

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

DANDARA SILVA LEITE

**MAPEAMENTO DA ERODIBILIDADE E EROSIVIDADE NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO VERDADEIRO – OESTE DO
PARANÁ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA
2016

DANDARA SILVA LEITE

**MAPEAMENTO DA ERODIBILIDADE E EROSIVIDADE NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO VERDADEIRO – OESTE DO
PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenheiro Ambiental, do curso de Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira.

Orientador: Prof. Me. Anderson Sandro da Rocha

Co-orientador: Prof. Dr. Vanderlei Leopold Magalhães

MEDIANEIRA

2016



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Medianeira
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

MAPEAMENTO DA ERODIBILIDADE E EROSIVIDADE NA BACIA HIDROGRÁFICA
DO SÃO FRANCISCO VERDADEIRO – OESTE DO PARANÁ

por

DANDARA SILVA LEITE

Este Trabalho de Conclusão do Curso (TCC) foi apresentado às 14:00h do dia 25 de novembro de 2016, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Me. Anderson Sandro da Rocha
Orientador

Prof. Dr. Vanderlei Leopold Magalhães
Co-orientador

Prof. Dra. Carla Daniela Camara
Membro titular

Prof. Dr. Fabio Palczewski Pacheco
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico aos meus avós Zeni,
Domingas e Sílio (in memoriam),
e ao meu avô João, pelo exemplo e compreensão.

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, pela força e saúde para superar as dificuldades.

À Instituição e seu corpo docente, que proporcionaram as condições necessárias para minha formação.

Aos meus pais, Nádía e Carlos, pelo amor incondicional, pelo apoio e incentivo.

Ao meu orientador, Prof. Me. Anderson Sandro Rocha, e ao co-orientador, Prof. Dr. Vanderlei Leopold Magalhães, pela paciência, pela orientação e pelas correções.

Ao meu irmão Dean pelo carinho e incentivo constantes.

Aos amigos e colegas que fizeram parte dessa jornada, obrigada pelo carinho e companheirismo.

A todos aqueles que de forma direta e indireta participaram dessa conquista.

RESUMO

LEITE, Dandara S. **Mapeamento da erodibilidade e erosividade na bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro – Oeste do Paraná**. 2016. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2016.

A erosão é um processo natural que pode ser agravado pela ação antrópica e influenciado por alguns fatores como a erodibilidade e a erosividade. O mapeamento da erodibilidade e da erosividade em uma bacia hidrográfica constitui uma ferramenta importante na gestão de bacias hidrográficas e no controle da perda de solo. O estudo objetivou a elaboração e análise de mapas temáticos e do mapeamento da erodibilidade e erosividade na bacia hidrográfica do rio São Francisco Verdadeiro, localizado no Oeste do Estado do Paraná, com o intuito de localizar regiões mais suscetíveis à ação de processos erosivos. Posteriormente, foram propostas medidas conservacionistas com o objetivo de minimizar os processos erosivos na bacia. A correção dos dados possibilitou identificar a região Centro-sul como a área com maior suscetibilidade à perda de solo, que apresentou média erodibilidade, forte declividade, solo raso e alta erosividade em razão da maior precipitação.

Palavras – chave: Erodibilidade. Erosividade. Erosão. Bacia Hidrográfica. Mapeamento.

ABSTRACT

LEITE, Dandara S. **Mapping of erodibility and erosivity in the São Francisco Verdadeiro watershed – Oeste do Paraná**. 2016. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2016.

Erosion is a natural process that can be increased by anthropic action and influenced by some factors, such as erodibility and erosivity. The mapping of erodibility and erosivity in a watershed is an important tool in watershed management and soil loss control. The objective of this study was to elaborate and analyze of thematic maps and the mapping of erodibility and erosivity in the watershed São Francisco Verdadeiro, located in the west of the State of Paraná, in order to locate regions more susceptible to erosive processes. Subsequently, conservation measures were proposed with the objective of minimizing erosion processes in the watershed. The correction made it possible to identify the Center-South region as the area with the highest susceptibility to soil loss, which presented medium erodibility, strong slope, shallow soil and high erosivity due to higher precipitation.

Keywords: Erodibility. Erosivity. Erosion. Watershed. Mapping.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro.....	23
Figura 2 - Mapa Hipsométrico da bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro..	24
Figura 3 - Mapa de uso e cobertura da bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro.....	32
Figura 4 - Pluviosidade da bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro	34
Figura 5 - Mapa de declividade da bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro	35
Figura 6- Mapa de classes de solo da bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro.....	38
Figura 7 - Erodibilidade da bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro	41
Figura 8 - Erosividade da bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da Erodibilidade	20
Tabela 2 - Classificação da Declividade.....	26
Tabela 3 - Erodibilidade da Bacia Hidrográfica do São Francisco Verdadeiro	39
Tabela 4 - Erosividade da Bacia Hidrográfica do São Francisco Verdadeiro	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1. OBJETIVO GERAL	12
2.1.1. Objetivos Específicos	12
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
3.1. A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE GERENCIAMENTO AMBIENTAL	13
3.2. AS INTERAÇÕES ENTRE SOLO, EROSÃO E ASSOREAMENTO	14
3.3. EQUAÇÃO UNIVERSAL DA PERDA DE SOLO	17
3.4. ERODIBILIDADE	19
3.5. EROSIVIDADE	20
3.6. O PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE ESPACIAL	20
4. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	22
5. MATERIAIS E MÉTODOS	25
5.1. PRODUÇÃO DE MATERIAL CARTOGRÁFICO	25
5.1.1. Delimitação da bacia hidrográfica	25
5.1.2. Hipsometria	25
5.1.3. Declividade	26
5.1.4. Mapa de uso e cobertura do solo	27
5.1.5. Mapa de solo	29
5.1.6. Mapa de pluviosidade	29
5.2. DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE	30
5.3. DETERMINAÇÃO DA EROSIVIDADE	30
5.4. SUGESTÃO DE PRÁTICAS DE CONSERVAÇÃO DO SOLO	30
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
6.1. CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO VERDADEIRO	31
6.2. ERODIBILIDADE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO VERDADEIRO	39
6.3. EROSIVIDADE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO VERDADEIRO	42
6.4. PROPOSTAS DE CONSERVAÇÃO	44
6.4.1. Integração lavoura, pecuária e floresta	44
6.4.2. Plantio direto	44
6.4.3. Plantio em curvas de nível	45
6.4.4. Rotação de culturas	46
7. CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

A perda de solo é um dos fatores apontados como agente da redução da produtividade dos solos. A erosão é um processo natural, que pode ser agravado pelo manejo inadequado, que consiste no desprendimento de partículas do solo pela ação dos ventos, da água, por processos químicos e biológicos. As partículas de solo são transportadas e depositadas em outros locais, principalmente em rios. A EMBRAPA estimou em 2007 que quase um bilhão de toneladas de solo sofrem erosão anualmente em todo território brasileiro.

A perda de solo pode ser quantificada pela Equação Universal de Perda de Solo, conhecida como EUPS no Brasil e do inglês *Universal Soil Loss Equation - USLE*. A EUPS estima a perda de solo considerando variáveis que interferem na erosão por ação natural ou antrópica.

A erodibilidade e a erosividade são variáveis consideradas no cálculo da Equação Universal de Perda de Solo. A erodibilidade do solo é expressa numericamente e consiste na facilidade do solo em sofrer erosão e está relacionada com as características físicas e químicas do solo. A erosividade, também expressa numericamente, é descrita como o potencial da chuva de resultar em erosão hídrica e está ligada à intensidade da chuva e à energia cinética.

A bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro está localizada no oeste do Estado do Paraná, Brasil. A bacia está inserida na unidade hidrográfica do Paraná 3, sendo que, atualmente, o rio São Francisco Verdadeiro desagua no reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional. Assim sendo, todo o solo que sofre erosão nessa bacia pode ser depositado no reservatório e causar assoreamento do lago de Itaipu. Esse fato evidencia a importância do mapeamento de fatores que influenciam diretamente na erosão.

Devido ao carreamento para o reservatório, a Itaipu promove o programa Cultivando Água Boa, que estabelece o monitoramento dos recursos da unidade hidrográfica do Paraná 3.

Objetivou-se neste trabalho mapear a erosividade e a erodibilidade na bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro, através da elaboração de mapas cartográficos e da quantificação da erosividade e da erodibilidade.

O mapeamento da erodibilidade e erosividade dessa bacia hidrográfica pode auxiliar na gestão ambiental e na determinação das áreas onde existe maior suscetibilidade à erosão e quais práticas de conservação podem ser aplicadas na minimização do processo erosivo.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Mapear a erodibilidade e erosividade na bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro, afluente do rio Paraná, atual reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional.

2.1.1. Objetivos Específicos

- Elaboração de mapas temáticos (solos, clima, hipsometria, declividade e uso do solo);
- Espacialização e quantificação da erosividade associada à energia cinética e à intensidade da chuva;
- Espacialização e quantificação da erodibilidade associada às classes de solos;
- Apresentar as práticas mais apropriadas de conservação do solo a fim de minimizar os efeitos da erosão na bacia do rio São Francisco Verdadeiro.
- Identificar a área da bacia hidrográfica que possui maior suscetibilidade à erosão.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE GERENCIAMENTO AMBIENTAL

Pode-se considerar como uma bacia hidrográfica uma entidade onde existe como entrada a precipitação e como saída o escoamento superficial. Em uma bacia hidrográfica existem perdas entre a entrada e a saída, as perdas se dão por evapotranspiração (TUCCI, 2001). Guerra e Cunha (2012) afirmaram que uma bacia hidrográfica é uma entidade que escoar a água e os sedimentos dissolvidos usando canais fluviais para a saída da bacia hidrográfica.

