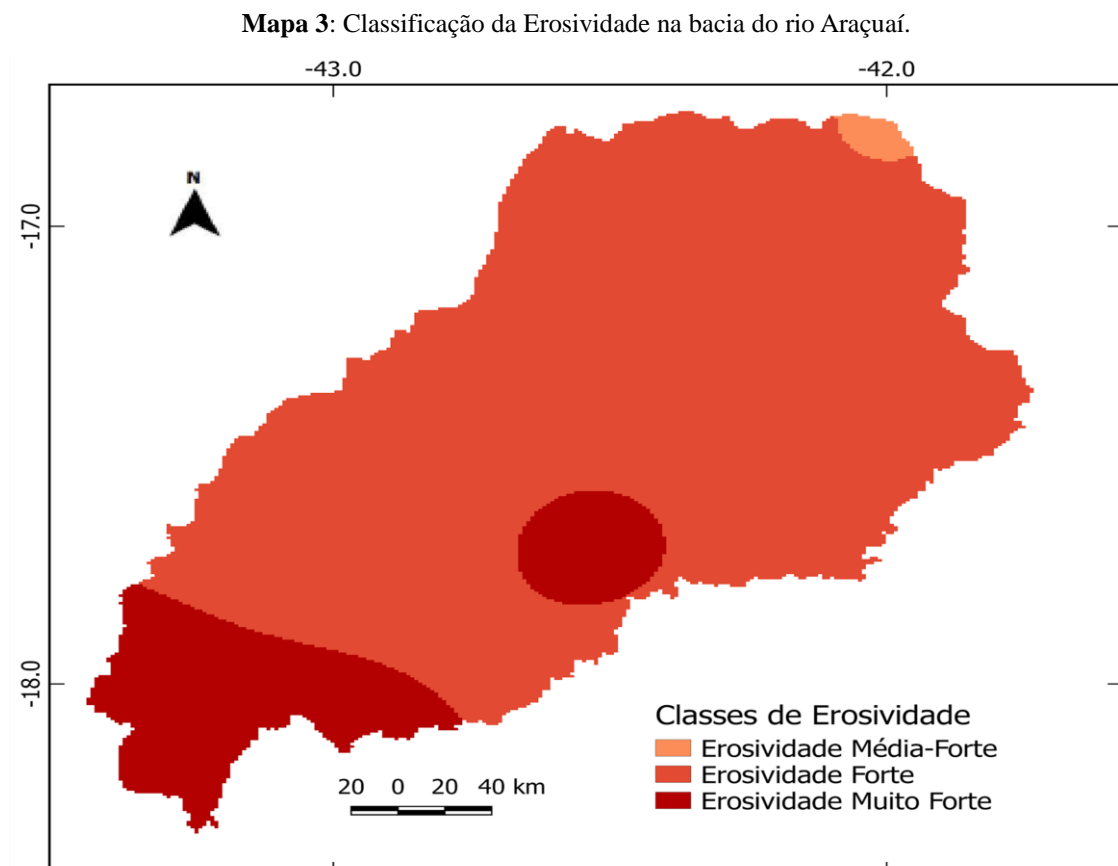
**Mapa 2:** Precipitação média e Erosividade média na bacia do rio Araçuaí-MG, de janeiro de 1996 a dezembro de 2015.



Os mapas de precipitação e Erosividade apresenta uma tendência normal no processo erosivo onde os maiores potenciais erosivos são registrados em locais de mais elevada precipitação.

O mapa de Erosividade mostra que na bacia do rio Araçuaí, os maiores valores de Erosividade estão situados ao sul da bacia, região onde são registradas as maiores altitudes, decrescendo gradualmente à medida que se desloca em direção ao norte, região de altitudes mais baixas. Tal fato está ligado a possível influência do relevo na precipitação da bacia, com as áreas localizadas em maiores altitudes apresentando maiores índices pluviométricos e, conseqüentemente, maiores índices erosivos.

Das cinco classes de Erosividade propostos na classificação, três ocorrem na bacia do rio Araçuaí. São elas: Erosividade Média Forte, Forte e Muito Forte (MAPA 3).



A classe de Erosividade predominante na bacia do rio Araçuaí é a Erosividade Forte a qual cobre quase que completamente o território da bacia. A segunda classe com maior



área de abrangência é Erosividade Muito Forte que, por sua vez, é registrada ao sul da bacia às nascentes do rio Araçuaí. A classe de menor abrangência é a Média Forte. Tal classe é registrada em apenas um pequeno trecho junto à foz do rio Araçuaí. Esses resultados indicam que a porção sul da bacia do rio Araçuaí apresenta maiores potenciais de Erosividade do que a parte norte.

No que se refere a variação temporal da precipitação pluviométrica e da Erosividade na bacia hidrográfica do rio Araçuaí, percebe-se que os meses de junho, julho e agosto apresentam os menores índices de precipitação e Erosividade. Por outro lado, os meses de janeiro e dezembro representam os maiores índices (Tabela 7).

**Tabela 7: Valores médios mensais e valor total anual da precipitação pluvial e da Erosividade para a bacia do rio Araçuaí entre 1996 e 2015.**

| MÊS              | PRECIPITAÇÃO |      | EROSIVIDADE   |      |
|------------------|--------------|------|---|------|
|                  | mm           | %    | MJmm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> mês <sup>-1</sup> | %    |
| <b>Janeiro</b>   | 133,3 ± 9,8  | 14,0 | 1012,2 ± 138,7  | 13,7 |
| <b>Fevereiro</b> | 85,9 ± 18,6  | 09,0 | 298,9 ± 103,6   | 6,8  |
| <b>Março</b>     | 116,4 ± 17,4 | 12,2 | 65,1 ± 41,0   | 11,0 |
| <b>Abril</b>     | 53,9 ± 14,7  | 5,7  | 18,26 ± 22,3  | 3,2  |
| <b>Mai</b>       | 20,3 ± 9,3   | 2,1  | 21,1 ± 37,4   | 0,7  |
| <b>Junho</b>     | 8,5 ± 6,9    | 0,9  | 21,1 ± 10,7   | 0,2  |
| <b>Julho</b>     | 8,5 ± 9,5    | 0,9  | 21,1 ± 7,4  | 0,2  |
| <b>Agosto</b>    | 8,1 ± 7,1    | 0,9  | 17,42 ± 24,2  | 0,1  |
| <b>Setembro</b>  | 21,1 ± 9,0   | 2,2  | 67,36 ± 36,8  | 0,7  |
| <b>Outubro</b>   | 75,3 ± 11,5  | 7,9  | 505,72 ± 74,8   | 5,5  |
| <b>Novembro</b>  | 206,9 ± 27,1 | 21,7 | 2534,0 ± 224,9  | 27,7 |
| <b>Dezembro</b>  | 215,4 ± 7,8  | 22,6 | 2707,0 ± 498,9  | 29,6 |

|              |                     |              |                        |              |
|--------------|---------------------|--------------|------------------------|--------------|
| <b>Total</b> | <b>953,7 ± 98,7</b> | <b>100,0</b> | <b>9124,7 ± 1661,7</b> | <b>100,0</b> |
|--------------|---------------------|--------------|------------------------|--------------|

(1) Média de 20 anos e erro-padrão.

A precipitação pluvial do período compreendido entre novembro a março corresponde a 79,5% do total anual na bacia. Esses resultados são similares aos observados por Oliveira J. *et al.* (2005) e Souza M. *et al* (2006), os quais verificaram concentração de precipitação pluviométrica para o Estado de Minas Gerais e vale do rio Doce de novembro a fevereiro.

A precipitação pluvial média da bacia é de 953,7 mm, enquanto que a Erosividade é de 9124,7 MJmm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Os cálculos de Erosividade e precipitação apresentaram elevado erro-padrão, indicando alta variação da Erosividade e precipitação na bacia. O mês com maior Erosividade foi dezembro com 2707,0 MJmm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>mês<sup>-1</sup>, enquanto o de menor valor foi agosto com 17,4 MJmm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>mês<sup>-1</sup>.

Assim como a precipitação pluviométrica, a Erosividade na bacia do rio Araçuaí foi maior no período compreendido entre os meses de outubro a março. As médias mensais de Erosividade também são similares às encontradas por Oliveira J. *et al.* (2005) e Souza M. *et al* (2006), em que cerca de 83% da Erosividade total concentra-se nesse período.

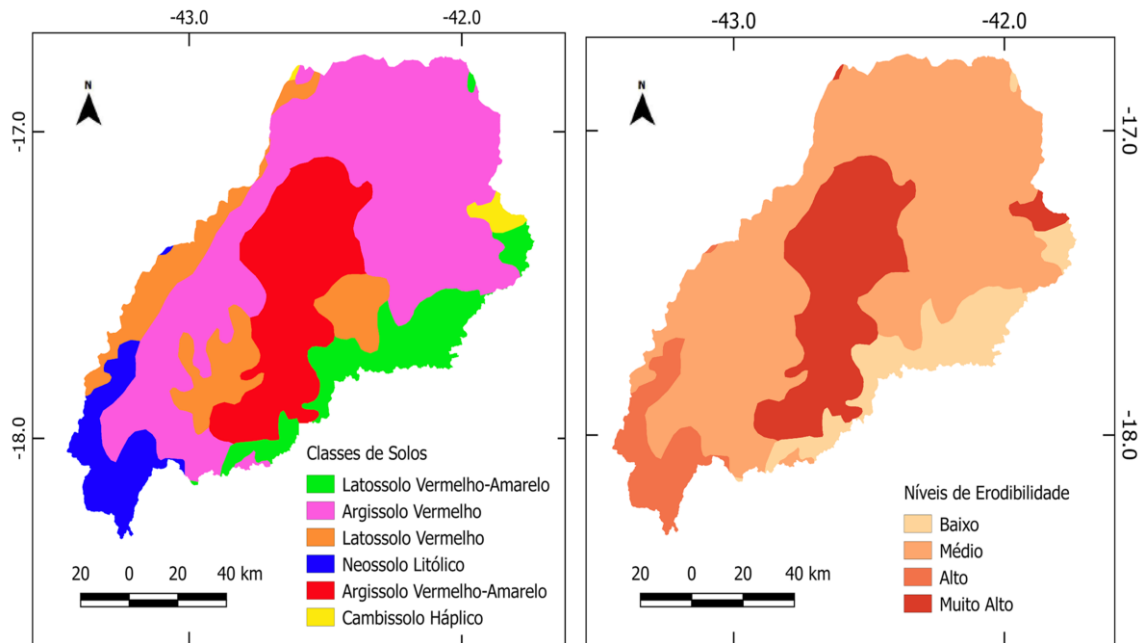
Mello *et al.* (2007) também encontraram valores similares para o estado de Minas Gerais, onde os maiores índices de Erosividade concentram-se no período de outubro a março. Para esses autores o mês de maior índice de Erosividade é dezembro com valores em torno de 3.000 MJmm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>mês<sup>-1</sup>.

Os resultados indicam que, mesmo sendo conhecida como uma região de semiaridez em grande parte do território, na bacia do rio Araçuaí predominam as classes de Erosividade forte e Muito Forte, com uma sazonalidade bem demarcada, apresentando um potencial de erosão maior nos meses de outubro a janeiro. Assim, o manejo e a gestão do risco de erosão devem ser considerados pelos usuários atuais e futuros, de modo a se evitar ou minimizar a perda do solo na região.

## 4.2 ERODIBILIDADE

O Mapa 4 apresenta as classes de solos da bacia do rio Araçuaí e a erodibilidade dos solos segundo as classes de erosão.

**Mapa 4:** Classes de Solos da bacia do rio Araçuaí e Classificação.



Observa-se a presença de seis classes de solo no território da bacia do rio Araçuaí: Argissolo Vermelho, Argissolo Vermelho Amarelo, Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo, Cambissolo Háptico e Neossolo Litólico. De acordo com esse mapa de solos a classe predominante na bacia é a dos Argissolos Vermelhos. Ao contrário, a classe menos representativa dos solos da bacia é a dos Cambissolos Hápticos.

Na bacia do rio Araçuaí as classes associadas a erodibilidade média são representadas pelos Argissolos vermelhos e Latossolos Vermelhos. A erodibilidade alta aparece em locais onde predominam os Neossolos Litólicos. A classe de solos Muito Alta está associada aos solos Argissolos Vermelho Amarelos e Cambissolos Hápticos. Por outro lado, a classe de erodibilidade baixa é representada pelos Latossolos Vermelho Amarelos. Essa distribuição espacial é importante para os agropecuaristas da região uma vez que conhecendo a erodibilidade dos solos de suas propriedades podem adotar o melhor manejo visando a garantir a sustentabilidade dos mesmos.