De acordo com Barrella (2001 apud COSTA; FERREIRA, 2010, p. 2), bacia hidrográfica pode ser definida como “um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente, formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático”.

Uma bacia hidrográfica possui características físicas e bióticas que influenciam em processos essenciais no ciclo hidrológico, entre eles, pode-se destacar a infiltração, a evapotranspiração e o escoamento superficial (TONELLO et al., 2006).

Devido ao crescimento urbano em áreas impróprias, ocorrem modificações na cobertura do solo, acarretando mudanças no escoamento superficial das águas pluviais (MORUZZI et al., 2007). Porém, o escoamento pode ser influenciado por diversas ações antrópicas, por fatores geológicos e a intensidade da precipitação. A capacidade de infiltração no solo e a intensidade da chuva determinam a quantidade de água escoada na superfície do solo (FERNANDES et al., 2013).

Vestena et al. (2012) afirmaram que o volume e a qualidade da água de uma bacia hidrográfica são fatores importantes para a conservação da estabilidade hídrica e do ecossistema aquático. Nesse contexto, a gestão de bacias hidrográficas é importante para o monitoramento da poluição dos recursos hídricos, da distribuição da precipitação e da demanda hídrica.

O gerenciamento de gestão de bacias hidrográficas é um tópico que ganhou mérito devido à alteração do ciclo hidrológico causada pela degradação ambiental (JACOBI; FRACALANZA, 2005).

Para Guivant e Jacobi (2003), o plano de recursos hídricos, a outorga do direito do uso d'água, a cobrança pelo uso dos corpos d'água, o enquadramento dos corpos d'água em classes de uso e o Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos são os instrumentos principais de gestão de bacias hidrográficas.

A outorga pode ser considerada um instrumento de gestão da bacia, que auxilia o gerenciamento de demanda e uso racional de água. As organizações, como Comitês de Bacia Hidrográfica, possibilitam a implantação da gestão dos recursos hídricos (PORTO; PORTO, 2008).

3.2. AS INTERAÇÕES ENTRE SOLO, EROSÃO E ASSOREAMENTO

De acordo com Oliveira Júnior et al. (2011) e Guerra e Cunha (2012), o solo pode ser definido como um meio tridimensional e dinâmico que é resultado da ação de diversos fatores como a temperatura, umidade, precipitação, organismo e do condicionamento do relevo. Cada classe de solo possui características físicas e químicas derivadas dos processos de formação, do material de origem e dos processos pedogenéticos.

O clima é responsável pelo intemperismo das rochas; no transporte e distribuição de material de origem dos solos, os organismos são responsáveis pela decomposição de resíduo orgânico, fornecendo ao solo propriedades químicas que propiciam o desenvolvimento da vegetação; o material de origem determina a composição textural, mineralógica e características físicas do solo; o relevo influencia na dinâmica do solo com a água e a erosão (GUERRA; CUNHA, 2012).

O uso inadequado do solo e a erosão hídrica podem comprometer a sua capacidade produtiva (CARVALHO et al., 2005). A erosão é um processo que afeta a integridade do solo, sendo considerada um problema que foi amplamente discutido do ponto de vista agrícola. Contudo, recentemente, tem-se associado a erosão a problemas ambientais (SILVA, 2010).

De acordo com Magalhães (1995 apud MAGALHÃES, 2001, p. 1), a erosão é um processo mecânico que em certas condições torna-se crítico pela ação catalisadora do homem. Segundo o autor, a erosão é a “desagregação, transporte e deposição de partículas do solo, subsolo e rochas em decomposição pelas águas, ventos ou geleiras”.

A erosão é controlada por diversos fatores, como a erosividade da chuva, erodibilidade do solo, cobertura vegetal e características das encostas, que interagem entre si e determinam as taxas de erosão. A ação antrópica pode alterar esses fatores e resultar na modificação da taxa de erosão, retardando ou apressando a erosão (GUERRA; CUNHA, 2012).

A perda de solo por erosão hídrica, a erosão causada pela ação da água é um processo natural que age na transformação do relevo e ocorre de três formas: erosão por salpicamento, erosão laminar e erosão linear (GUERRA, 2005).

Selby (1993, apud LEMOS, 2010, p. 47) definiu a erosão por salpicamento como sendo causada pela chuva. Quando as gotas de chuva encontram a superfície do solo, desprendem-se partículas no local do impacto e as partículas são lançadas a certa distância.

As gotas de chuva contribuem para o processo erosivo de três formas: desprendem as partículas de solo, transportam por salpicamento as partículas desprendidas e causam turbulência à água superficial. A erosão hídrica pode ser subdividida em laminar, sulcos e voçorocas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

A erosão laminar é um dos tipos de erosão mais importantes, porém dificilmente perceptível. O início desse fenômeno ocorre quando as gotas de chuva, ao se precipitarem sobre o solo, rompem seus grânulos e torrões transformando-os em pequenas partículas e diminuindo a capacidade de infiltração do terreno (RESENDE; ALMEIDA, 1985 apud TOMAZONI et al., 2005, p. 2).

Para Souza et al. (2014) a erosão laminar é o início do processo erosivo que surge a partir do escoamento da água que não se infiltra. O escoamento do fluxo de água transporta as partículas de solo que são resultantes do processo de degradação pelo impacto das gotas de chuva.

A erosão laminar é a mais perigosa por não ser facilmente observada, ela arrasta as partículas mais leves nas camadas de superfície do solo. A erosão em sulcos é provocada por sutis irregularidades na declividade do solo que faz com que

a enxurrada se concentre em alguns pontos, formando pequenos canais. As voçorocas são grandes lacunas procedentes de sulcos que se ampliaram devido ao deslocamento do solo no local, causado por ações de enxurradas constantes (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

De acordo com Guerra (1995 apud DOMINGUES et al., 1998) as feições erosivas lineares, do tipo voçorocas, são originadas a partir do constante escoamento de fluxo de águas pluviais, concentrado em antigos lugares de deslizamentos de terra.

A erosão é um grande problema ambiental e uma das razões de prejuízos das lavouras e acréscimo nas despesas de produção (COGO et al., 2004).

Do ponto de vista agrícola, a erosão causa problemas no seu local de origem e fora dele. No local de origem, diminui a fertilidade do solo pela perda de carbono orgânico e de nutrientes da camada superficial, degrada-o física, biológica e quimicamente e, ao longo do tempo, rebaixa a camada arável. Isto diminui o potencial produtivo do solo e aumenta os gastos com adubação química, podendo inviabilizar a produtividade competitiva e até excluir áreas do processo produtivo. Fora do local de origem, a erosão do solo causa problemas ambientais, em razão da deposição de sedimentos, nutrientes e matéria orgânica em corpos d'água. Isto causa assoreamento, diminuindo a quantidade de água disponível, e eutrofização, reduzindo a qualidade da água. Com isso, a qualidade e quantidade de vida aquática e a geração de energia pelas hidroelétricas são prejudicadas, ocorrendo, ainda, potencialização de enchentes (MARIOTI et al., 2013, p 1362).

O manejo ineficaz do solo e a erosão hídrica são os agentes que causam a diminuição da produtividade dos solos. E deve-se considerar que os sedimentos provenientes da erosão têm o potencial de causar o assoreamento de rios e lagos (MARTINS, 2003 apud INÁCIO et al., 2007).

A erosão em bacia hidrográfica contribui para o assoreamento, pois a erosão desprende partículas de solo que, ao serem transportadas, podem atingir rios e lagos, causando assoreamento. Por isso esses processos estão relacionados (GUERRA; CUNHA, 1995).

O assoreamento pode ser descrito como acúmulo de partículas de solo em rios e lagos. Ele está diretamente ligado à erosão e é causado pelo manejo inadequado do solo e a degradação da bacia hidrográfica. Segundo Cabral et al. (2009, p. 98), “o assoreamento é um processo passível de ser administrado e reduzido”. Mas para isso é necessário conhecer a quantidade de solo que é perdido e analisar as variáveis que influenciam nesse processo.

O assoreamento é o principal problema que afeta os lagos implicando na diminuição do volume de água utilizável, e reduzindo a quantidade de energia gerada, tendo como causa principal a água da chuva que transportam sedimentos em suspensão ou diluição e que são retidos através da sedimentação/decantação e pelo atrito com a superfície de fundo. Os sedimentos, sujeitos ao arrasto, são retidos na entrada do reservatório e nos afluentes formando um delta pluvial. Esses sedimentos são originados do solo exposto devido à retirada da vegetação e esgotamento do mesmo pelo uso inadequado, ocasionando o assoreamento dos reservatórios (CABRAL, 2005, p. 62).

O assoreamento é a conclusão do processo erosivo e, quando ocorre em reservatórios, implica na redução da quantidade de energia gerada. Também pode gerar despesas extras por causa da abrasão física em turbinas provocada pela areia, no entanto é pouco provável. Assim, o principal problema é a diminuição do volume útil (MAIA, 2006).

Partículas de solo desprendidas, transportadas e depositadas podem acarretar o assoreamento de rios e lagoas, além de causarem a contaminação dos recursos hídricos. A erosão também pode ser considerada um problema devido ao fato de a perda de solo impactar na atividade agrícola, já que o solo é o meio suporte desse uso (CARVALHO, 1994).

3.3. EQUAÇÃO UNIVERSAL DA PERDA DE SOLO

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2012), a resistência do solo à ação erosiva da água é determinada por características físicas e químicas do solo e por diversos fatores que contribuem para a erosão. Por isso é necessário estudar as inter-relações desses fatores. A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) fornece a intensidade de cada fator contribuinte e serve como guia para o planejamento do uso do solo e através dela é possível analisar a prática conservacionista mais apropriada.