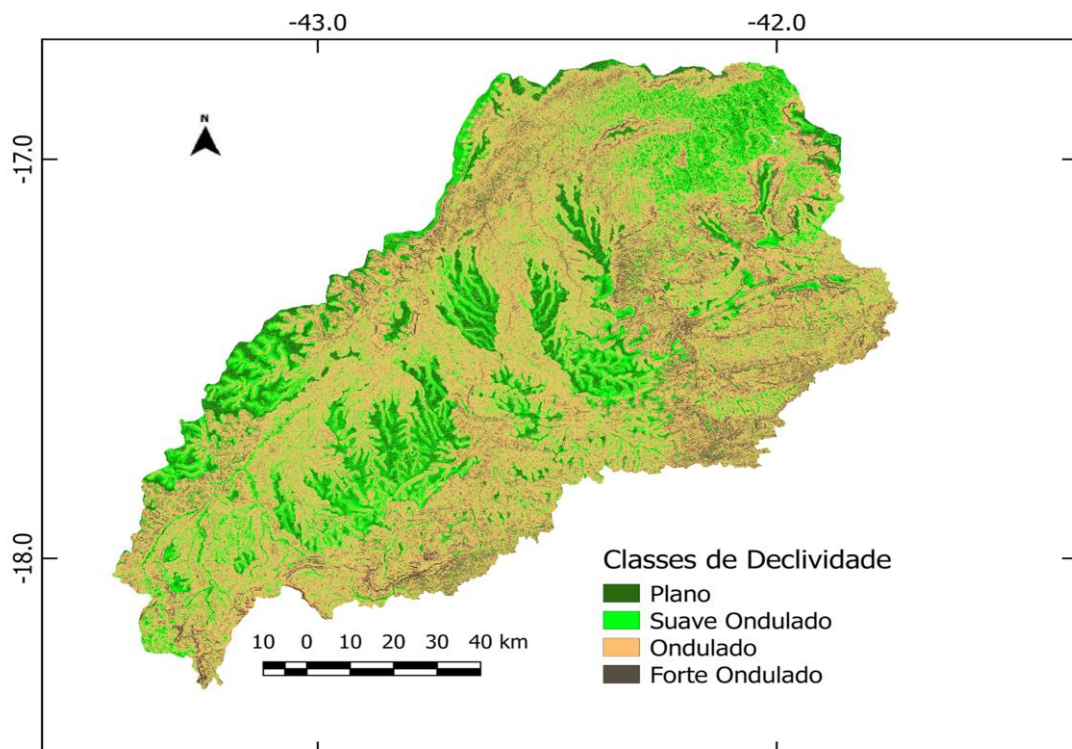
No que se refere a distribuição espacial da erodibilidade na bacia do rio Araçuaí, percebe-se que a classe de Erodibilidade baixa aparece em uma faixa na borda leste; a erodibilidade média ocupa quase que completamente o território da bacia desde a faixa sul até próximo às nascentes do rio Araçuaí; por outro lado, a erodibilidade alta localiza-se em uma

faixa ao sul; já a erodibilidade muito alta é encontrada na parte central da bacia e em pequena faixa ao nordeste.

### 4.3 FATOR TOPOGRÁFICO

Tendo as classes de declividade da EMBRAPA (1979) como referência, gerou-se o mapa de declividade da bacia do rio Araçuaí (MAPA 5).

**Mapa 5:** Classes de declividade da bacia hidrográfica do rio Araçuaí.



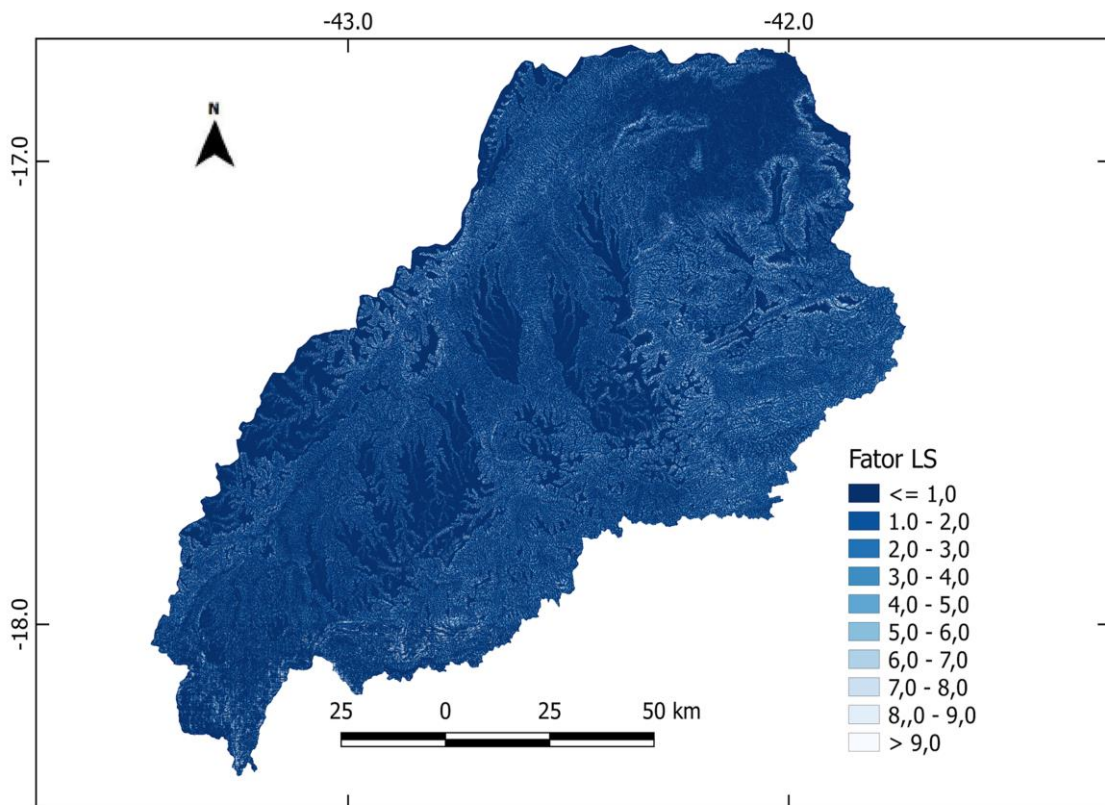
Segundo a classificação de declividade, a bacia do rio Araçuaí apresenta quatro classes: Plano, Suave Ondulado, Ondulado e Forte Ondulado. As classes Escarpado e Montanhoso, presentes na classificação da EMBRAPA (1979), não são registradas na área da bacia indicando que a mesma possui declividades inferiores a 45%.

Observa-se que na declividade da bacia do rio Araçuaí tem o predomínio da classe ondulada, seguido de Forte ondulada, Plano e Suave Ondulado. Nas regiões mais próximas à

Foz do rio Araçuaí e em áreas de chapada (planaltos) apresenta predomínio de relevo plano e suave ondulado. Efeito contrário é verificado nas regiões próximas à nascente em escarpas de serras, a qual predominam as classes Ondulada e Forte Ondulada.

A comparação entre os mapas de declividade e Fator LS, demonstra uma relação direta entre as variáveis. Assim, toda essa configuração de declividade presente no território da bacia influi decisivamente nos valores do fator LS (MAPA 6).

**Mapa 6:** Fator LS da bacia do rio Araçuaí.

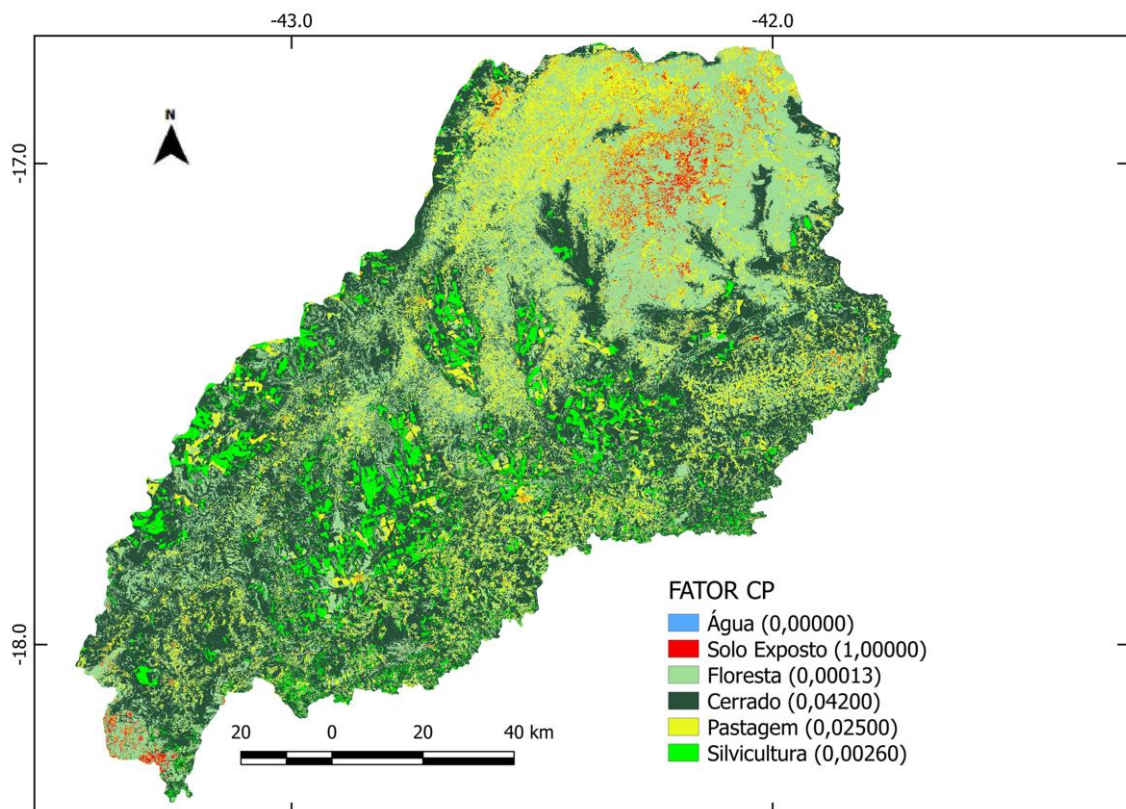


De acordo com o Mapa 6, grande porção da bacia do rio Araçuaí apresenta valores entre 0,0 a e 1,0 unidades de LS. Como os menores índices de erosão estão associados a valores próximo de 0,0 unidades de LS logo deduz-se que o fator LS da bacia do rio Araçuaí, em sua maior parte é desfavorável ao processo erosivo.

#### 4.4 USO, MANEJO E PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS.

Os resultados da classificação supervisionada das imagens de satélite para a área da bacia do rio Araçuaí são representados no Mapa 7.

**Mapa 7:** Classes de uso e conservação do solo na bacia do rio Araçuaí.



Como exposto no mapa, foram identificadas seis classes de CP para a bacia do rio Araçuaí, a saber: corpos d'água, solo exposto, floresta, cerrado, pastagem e silvicultura. As classes Cerrado e Silvicultura aparecem em locais planaltos; as pastagens e solo exposto em locais onde há grandes alterações antrópicas no meio ambiente, principalmente ao norte da bacia; já a classe floresta está presente, principalmente, nas escarpas de serras, entre o cerrado e os corpos de água.

Desconsiderando o valor zero que representa corpos d'água e áreas úmidas, tem-se que os valores mais baixos estão associados às classes de cobertura vegetal mais densa. Entende-se que, por possuírem mais fitomassa, apresentam maior importância na proteção do



solo contra a remoção de sedimentos pelo escoamento superficial (VALENTIN, 2008), evitando também o levantamento das partículas pelo efeito de salpicamento.

Os maiores valores de CP estão associados às classes que apresentam pouca ou nenhuma cobertura de solo. Nesse sentido, a classe que mais contribui para a perda de solos é a representada pelos solos expostos. Tal classe é caracterizada pela ausência de vegetação e elevado uso antrópico.

Percebe-se que a maior parte da bacia apresenta baixos valores de CP. Tal característica deve-se ao fato da bacia possuir grandes extensões de vegetação natural e pouco uso antrópico. Os valores de CP na bacia do rio Araçuaí variam de 0,0 unidades de CP (corpos de água) a 1,0 unidades de CP (solo exposto). Sendo que o primeiro representa erodibilidade nula e o segundo erodibilidade máxima.

#### 4.5 PERDA DE SOLOS NA BACIA DO RIO ARAÇUAÍ

A partir da interação entre os fatores R, K, LS, CP, calculou-se um potencial médio de perda de solos na Bacia do rio Araçuaí de  $7,58 \text{ Ton ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , o que permite classificá-la como de baixo potencial de perda de solos por erosão (Tabela 8)..

**Tabela 8: Classificação da taxa de erosão na bacia hidrográfica do rio Araçuaí.**

| PERDA DE SOLO<br>Ton ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> | CLASSE DE<br>INTENSIDADE | ÁREA                    |            |
|---|--------------------------|-------------------------|------------|
|   |                          | ÁREA (Km <sup>2</sup> ) | %          |
| <b>Nula a Moderada</b>                                  | < 15                     | 14.533,44               | 89,31      |
| <b>Média</b>  | 15 – 50                  | 1.376,69                | 8,46       |
| <b>Média a Forte</b>                                    | 50 – 120                 | 268,50                  | 1,65       |
| <b>Forte</b>  | 120 – 200                | 50,44                   | 0,31       |
| <b>Muito Forte</b>                                      | > 200                    | 43,93                   | 0,27       |
| <b>Total</b>  | -                        | <b>16,27</b>            | <b>100</b> |