Para Miqueloni et al. (2012, p. 1359) a equação universal da perda do solo é muito conhecida “principalmente por ser prática e utilizar variáveis de fácil obtenção”. Essa equação considera quatro variáveis naturais e duas variáveis influenciadas por

ação antrópica e foi proposta por Wischmeier e Smith (1984). (SILVA; ALVARES, 2005).

A equação universal de perda de solo é usada como uma ferramenta para prever o impacto da erosão e, dessa forma, construir um plano diretor de bacias hidrográficas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

A equação universal da perda de solo está descrita da seguinte forma, como apresentada a seguir na Equação 1.

$$EUPS = R.K.LS.C.P \quad (\text{Equação 1})$$

O Fator K é a erodibilidade do solo, o Fator R é a erosividade causada pela precipitação, o Fator LS considera a topografia, o Fator C é calculado pelo de acordo com o uso e cobertura do solo e o Fator P analisa as práticas conservacionistas e o manejo do solo na área de estudo.

A equação universal da perda de solo é útil no gerenciamento ambiental de bacias hidrográficas e devido à facilidade de sua aplicação tornou-se uma ferramenta muito usada (FARINASSO et al., 2006).

A erosividade, uma das variáveis da EUPS, é causada pela precipitação e se traduz na sua capacidade em causar erosão na superfície do solo (ROQUE et al., 2001).

O conhecimento dos tipos de solo, de suas propriedades e características hidrológicas torna possível fazer inferências sobre sua suscetibilidade natural à erosão. O processo erosivo pode ser controlado por diversos fatores, com destaque para o comprimento de rampa e declividade do terreno (fator topográfico), as características da chuva (principalmente a intensidade), a cobertura e o tipo de manejo do solo e as práticas conservacionistas utilizadas. No entanto, alguns solos erodem mais facilmente que outros quando as demais condições são mantidas inalteradas. Esta diferença, inerente às propriedades do solo, é denominada erodibilidade do solo (DISSMEYER; FOSTER, 1980 apud DEMARCHI; ZIMBACK, 2014, p 103).

A erodibilidade, Fator K, é uma variável de trabalhosa determinação porque compreende carência de informações básicas, método demorado e alto custo. E a erodibilidade é descrita como um fator que fornece numericamente a suscetibilidade do solo à erosão, esse valor varia entre os diferentes tipos de solo e é delimitado entre 0 a 1 (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999).

Fator LS, variável que considera a topografia, é calculada pela declividade e o comprimento da vertente e é um fator muito importante, pois tem grande influência na erosão (PEREIRA, 2006).

Lemos (2010, p. 45) afirma que o Fator C, que representa a cobertura do solo, “é um fator importante para a proteção deste e para a atenuação das perdas”.

As práticas conservacionistas e o manejo do solo são considerados por causa do resultado das técnicas de conservação do solo na minimização do mesmo. Cada prática conservacionista age com intensidade diferente na preservação do solo, assim são consideradas numericamente com valores diferentes (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

3.4. ERODIBILIDADE

A suscetibilidade do solo à erosão se traduz de acordo com as características do clima de cada área de estudo e seu efeito nas diferentes classes de solo existentes (BERTOL, 2002). A capacidade do solo em receber erosão é expressa numericamente pela erodibilidade, denominada como Fator K na EUPS (SÁ et al., 2004).

O Fator K é o resultado da relação entre as variáveis que afetam a precipitação quando essa chega ao solo e a disposição do solo em sofrer erosão que é afetada pelas características físicas e químicas desse (ARRAES et al., 2010).

Wischmeier et al. (1971 apud FERREIRA et al., 2002) afirmaram que a erodibilidade é diretamente proporcional ao teor de silte e areia muito fina e inversamente proporcional à quantidade de argila e areia com diâmetro maior que 0,1mm. Ou seja, quanto maior a quantidade de silte e de areia muito fina, maior será o valor do K, e quanto maior a quantidade de areia com diâmetro superior a 0,1 mm e de argila, menor será a erodibilidade. A classificação da erodibilidade é apresentada na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Classificação da Erodibilidade

Intervalos de valores de erodibilidade (t.ha.h.ha ⁻¹ .MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)	Classes de interpretação
$K \leq 0,015$	Erodibilidade baixa
$0,015 \leq K \leq 0,030$	Erodibilidade média
$K > 0,030$	Erodibilidade alta

FONTE: Adaptado de CARVALHO (2008) adup LEMOS (2010)

3.5. EROSIVIDADE

Erosão é provocada pela energia cinética do escoamento superficial de água e do resultado do encontro entre a precipitação e a superfície do solo (CASSOL et al., 2008).

A erosividade pode ser descrita como o potencial da chuva em provocar erosão na superfície do solo (BAZZANO et al., 2010). Para Mello et al. (2007) a erosividade da chuva é uma das mais importantes variáveis que afetam a erosão.

Fatores como a intensidade da chuva, o diâmetro das gotas d'água e a energia cinética, que são atributos da precipitação, são considerados influenciadores da potencialidade da chuva em gerar a erosão. Esses atributos são responsáveis pela intensidade da erosividade (MORETI, 2003).

O Fator R é expresso numericamente e depende do potencial da chuva em causar erosão e é influenciado pela intensidade da precipitação e sua energia cinética (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008). Para se definir a erosividade é preciso conhecer e quantificar as propriedades da chuva que afetam os processos erosivos (CARVALHO et al., 2005).

3.6. O PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE ESPACIAL

Os Sistema de Informações Geográficas, conhecido como SIGs, são um conjunto de ferramentas compostas por programas capazes de tratar informações

espaciais. A tecnologia capaz manipular as respostas espectrais é aplicada no processamento digital de imagens (PEDRINI; SCHWARTZ, 2008).

O sensoriamento remoto é a tecnologia que tem a capacidade de capturar e compreender a radiação eletromagnética e sua resposta ao atingir um elemento na superfície da terra (ARAÚJO et al., 2010). O monitoramento da terra é possível por causa do sensoriamento remoto e da análise dos comportamentos espectrais de diferentes componentes da terra, que são captados pelos sensores (TEOTIA et al., 2003).

Existem diversos softwares capazes de realizar a manipulação e análise das respostas espectrais da superfície da terra. Esses programas utilizam o tratamento digital de imagens para realizarem o estudo desejado, o SPRING é um exemplo de software de SIG (NETO et al., 2008).

O tratamento digital de dados é um instrumento importante e muito usado para a análise dos aspectos da paisagem empregados na criação de mapas temáticos presentes em diagnósticos, mapeamentos e zoneamentos ambientais (BARBOSA et al., 2009).

O processamento da imagem para a análise da paisagem é feito através da aglomeração de blocos de pixels que têm informações semelhantes, para isso, é utilizado um método classificador que determina o grau de semelhança (CRUZ; RIBEIRO, 2008).

Existem alguns métodos classificadores disponíveis para uso no SPRING, eles podem ser classificados como classificação supervisionada, semi-supervisionada e não supervisionada (SILVA; PEREIRA, 2007).

O Bhattacharya, um dos classificadores disponível no SPRING, é um classificador semi-supervisionado por região. Para o uso desse classificador é necessário fornecer áreas de treinamento, utilizando a distância Bhattacharya, é medida a separabilidade estatística entre cada par de classes espectrais (LEÃO et al., 2007). Segundo Oliveira e Mataveli (2013) o classificador Bhattacharya alcançou melhores resultados quando comparado aos resultados obtidos pelo classificador Iseseg no estudo realizado por eles.

Classificadores por região usam a informação espectral dos pixels para agrupar pixels próximos com a mesma informação, formando regiões (KURY; VIEIRA, 2011).

4. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do São Francisco Verdadeiro está localizada no Oeste do Paraná, entre as coordenadas geográficas, longitudes 53°25'30" e 54°22'30" W, e latitudes 25°03'00" e 24°32'00" S. Possui uma área de 2.227,5 km² e, segundo Schmidt (2014), uma vazão média de 46,9 m³s⁻¹ e envolve onze municípios. São eles: Cascavel, Entre Rios do Oeste, Marechal Cândido Rondon, Ouro Verde do Oeste, Pato Bragado, Quatro Pontes, Santa Helena, Santa Tereza do Oeste, São José das Palmeiras, São Pedro do Iguazu e Toledo.

De acordo com González (2008) a agricultura compõe uma fração importante na economia da bacia e a agropecuária é uma atividade impactante. Devido à disposição inadequada de dejetos ocorre contaminação do entorno e a desestruturação de terraços e estruturas de contenção d'água, conseqüentemente maior transporte de sedimentos no leito do corpo hídrico.

A nascente do rio São Francisco Verdadeiro é na área urbana de Cascavel e sua foz é o rio Paraná, onde está o reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional. O clima dominante no local, de acordo com a classificação Koppen, é Cfa, que corresponde a clima temperado chuvoso e sem ocorrência de estação seca e moderadamente quente. Porém, também está presente o Cfb, que é caracterizado por clima temperado úmido com verões temperados. Estão presentes massas de ar de origem tropical, Massa Tropical Atlântica e Massa Tropical Continental, e a Massa Polar Atlântica e pode ser influenciado pela Massa Equatorial Continental.

A média da temperatura varia de 20°C em um extremo leste da bacia a 23°C no extremo Oeste, onde se localiza a foz do rio São Francisco Verdadeiro. A média pluviométrica anual varia de 1800 mm a 1500 mm ao longo da bacia no sentido leste - oeste, de acordo com SUDERHSA (1998).

A bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro, encontra-se inserida na unidade hidrográfica do Paraná 3, no Oeste do estado do Paraná, como se pode observar na Figura 1 a seguir.