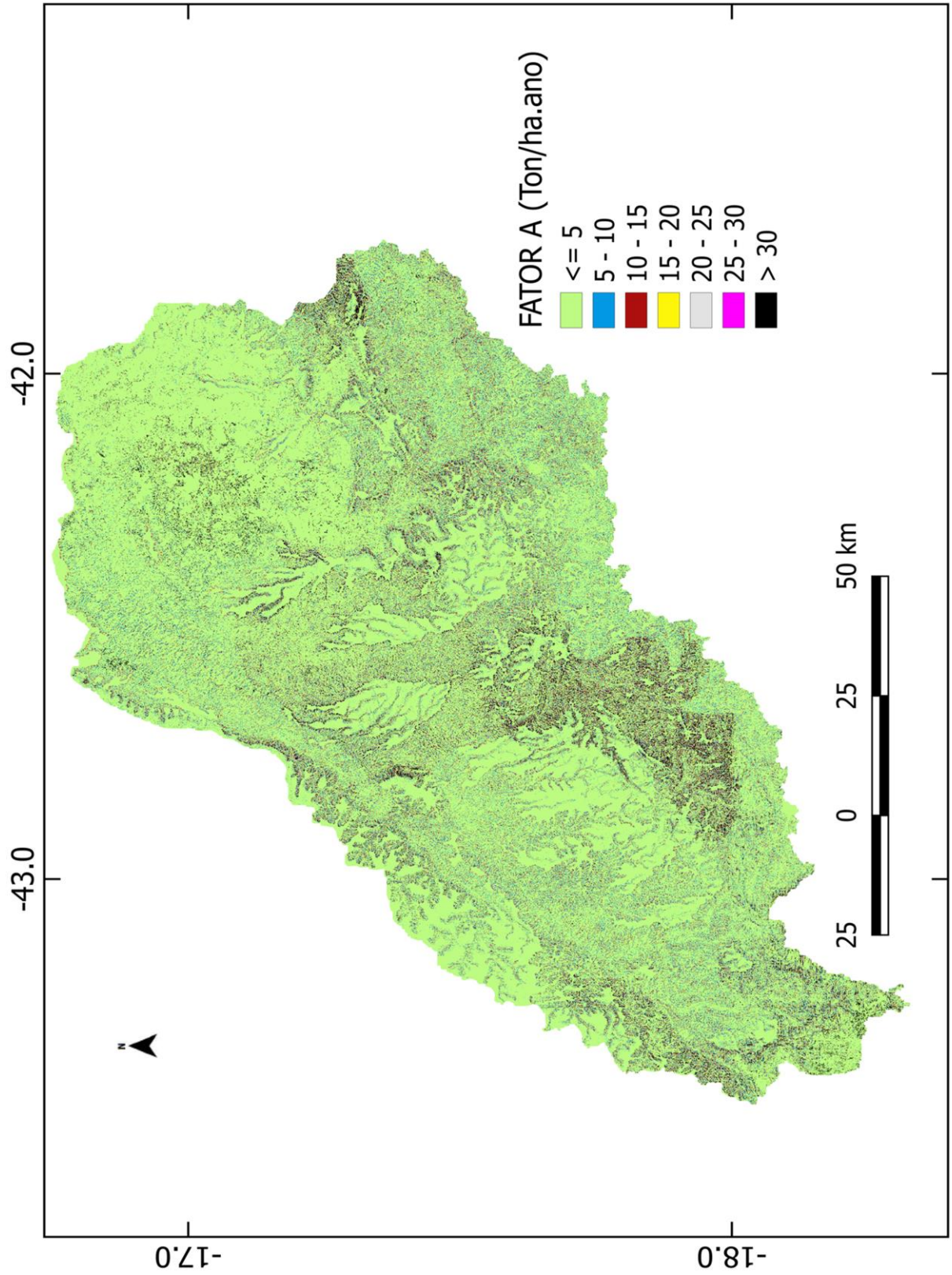
Os valores encontrados, referente a perda de solos por erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Araçuaí variaram de 0,0 a 260 Ton ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Para melhor serem observados, tais valores foram divididos em cinco classes conforme a classificação proposta por Carvalho (2008) (Tabela 8).

A análise da Tabela 8 permite inferir que a bacia do rio Araçuaí apresenta grande parte do seu território com potencial de erosão de nula a moderada, uma vez que tal classe abrange uma área de cerca de 14.533, 44 Km<sup>2</sup>, representando cerca de 89,31% da área da bacia hidrográfica.

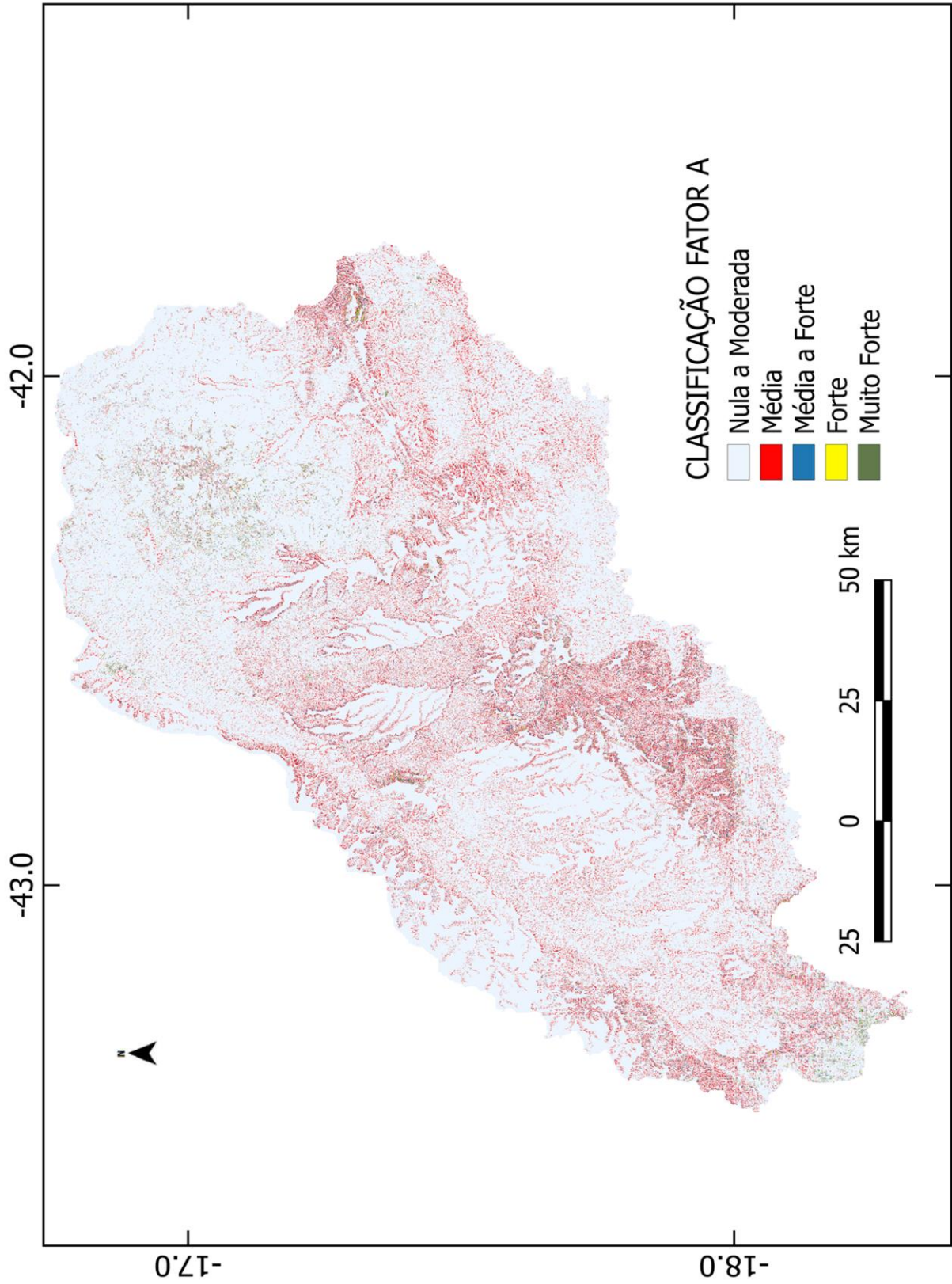
Os mapas da classificação do potencial de perda de solos por erosão, bem como a classificação dos níveis de erosão estão representados nos Mapas 8 e 9 respectivamente.