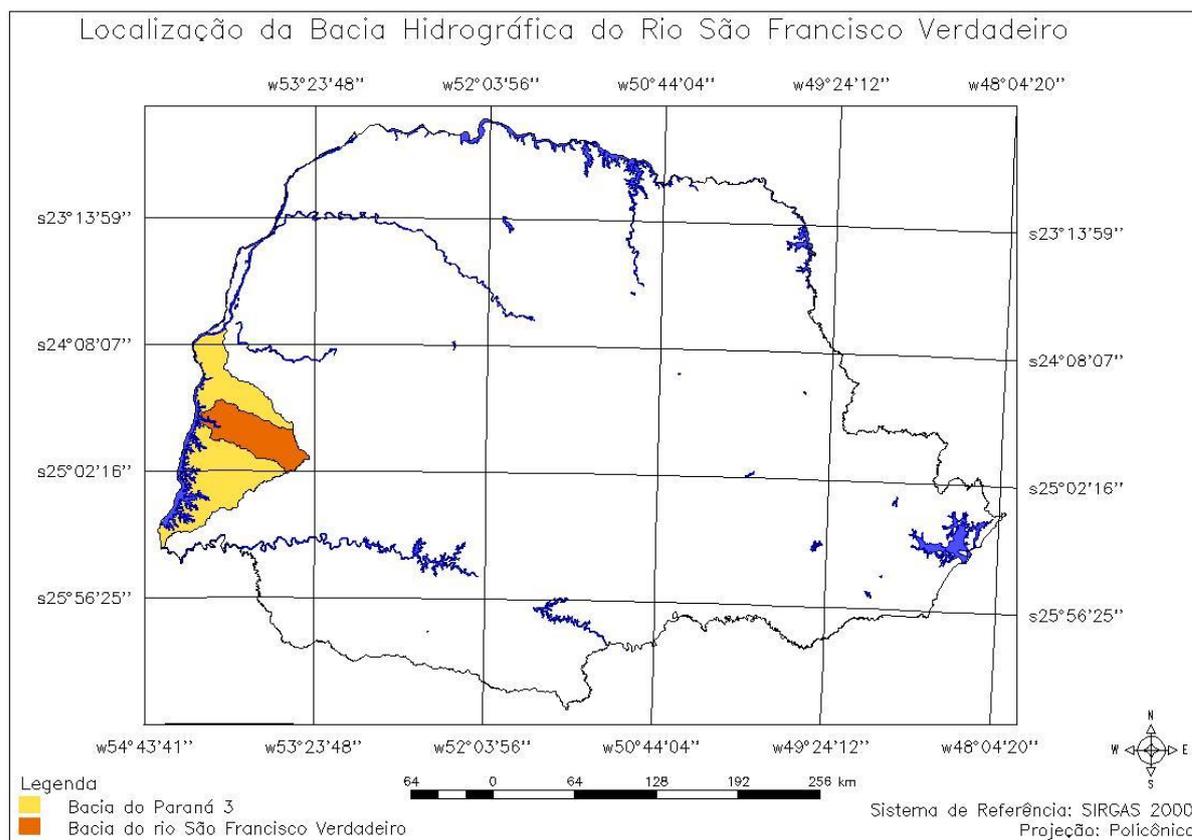


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro

A bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro está localizada no Terceiro Planalto Paranaense. Compreende uma área que é formada por sedimentos paleozoicos cobertos por derrames de basalto de idade mesozoica da Formação Serra Geral.

De acordo com a MINEROPAR (2006), as unidades morfoesculturais que estão presentes são: Planalto do São Francisco, o Planalto de Foz do Iguaçu e o Planalto de Cascavel. O Planalto de Cascavel está presente na nascente, o Planalto de São Francisco está presente na maior parte da bacia, o Planalto de Foz do Iguaçu está localizado na área próxima ao lago de Itaipu.

Segundo o Centro Internacional de Hidroinformática (CIH), a cobertura fitogeográfica original bacia do São Francisco compreende a floresta estacional semidecidual, floresta ombrófila mista e floresta ombrófila mista – Montana.

Do ponto de vista topográfico, conforme se observa na Figura 2, a bacia apresenta amplitude altimétrica de 622 m, sendo que a menor cota encontrada é de 164 m e a maior é de 786 m.

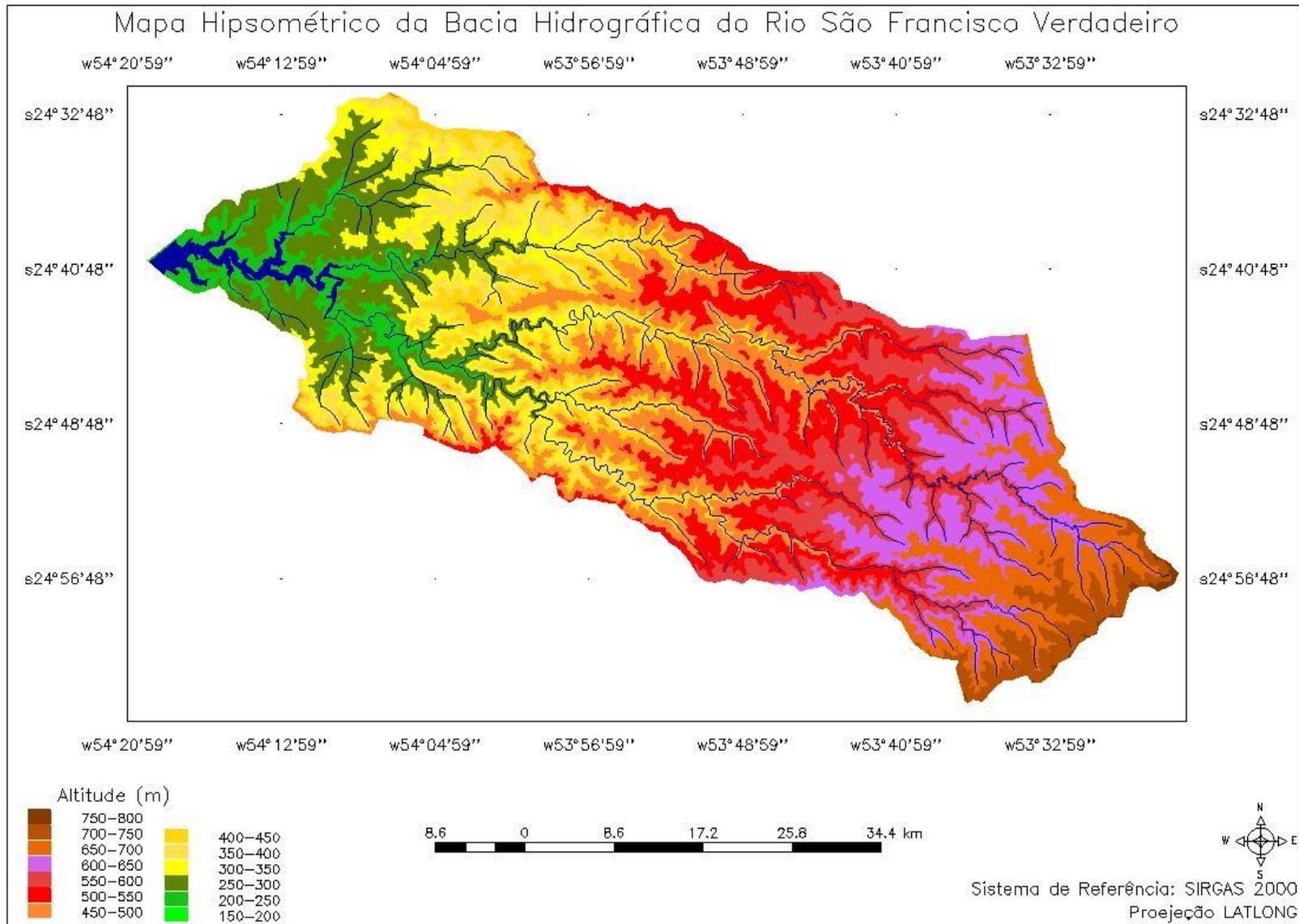


Figura 2 - Mapa Hipsométrico da bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. PRODUÇÃO DE MATERIAL CARTOGRÁFICO

5.1.1. Delimitação da bacia hidrográfica

Foram criados o banco de dados BD_BACIA_RSJV e o projeto SÃO_FRANCISCO VERDADEIRO no programa SPRING. Para a projeção adotou-se o sistema LATLONG, e o Datum escolhido foi SIRGAS 2000.

Depois foi importada a Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) na categoria Modelo numérico do terreno (MNT), e nos comandos Geração de isolinhas e Geração de texto foram geradas as isolinhas e o texto que corresponde aos valores de isolinhas.

Utilizando a SRTM, as isolinhas e a cota, foi delimitada a bacia do rio São Francisco Verdadeiro na opção de Edição vetorial. Foi usada Linha como opção de Entidade, Modo escolhido foi Passo, a Tolerância e o Fator de Digitação foram selecionados como 2,00. Utilizou-se a opção Poligonizar, após, salvou-se com o PI LIMITE_BACIA_RSJV na categoria temática limite. A seguir, foi recortada a SRTM usando a opção Recortar Plano de Informação no menu Ferramenta. O recorte foi salvo como PI BACIA_RSJV na categoria MNT.

5.1.2. Hipsometria

Foi criado na categoria temática o modelo de dados denominado Hipsometria_Bacia, e definidas as classes temáticas. Foram criadas 13 classes temáticas com valores entre 150 a 800, usando a equidistância de 50 m.

Selecionou-se o PI BACIA_RSJV, e depois foram determinados os valores de máximo e mínimo, usando o comando Análise Exploratória que está na opção de Geoestatística encontrada no menu Análise do SPRING. Após determinar esses

valores foi selecionada a opção Fatiamento no menu MNT no Spring, a categoria de saída escolhida foi o modelo de dados temático Hipsometria_bacia criado anteriormente. O PI de saída foi nomeado hipsometria. A definição de fatia foi feita em passo variável com mínimo de 150 m, o máximo 800 m, a equidistância utilizada foi 50 m. Esses valores foram inseridos e executados. A seguir, foram associadas as fatias e as classes e executado o fatiamento. O mapa Hipsométrico foi criado na opção SCarta do programa SPRING.

5.1.3. Declividade

A categoria MNT Declividade foi criada no programa SPRING. Após selecionar a opção imagem do PI BACIA_RSFV, usando a opção Declividade no menu MNT, foi gerada a declividade como PI Declividade_bacia na categoria Declividade criada anteriormente.

Criou-se a categoria temática Declividade_ROSS e para a criação das classes temáticas usou-se as classes de declividade propostas por ROSS. Selecionou-se a opção imagem no PI Declividade_bacia.

A seguir, foi usada a opção Fatiamento no menu MNT, definiu-se a categoria de saída como Declividade _ROSS e o PI de saída como Declividade_ROSS. Foi feita a Definição de fatia em passo variável com base na metodologia proposta por ROSS (1994) – (Tabela 2). Após a Associação de Fatias, executou-se o Fatiamento MNT. A Tabela 2 em seguida apresenta os valores de declividade e sua classificação que foi proposta por ROSS (1994). O mapa de declividade foi criado na opção SCarta do programa SPRING.

Tabela 2 - Classificação da Declividade

Categoria	Porcentagem
Muito Fraca	< 6 %
Fraca	6 – 12 %
Média	12 – 20 %
Forte	20 – 30 %
Muito Forte	> 30 %

Fonte: ROSS (1994)

5.1.4. Mapa de uso e cobertura do solo

Na criação do mapa de uso e cobertura do solo utilizou-se as imagens do vermelho (banda 4), infravermelho próximo (banda 5) e infravermelho médio (banda 6) do sensor ótico Operacional Terra Imager (OLI), que possui a resolução espectral de 30 m. O OLI é um dos dois instrumentos imageadores do satélite Landsat 8. As bandas 4, 5 e 6 das órbitas 223 e 224 e do ponto 77 do satélite Landsat 8 foram obtidas no catálogo de imagens do INPE. Essas imagens foram capturadas nos dias 18 de maio de 2016 e 22 de abril de 2016, respectivamente. Utilizando o mosaico foi possível importá-las para a categoria imagem.

O limite da bacia foi usado para recortar as imagens nas bandas importadas, para recortar foi usada a opção Recortar Plano de Informação no menu Ferramentas. Após, foi selecionado o azul na banda 4, o verde na banda 5 e o vermelho na banda 6 e foi criada uma imagem sintética, usando a opção contraste no menu Imagem, esse método resultou em uma falsa cor. A sintética foi salva como PI 4B5G6R.

Usando a opção Segmentação no menu Imagem, foi feita a segmentação das bandas recortadas 4, 5 e 6. Para isso utilizou-se o método Crescimento de regiões, a similaridade 15 e a Área (pixels) 30. A categoria de saída foi imagem, e o PI Seg_bhattacharya_sim15_px30 e foi usada a suavização de arcos.

Após selecionar a opção Rotulada no PI Seg_bhattacharya_sim15_px30, foi aberta a janela Classificação depois de clicar na opção Classificação no menu Imagem. Na janela Classificação foi criado o contexto CLASSIFICAÇÃO_sim15_px30, selecionadas as bandas recortadas 4, 5 e 6 e feita a Extração de Atributos das Regiões. A seguir foi feito o treinamento, criando os temas vegetação, pastagem, solo exposto, área agrícola e água. Foram adquiridas vinte amostras para cada tema. As amostras de aquisição foram escolhidas considerando como verdade:

1. Vegetação: é toda área de floresta que apresentou como resultado da falsa cor, na composição colorida das bandas, o verde escuro com rugosidade;
2. Pastagem: são os campos abertos que apresentaram cor verde amarelada na composição colorida das bandas, gerando falsa cor.

3. Solo Exposto: são áreas em que o solo encontra-se exposto e regiões onde o solo encontra-se coberto por palha (no período entressafra) ou coberto por lavoura de baixo porte (início do ciclo). Essas áreas apresentaram como resultado diferentes tonalidades de azul, marrom, rosa e roxo na composição colorida das bandas, onde criou-se a falsa cor.
4. Área agrícola: corresponde a áreas que apresentaram cor verde clara e escura sem rugosidade como resultado da falsa cor.
5. Água: corresponde aos cursos hídricos, apresentou preto azulado na falsa cor criada na composição colorida das bandas.

A classificação de Imagens foi feita usando Bhattacharya como Tipo de Classificador e 95% como o Limiar de Aceitação. A categoria de saída foi Imagem e o PI `bhattacharya_95%_sim15_px30`.

O PI `bhattacharya_95%_sim15_px30` foi selecionado como imagem classificada e foi feito o pós-treinamento usando Edição Matricial. Utilizando a opção Copiar área do menu Tipo e o PI `Seg_bhattacharya_sim15_px30` na Edição Matricial foi verificada toda a classificação da imagem e a correção, quando necessária.

A categoria temática `Mapa_de_Uso` e as classes temáticas vegetação, pastagem, solo exposto, área agrícola e água foram criadas. Selecionou-se como classificada o PI `bhattacharya_95%_sim15_px30`. Usando a opção Mapeamento de Classes para Imagem no menu Imagem e associando as classes foi gerado na categoria temática o mapa de uso com o PI `bhattacharya_95%_sim15_px30-T`.

A delimitação das áreas urbanas e do lago foi feita usando o programa Google Earth e depois foi exportada com o formato KMZ. Os arquivos foram importados para o programa Global Mapper, os limites foram vetorizados e exportados em um único arquivo com o formato shapefile. Finalmente, foram importadas para o banco de dados da bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro no programa SPRING, criou-se uma classe temática na categoria temática `Mapa_de_Uso` denominada áreas urbanas e associou-se essa classes temática e o limite das áreas urbanas na opção Edição Vetorial do SPRING. O mapa de uso e cobertura do solo foi criado no programa SPRING usando a opção SCarta.

5.1.5. Mapa de solo

Criou-se a categoria temática Solos e as classes temáticas NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico (NVef), LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico (LVef), LATOSSOLO VERMELHO Distroférico (LVd), ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico (PVe), GLEISSOLO HÁPLICO (GX) e o NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico (RLe).

Importou-se para o banco de dados o shapefile do solo disponibilizado pelo Instituto de Terras Cartografia e Geociências (ITCG) em 2013, como PI SOLOS na categoria temática Solos. Recortou-se o PI SOLOS utilizando a opção Recortar Plano de Informação no menu Ferramentas e salvou-se como PI SOLOS_BACIA. Utilizando a janela Editar Classes Temáticas em Edição Vetorial foi possível associar as classes temáticas ao polígono correspondente. Para a criação do mapa de solo utilizou-se a opção SCrta no programa SPRING.

5.1.6. Mapa de pluviosidade

Foi vetorizado o mapa de clima da bacia do rio São Francisco Verdadeiro criado pela IAPAR, utilizando o programa Global Mapper, e salvo o arquivo foi exportado em formato shapefile. O arquivo foi importado para o banco de dados da bacia do rio São Francisco Verdadeiro.

A categoria temática clima foi criada e as classes temáticas 1500 mm, 1600 mm, 1700 mm e 1800 mm. Foi importado o arquivo shapefile do mapa de clima para essa categoria e associadas aos polígonos as classes de acordo com a média mensal de precipitação. Foi utilizada a opção Editar Classes Temáticas em Edição Vetorial para fazer essa associação. O mapa de pluviosidade foi criado, utilizando a opção SCarta no programa SPRING.

5.2. DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE

O Fator K da equação universal de perda de solo é influenciado pelas características do solo e suas propriedades que afetam a capacidade de retenção da água e sua resistência à erosão. A erodibilidade do solo é baseada na porcentagem de areia, silte e argila.

A determinação da erodibilidade de cada classe de solo foi realizada usando os valores de areia, silte e argila encontrados pela Embrapa (1984) e aplicada a metodologia proposta por Mannigel et al. (2002), que está apresentada na Equação 2 a seguir.

$$\text{Fator K} = (\% \text{ Areia} + \% \text{ Silte}) / (\% \text{ Argila}) / 100 \quad (\text{Equação 2})$$

5.3. DETERMINAÇÃO DA EROSIVIDADE

A determinação da erosividade, Fator R, foi feita aplicando a Equação 3 a seguir, que foi proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1990) e citada por Tomazoni e Guimarães (2005). Onde, r é média mensal de precipitação (milímetros) e P é a média anual de precipitação (milímetros por ano).

$$\text{Fator R} = 67,355(r^2/P)^{0,85}.12 \quad (\text{Equação 3})$$

A média anual de precipitação foi encontrada no mapa do clima feito pela IAPAR da bacia do rio São Francisco Verdadeiro. Para o valor de média mensal de precipitação foram usados os valores de média anual de precipitação dividido pelo número de meses em um ano, que são 12.

5.4. SUGESTÃO DE PRÁTICAS DE CONSERVAÇÃO DO SOLO

As sugestões das práticas de conservação foram realizadas considerando os resultados, os métodos e as referências discutidas no âmbito das Ciências da Terra.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO VERDADEIRO

O mapeamento do uso e cobertura da bacia apresentou uma vasta área coberta por solo exposto ao longo da bacia. O Solo exposto está presente, principalmente, em regiões com baixa declividade e solos profundos e com propriedades que contribuem para o uso agrícola. Pode-se supor que são regiões que possuem áreas agrícolas que estão descobertas devido ao período de entressafra. As imagens do Landsat 8 foram capturadas em datas que coincidem com o fim da colheita do milho safrinha. Esse fato também explica a pouca ocorrência de áreas agrícolas. As áreas agrícolas também foram encontradas em locais onde as características do solo profundo e relevo de baixa dissecação favorecem a agricultura.