Mapa 8: Potencial de perda de solos na bacia do Rio Araçuaí.



**Mapa 9:** Classificação do potencial de perda de solos por erosão na bacia do rio Araçuaí.



A distribuição espacial do potencial das perdas de solo por erosão hídrica na bacia do rio Araçuaí por meio da USLE, aponta que as maiores potenciais de perda de solos localizam-se nos trechos de maior interferência antrópica, em maiores declividades e em porções onde predominam solos mais vulneráveis ao efeito erosivo. Essas características estão relacionadas aos fatores CP, LS e K, respectivamente.

Os principais problemas relacionados ao fator CP localizam-se em locais próximos aos rios, onde é forte o uso de propriedade para fins agropecuários (pastagens e uso agrícola). Nesses locais é comum encontrar solos expostos e cultivos sem utilização de manejos conservacionistas.

Os maiores valores potenciais do fator LS localiza-se nas bordas das serras em locais de maiores declividade entre as áreas de chapadas e as áreas de planícies fluviais. Esses locais devem ser preservados da ação humana e quando utilizados deve-se adotar práticas conservacionistas adequadas como o terraceamento ou curvas de nível.

No que se refere à vulnerabilidade dos solos, percebe-se maiores potenciais de perdas na parte central e nordeste da bacia, onde se localizam os Argissolos Vermelho Amarelos e os Cambissolos Háplicos. Esses solos, por suas características, necessitam de cuidados especiais e jamais devem ser deixados expostos a ação pluvial.

Em relação ao uso, manejo e práticas conservacionistas verificados na área da bacia, nota-se a presença de solos expostos em alguns pontos. Estas áreas destacam-se no mapa de potencial de perda de solos, indicando que muitos dos problemas de erosão na bacia estão relacionados à forma como os agropecuaristas manejam os solos na bacia.

Os resultados obtidos permitem definir áreas prioritárias para a adoção de medidas de controle e manejo da erosão na bacia do rio Araçuaí. Tais medidas, uma vez executadas de forma correta, podem garantir a sustentabilidade dos ecossistemas presentes na área da bacia, o que gera lucro e riquezas em conjunto com a conservação da natureza.



## 5 CONCLUSÃO

O potencial médio de perda de solos por erosão hídrica na Bacia do rio Araçuaí, calculado a partir da equação USLE, foi de  $7,58 \text{ Ton ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , indicando um baixo potencial de perda de solos por erosão. Na classificação por intensidade, cerca 89% do território apresenta potencial de erosão de nula a moderada. Esse potencial erosivo distribui-se de forma irregular no território da bacia com as maiores perdas potenciais localizadas nos trechos de maior interferência antrópica, maiores declividades, principalmente nas proximidades dos cursos d'água e em locais onde são encontrados solos vulneráveis a erosão.

Os mapas dos fatores da USLE, gerados em ambiente SIG, apresentaram resultados significativos. A Erosividade varia de 7.118,6 à 10.638,4 MJmm  $\text{ha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$  e apresenta-se em três classes: Média Forte, Forte e Muito Forte. Já a Erodibilidade varia de 0,011 a 0,049  $\text{Ton ha}^{-1} \text{MJmm}^{-1}$  classificando-se em quatro classes: Baixa, Média, Alta e Muito Alta. No que se refere ao Fator Topográfico, a bacia do rio Araçuaí apresenta valores de 0,0 a 5,9 unidades de LS com predomínio dos valores de 0,0 a 1,0, indicando uma baixa propensão a erosão. Por fim, o fator antrópico da USLE variou de 0,0 nos corpos de água a 1,0 nos solos expostos sendo que a maior parte da bacia apresenta valores de 0,0 a 0,042, o que indica baixa propensão à erosão.

No que se refere à distribuição temporal da Erosividade, nota-se que o período que apresenta maiores perdas potenciais é o compreendido entre os meses de outubro a março e os menores de abril a setembro.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU LIMA, S. A. et al. A Formação Salinas na área-tipo, NE de Minas Gerais: Uma proposta de revisão da estratigrafia da Faixa Araçuaí com base em evidências sedimentares, metamórficas e idades U-Pb SHRIMP. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, n. 4, p. 491-500, 2016.
- AMORIM, R. S. S.; DA SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. Avaliação do Desempenho dos modelos de Predição da Erosão hídrica USLE, RUSLE E WEPPP Para Diferentes Condições Edafoclimáticas do Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, p. 1046-1049, 2010.
- ANGULO-MARTÍNEZ, M.; BEGUERÍA, S. Estimating rainfall erosivity from daily precipitation records: A comparison among methods using data from the Ebro Basin (NE Spain). **Journal of Hydrology**, v. 379, n. 1-2, p. 111-121, 2009.
- AQUINO, R. F. **Padrões de chuva e variabilidade espacial da Erosividade para o sul do Estado de Minas Gerais**. Universidade Federal de Lavras (Dissertação de Mestrado). Lavras, p. 89. 2005.
- ARAÚJO JUNIOR, G. J. L. D. **Aplicação dos modelos EUPS e MEUPS na Bacia do Ribeirão Bonito-SP através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (Dissertação de Mestrado). São José dos Campos-SP, p. 122. 2003.
- BENNETT, H. H. **Soil conservation**. [S.l.]: McGraw-Hill, 1939. 939 p.
- BERTONI, J.; LOMBARD NETO, F. L. **Conservação do solo**. 5. ed. São Paulo: Ícon, 2005. 355 p.
- BRASIL. Hidroweb, Sistemas de Informações Geográficas (SIH). **Agência Nacional de Águas (ANA)**, 2016. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb>>. Acesso em: 28 Setembro 2016.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599 p.
- CHAGAS, C. S. et al. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, Campina Grande, PB, v. 14, p. 218-226, 2010.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 236 p.
- CORRECHEL, V. **Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica da análise da redistribuição do fallout do <sup>137</sup>Cs**. Universidade de São Paulo (Tese de Doutorado). Piracicaba - SP, p. 79. 2003.