A pastagem limita-se à região Sul-sudoeste, é uma região que possui área de média declividade e classe de solo NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico. Essa classe de solo ocorre em regiões com declividade média (12 a 20%) e é um solo pouco profundo e, normalmente, apresenta pedregulhos. Esse fato justifica o uso do solo para a pecuária e não para a agricultura.

A vegetação está em áreas de declividade média (12 a 20%) e forte (20 a 30%), e em áreas de mata ciliar. A cobertura da vegetação é muito importante nesses casos porque protege contra o deslizamento de solo e erosão. Além disso, bloqueia as partículas de solo que estão sendo transportadas e evita que cheguem aos cursos de rios. Andrade et al. (2005) afirmam que as matas ciliares contribuem para manter uma boa qualidade da água e preservam os cursos hídricos.

Schmidt (2014) identificou como uso dessa bacia hidrográfica quatro atividades que influenciam a qualidade da água, entre elas, a agricultura e a pecuária. Segundo o autor, essas atividades causam erosão superficial e contribuem para o processo de sedimentação. Na Figura 3 a seguir é apresentado o mapeamento do uso e cobertura do solo.

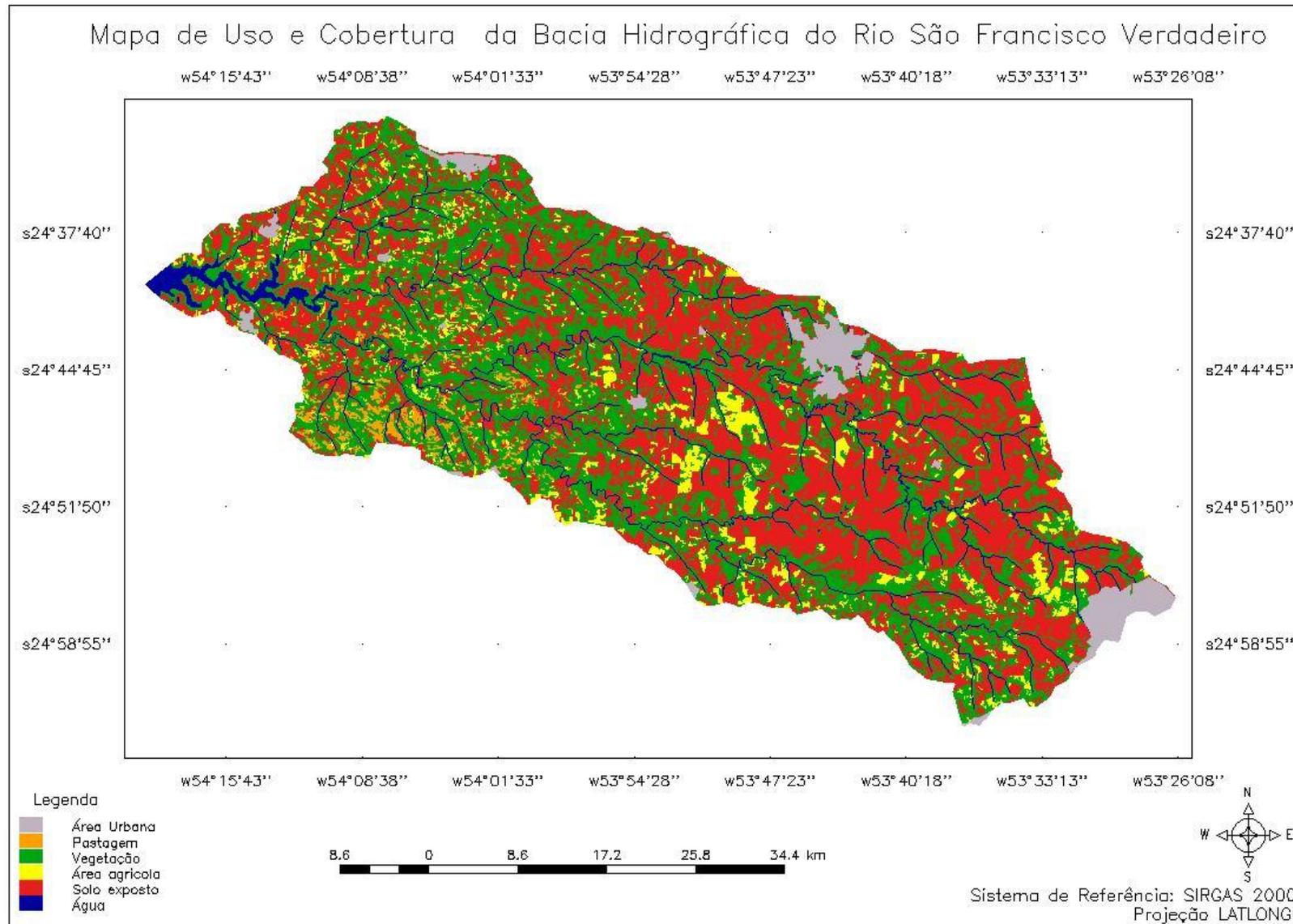


Figura 3 - Mapa de uso e cobertura da bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro

Em grande parte da bacia a pluviosidade é de 1600 mm e esse valor de precipitação está próximo da pluviosidade média encontrada na bacia hidrográfica do rio São Francisco, que é de 1650 mm. Em parte da região centro-sul e na região leste encontram-se os maiores valores de precipitação que a bacia possui, 1800 mm e 1700 mm.

Na região da foz do rio São Francisco Verdadeiro e do lago de Itaipu está localizada a faixa em que ocorre 1500 mm, sendo esse o menor valor de pluviosidade (Figura 4).

As declividades predominantes na bacia são entre 0 a 6% e 6 a 12%, caracterizando relevos planos e com suaves ondulosos. A declividade média está presente ao longo da bacia vinculada aos cursos hídricos e ao NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico.

A região Sul-sudoeste apresenta um conglomerado de áreas com média e forte declividade. Nessa região o solo predominante é o NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico e o NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico e o uso do solo é para vegetação e pastagem.

A associação entre as classes de solo NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico e o NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico com o uso e cobertura do solo vegetação e pastagem pode ser explicada pela declividade, pois nessa declividade o uso do solo torna-se limitado e apresenta a necessidade da vegetação.

A legislação ambiental, Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012, estabelece a declividade superior a 45% como áreas de preservação permanente, porém Tagliani (2003) explica que a declividade é um importante fator de avaliação quanto ao risco de erosão e em áreas de maior declividade existe maior vulnerabilidade ambiental.

Segundo Cogo et al. (2003) a declividade é um influenciador da perda de solo porque à medida que a declividade aumenta, a velocidade das enxurradas aumenta também, o que eleva a possibilidade dessa desagregar partículas de solo e transportá-las. O mapa de declividade da bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro está apresentado na Figura 5, abaixo.

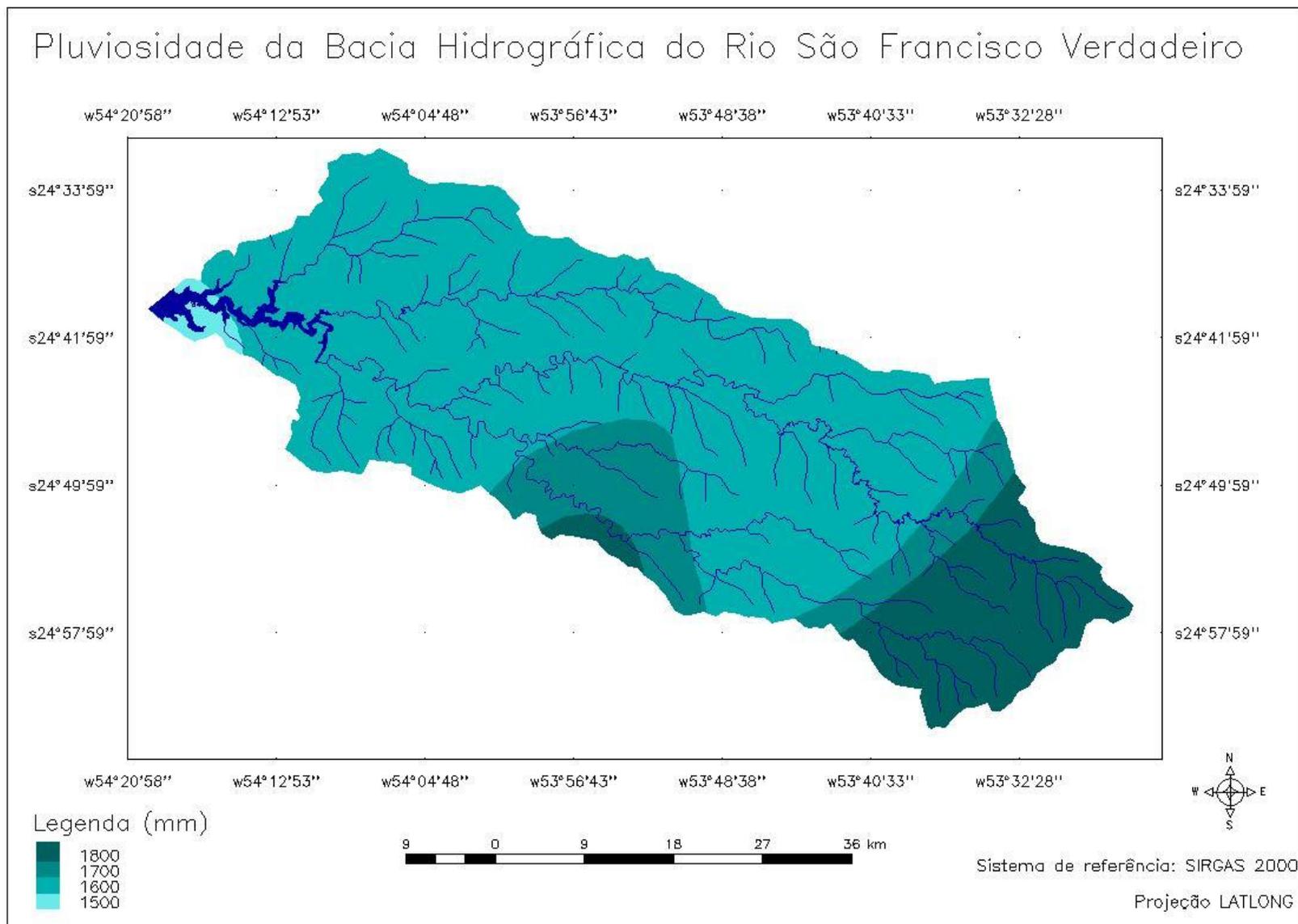


Figura 4 - Pluviosidade da bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro

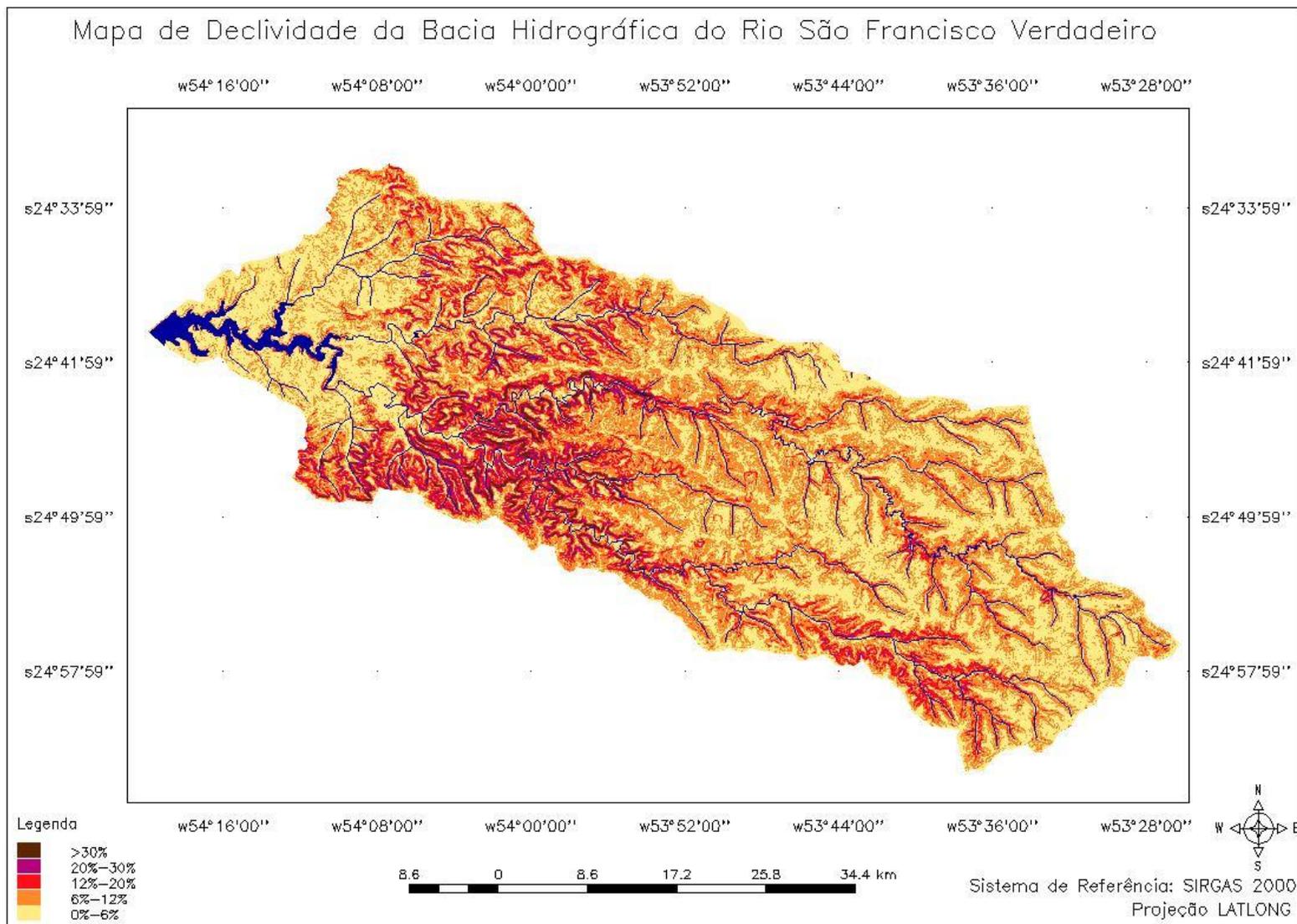


Figura 5 - Mapa de declividade da bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro

Do ponto de vista pedológico, a bacia possui tanto solos desenvolvidos e profundos, como o LATOSSOLO VERMELHO Distroférico, o LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico e o NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico, quanto solos pouco desenvolvidos e rasos, como o NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico.

As classes de solos predominantes são o LATOSSOLO VERMELHO Distroférico, o LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico e o NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico, que juntas representam 87,53% dos solos da bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro.

O NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico coincide com a hidrografia da bacia e a região próxima aos cursos de rios e também com a declividade fraca e média ao longo da bacia. Essa classe de solo é profunda e bem drenada e origina-se de rochas básicas, como o basalto, que é o caso dessa bacia hidrográfica. Esse solo apresenta alto teor de ferro e alta fertilidade natural, beneficiando o uso agrícola. Quando associado com divisores de água secundários, como ocorre nessa bacia, e em declividade mais acentuada, é necessário tomar precauções quanto à ocorrência de erosão.

A margem do lago possui a classe de solo ARGISSOLO VERMELHO eutrófico. É um solo de alta fertilidade, porém, devido à sua localização, grande parte desse solo está coberto por mata ciliar e pelo lago, o que impossibilita outros tipos de uso.

A classe de solo denominada GLEISSOLO HÁPLICO encontra-se restrita a uma pequena região de baixa declividade. Essa classe de solo é caracterizada por ser hidromórfica, ou seja, apresenta saturação de água, e encontra-se em áreas planas.

O NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico é encontrado em parte da região centro-sul e na região sul. Esse solo encontra-se associado principalmente a valores de declividade média (12 a 20%) e forte (20 a 12%).

O LATOSSOLO VERMELHO está presente em uma ampla área da bacia do São Francisco Verdadeiro, é caracterizado por ser um solo muito intemperizado e ter o horizonte B espesso. A bacia hidrográfica possui para essa classe de solo a classificação de terceiro nível Distroférico e Eutroférico, sendo que solos Distroféricos possuem menos fertilidade e alto teor de ferro, e solos Eutroféricos são diferenciados pela alta fertilidade e alto teor de ferro. Quando se compara o

LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico com o LATOSSOLO VERMELHO Distroférico, o primeiro tende a ser menos intemperizado.

O LATOSSOLO VERMELHO Distroférico e o LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico ocorrem em áreas com baixa declividade, a associação desses fatores contribuem para que o solo seja utilizado pela agricultura. O LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico limita-se, principalmente, na região oeste da bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro e o LATOSSOLO VERMELHO Distroférico estende-se pela região nordeste, sudeste e parte da região central. As classes de solo estão apresentadas na Figura 6 a seguir.