COSTA, F. N. Campos Rupestres. In: SILVA, A. C.; PEDREIRA, L. C. V. S. F.; ABREU, P. A. A. **Serra do Espinhaço Meridional: Paisagens e ambientes**. Belo Horizonte: O Lutador, 2005. p. 137-147.

DE ALMEIDA, F. F. M. O cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 7, n. 4, p. 349-364, 2017.

DEMARCHI, J. C. **Geotecnologias aplicadas à estimativa de perdas de solo por erosão hídrica na Sub-Bacia do Ribeirão das Perobas, município de Santa Cruz do Rio Pardo-SP**. Universidade Estadual Paulista (Dissertação de Mestrado). Botucatu-SP, p. 150. 2012.

DENARDIN, J. E.; BERTOL, I.; KOCHHANN, R. A. **Retomada, redefinição e intensidade da pesquisa em erosão do solo no Brasil**. Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água: Manejo Integrado a Ciência do Solo na Produção de Alimentos. Santa Maria: UFSM. 2004. p. 1-26.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. 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.

DIAS, J. R. **Aplicação do modelo hidrológico AGNPS2001 utilizando dados observados na Bacia do Arroio Vacacaí Mirim**. Universidade Federal de Santa Maria (Dissertação de Mestrado). Santa Maria, p. 120. 2003.

DINIZ, H. N. et al. **Geologia, climatologia e hidrologia da bacia do rio Araçuaí, estado de Minas Gerais–Brasil**. ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA. [S.l.]: [s.n.]. 2001.

DURÃES, M. F.; MELLO, C. R. D. Distribuição espacial da erosão potencial e atual do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, MG. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 677-685, 2016.

EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro: [s.n.]. 1979. p. 83.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, v. 412, 1999.



EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; FARIA FILHO, R. F. R. **Atlas digital das águas de Minas**. Viçosa: UFV, 2005.

FARINASSO, M. et al. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS equação universal de perdas de solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, p. 73-85, 2006.

FERREIRA, L. **Avaliação Indireta da Erodibilidade em Solos com Altos Teores de Ferro e Aspectos Relacionados à Mineralogia e Micromorfologia**. Universidade Federal de Lavras (Dissertação de Mestrado). Lavras-MG, p. 82. 1992.

FERRO, V.; PORTO, P.; YU, B. A comparative study of rainfall erosivity estimation for southern Italy and southeastern Australia. **Hydrological Sciences Journal**, v. 44, n. 1, p. 3-24, 1999.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento Sem Complicação**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2008.

FOSTER, G. R.; WISCHMEIER, W. H. Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. **Transactions of the ASAE**, v. 17, n. 2, p. 305-309, 1974.

FREIRE SANTANA, E. et al. Multispectral image unsupervised segmentation using watershed transformation and cross-entropy minimization in different land use. **GIScience & remote sensing**, v. 51, n. 6, p. 613-629, 2014.

GALIZONI, F. M. et al. **Água e aglomeração espacial da população rural do alto Jequitinhonha, Minas Gerais**. Anais. [S.l.]: [s.n.]. 2016. p. 1-18.

GRAAFF, J. D. **The price of soil erosion: an economic evaluation of soil conservation and watershed development**. [S.l.]: [s.n.], 1996. 1-25 p.

GRADIM, R. J. **Geologia estrutural e significado tectônico dos xistos verdes do alto Araçuaí**. Universidade Federal de Ouro Preto (Dissertação de Mestrado). Ouro Preto-MG, p. 151. 2005.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA., S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Ed Bertrand Brasil, 2008. p. 149-209.

GUERRA, A. T.; DA SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** [S.l.]: Bertrand Brasil, 2005.

IBGE-EMBRAPA. Mapa e Solos do Brasil. **Ministério do Meio Ambiente**, 2001. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/geonetwork/srv/br/metadata.show>>. Acesso em: 22 Maio 2017.

IGAM. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Araçuaí: Relatório Final.** Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Maceió. 2010.

IGAM. Bacia Hidrográfica do rio Araçuaí – JQ2. **Instituto Mineiro de Gestão das Águas**, 2016. Disponível em: <<http://comites.igam.mg.gov.br/comites-estaduais/bacia-do-rio-jequitinhonha/jq2-cbh-do-rio-aracuai/1164-conheca-a-bacia-jq2>>. Acesso em: 24 Outubro 2016.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LOPES, F. B. et al. Uso de geoprocessamento na estimativa da perda de solo em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Agro@mbiente on-line**, v. 5, n. 2, p. 88-96, 2011.

MARTINS, S. G. et al. Fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água em cultivo de eucalipto e em Mata Atlântica nos Tabuleiros Costeiros do estado do Espírito Santo. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 517-526, 2010.

MELLO, C. D.; SILVA, A. M. D. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas.** 1º. ed. Lavras: UFLA, 2013. 455 p. ISBN ISBN:978-85-8128-029-6.

MELLO, C. R. et al. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 537-545, 2007.

MEN, M.; YU, Z.; XU, H. Study on the spatial pattern of rainfall erosivity based on geostatistics in Hebei Province, China. **Frontiers of Agriculture in China**, v. 2, n. 3, p. 281-289, 2008.

MOORE, I. D.; BURCH, G. J. Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, n. 5, p. 1294-1298, 1986.

MORGAN, R. P. **Soil erosion and conservation**. 3. ed. [S.l.]: Blackwell Pub, 2005. 281-289 p.

NUNES, A. R. **Confronto do Uso e Ocupação da Terra em APP's e Estimativa de Perda de Solo na Bacia Hidrográfica do Rio Alegre**. Universidade Federal do Espírito Santo (Dissertação de Mestrado). Jerônimo Monteiro – ES. 2013.

OLIVEIRA, F. G.; SERAPHIN, O. J.; BORJA, M. E. L. Estimativa de Perdas de Solo e do Potencial Natural de Erosão da Bacia de Contribuição da Microcentral Hidrelétrica do Lajeado, Botucatu – SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 30, n. 3, 2015.

OLIVEIRA, F. P. D. et al. Potencial erosivo da chuva no Vale do Rio Doce, região Centro Leste do estado de Minas Gerais: primeira aproximação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 6, p. 1569-1577, 2009.

OLIVEIRA, J. A.; GUIMARÃES, E. C.; TAVARES, M. **Comportamento espacial de chuvas de verão no estado de Minas Gerais**. REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA. Londrina: CD-R. 2005.

OLIVEIRA, L. M. M. et al. Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1209-1217, 2012.

PEDROSA-SOARES, A. C. et al. **Duplo regime metamórfico na Faixa Araçuaí: Uma reinterpretção à luz de novos dados**. Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador: SBG. 1996. p. 5-8.

PEDROSA-SOARES, A. C.; SAADI, A. **O segmento meridional da Falha de Taiobeiras, MG**. SIMPÓSIO DE GEOLOGIA. Belo Horizonte: [s.n.]. 1989. p. 161-165.

PEREIRA, P. R. B. et al. **O zoneamento climático na bacia do rio Jequitinhonha, Estado de Minas Gerais, Brasil**. VIII Encuentro de Geógrafos de América Latina. Santiago, Chile: [s.n.]. 2000.

PIRES, J. S. R.; E., S. J.; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus-BA: Editus, 2002. p. 293.

PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 1. ed. Viçosa: UFV, 2006.

RENARD, K. G. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)**. Washington D.C.: Department of Agriculture, 1997. 404 p.

RENARD, K. G.; FREIMUND, J. R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. **Journal of hydrology**, v. 157, n. 1-4, p. 287-306, 1994.

RESENDE, M. Aplicações de Conhecimentos Pedológicos à Conservação dos Solos. **Informe Agropecuário**, v. 11, n. 128, p. 27-37, 1985.

RESENDE, M. et al. **Pedologia Base Para Distinção de Ambientes**. 6°. ed. Lavras: UFLA, 2014. 378 p. ISBN ISBN: 9788581270326.

RIBEIRO, E. M. et al. Agricultura familiar e programas de desenvolvimento rural no Alto Jequitinhonha. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 45, n. 4, p. 1075-1102, 2007.

RICHTER, G. ( . ). **Bodenerosion: Analyse und Bilanz eines Umweltproblems**. Buchges: Wiss , 1998.

RODRIGUES, J. E. **Estudo geotécnico de fenômenos erosivos acelerados: boçorocas**. Universidade de São Paulo ( PhD Thesis). São Carlos, p. 162. 1984.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 8, p. 63-74, 1994.

RUHOFF, A. L. **Avaliação dos processos erosivos na bacia do Arroio Grande, RS, através da equação universal de perda de solos**. Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal. Campo Grande: Embrapa Informática Agropecuária/INPE. 2006. p. 229-238.

SAHA, S. K. Water and Wind Induced Soil Erosion Assessment and Monitoring Using Remote Sensing and GIS. In: M. V. K. SIVAKUMAR, P. S. R. K. H. A. S. K. S. E. **Satellite Remote Sensing and GIS Application in Agricultural Meteorology**. Dehra Dun: [s.n.], 2004. p. 315-330.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: GUERRA, A. J. T., et al. **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 1999. p. 229-267.

SANTOS, H. D. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. [S.l.]: Embrapa, 2006.

SILVA, A. M. D. Mapa da erosividade das chuvas para o Brasil. **Catena**, v. 57, n. 3, p. 251-259, 2004.

SILVA, G. A. F. **Mapeamento geotécnico e análise dos processos erosivos na bacia do córrego Tuncun, São Pedro – SP**. Universidade de São Paulo (Dissertação de Mestrado). São Carlos. 2003.

SILVA, L. M. D. **Atlas ambiental como subsídio aos estudos de sustentabilidade - a bacia do Araçuaí no Vale do Jequitinhonha - MG**. Universidade Estadual Paulista (Dissertação de Mestrado). [S.l.]. 2002.

SOUZA, C. K. et al. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo em Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 1067-1074, 2003.

SOUZA, J. F. D.; SILVA, R. M.; SILVA, A. M. Influência do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície: o estudo de caso de João Pessoa - PB. **Revista Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 21-37, Janeiro 2016.

SOUZA, M. J. H. D. et al. Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da Bacia do Rio Doce. **Revista Árvore**, v. 30, n. 3, 2006.

STEIN, D. P. et al. **Potencial de Erosão Laminar, Natural e Antrópica na Bacia do Peixe-Parapanema**. Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Marília: [s.n.]. 1987.

TAVARES, A. C. **A erosão dos solos no contexto da análise ambiental: o exemplo do alto curso do Rio São José dos Dourados**. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo (Tese de Doutorado). São Paulo. 1986.

TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. D. F.; DECHEN, S. C. F. Os custos da erosão do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 287-298, 2011.

TOMAZONI, J. C. et al. A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Anta Gorda (PR). **Revista Eletrônica de Geografia**, v. 3, n. 1, p. 1-21, 2005.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e Fertilidade do Solo**. [S.l.]: ANDREI, 2007. 718 p.

UHLEIN, A. **Transição cráton-faixa dobrada: um exemplo do Cráton do São Francisco e da Faixa Araçuaí (Ciclo Brasileiro) no Estado de Minas Gerais: Aspectos estratigráficos e estruturais**. IG-USP (Tese de Doutorado). São Paulo. 1991.

USGS. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). **USGS**, 2016. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov>>. Acesso em: 15 Março 2016.

VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de bacias hidrográficas. In: PEREIRA, V. P.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. ( ). **Solos altamente suscetíveis à erosão**. 1. ed. Jaboticabal: FCAV/UNESP/SBCS, 1994. p. 223-242.

VALLE JUNIOR, R. F. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (Tese de doutorado). Jaboticabal - SP. 2008.

VIEIRA SANTOS, G. et al. Análise hidrológica e socioambiental da bacia hidrográfica do córrego Romão dos Reis, Viçosa-MG. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, 2007.

VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas-SP, p. 405-412, 1995.

WEILL, M. A.; SPAVOREK, G. Estudo da erosão na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP): I - Estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 801-814, 2008.

WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. Digital terrain analysis. In: WILSON, J. P. E. G. J. C. ( ). **Terrain analysis: principles and applications**. New York: John Wiley e Sons, 2000. p. 1-27.

WISCHMEIER, W. H.; MANNERING, J. V. Relation of soil properties to its erodibility. **Soil Science Society of America Journal**, v. 33, n. 1, p. 131-137, 1969.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning.** Washington, DC: USDA, 1978.

XAVIER, A. P. C.; SILVA, A. M.; DA SILVA, R. M. Mudanças Espaço-Temporais da Variabilidade da Precipitação e Perdas de Solo na Bacia do Rio Mamuaba, Brasil. **Cadernos do Logepa**, v. 8, n. 1-2, p. 79-102 , 2013.

ZACHAR, D. Soil Erosion: Developments in Soil Science. **Elsevier Scientific Publishing Company**, New york, 1982. 547.