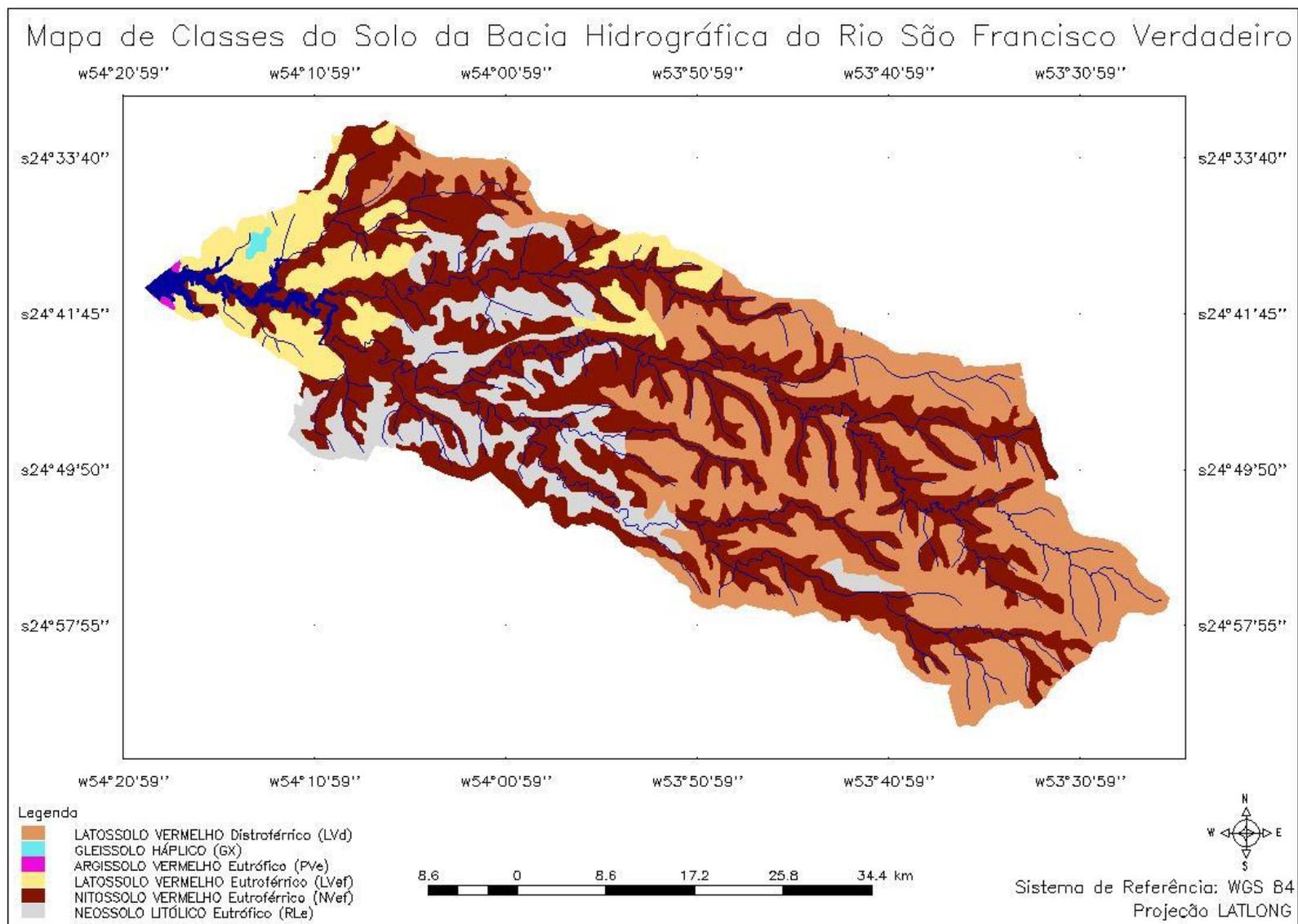


Figura 6- Mapa de classes de solo da bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro

6.2 ERODIBILIDADE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO VERDADEIRO

A erodibilidade, denominada Fator K, foi calculada com base nas proporções de areia, silte e argila presentes em cada classe de solo. Os valores de erodibilidade encontrados são exibidos na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 - Erodibilidade da Bacia Hidrográfica do São Francisco Verdadeiro

Solo	Fator K (t.ha.h.ha ⁻¹ .MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)	Área km ²	% total
ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico	0,1007	6,44	0,29
GLEISSOLO HÁPLICO	0,0072	3,31	0,15
LATOSSOLO VERMELHO Distroférico	0,0036	705,32	31,66
LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico	0,0036	197,98	8,89
NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico	0,0178	268,00	12,03
NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico	0,018	1046,45	46,98
Área total		2227,49	100,00

O ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico apresentou alta erodibilidade e ocupa apenas 0,29% da bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro. Vale ressaltar que essa classe de solo encontra-se apenas no leito e na margem do lago, sendo formada basicamente por depósito de material transportado.

Por ser encontrado na margem do lago e apresentar o maior valor de erodibilidade é essencial o maior cuidado com o ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico para evitar a erosão, principalmente quando utilizado pela agricultura.

As classes de solo LATOSSOLO VERMELHO Distroférico e LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico foram as classes que apresentaram os menores valores de erodibilidade, que é justificado por serem classes com maiores teores de argila.

O uso agrícola torna-se mais adequado quando associado à baixa declividade e à baixa erodibilidade apresentadas por essas classes de solo. As classes de solo LATOSSOLO VERMELHO Distroférico e LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico ocupam 40,55% do total da bacia.

O GLEISSOLO HÁPLICO também apresentou baixo valor de erodibilidade, o que pode ser validado pelo fato de que esse solo é encontrado em uma região de baixa declividade, nessa bacia, seu uso é agrícola.

Apesar do GLEISSOLO HÁPLICO ser encontrado em terrenos planos e ter

baixa erodibilidade, também é necessário tomar medidas preventivas para evitar problemas associados à degradação do solo.

O NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico e o NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico apresentaram valores de erodibilidade médios e encontram-se nas áreas que estão cobertas por vegetação e pastagem, que ameniza a ocorrência de erosão em comparação com a região que está com solo exposto devido à entressafra da agricultura.

Demarchi e Zimback (2014) avaliaram a erodibilidade do NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico usando dois métodos, sendo o primeiro a metodologia proposta por Denardin (1990) e o segundo o método proposto por Mannigel et al. (2002). Os autores obtiveram o Fator K igual a 0,048 e 0,018 t.ha.h.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹, respectivamente. O resultado que eles obtiveram pelo método apresentado em Mannigel (2002), mesmo método usado neste estudo, coincidiu com o resultado obtido.

Pode-se identificar como a área menos propensa à erosão uma grande extensão da bacia hidrográfica que possui LATOSSOLO VERMELHO Distroférico associado à erodibilidade baixa, baixa declividade e precipitação de 1600 mm.

Na Figura 7 é possível verificar o Fator K ao longo da bacia hidrográfica do rio São Francisco Verdadeiro. Como a erodibilidade foi determinada por componentes do solo, a região que apresenta determinado Fator K corresponde à mesma que possui a classe de solo correspondente.

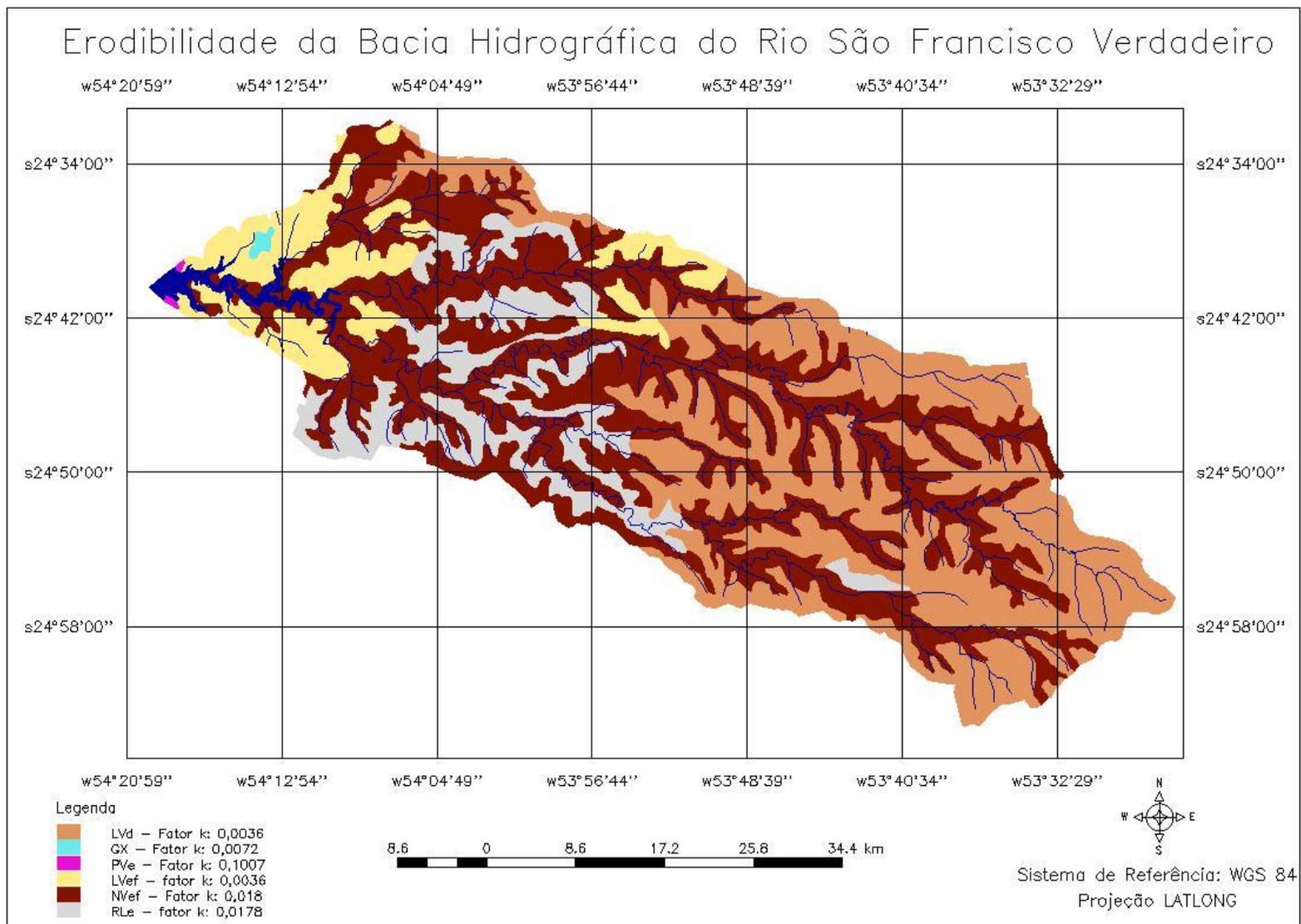


Figura 7 - Erodibilidade da bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro

6.3 EROSIVIDADE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO VERDADEIRO

A bacia do São Francisco apresentou a erosividade média, Fator R médio, de 6422.1 MJ/ha.mm/ano. Como a erosividade está diretamente ligada à intensidade da chuva, já era esperado que a região onde a pluviosidade é maior apresentasse naturalmente o maior fator de erosividade.

Constatou-se que nas regiões Leste e Centro-sul da bacia a precipitação apresentou valores de 1800 mm e 1700 mm, os valores de erosividade correspondentes foram de 6.917,11 MJ/ha.mm/ano e de 6.589,08 MJ/ha.mm/ano, respectivamente. Sendo o primeiro a erosividade máxima encontrada.

Verificou-se que a região oeste, onde se encontra precipitação igual a 1500 mm, apresenta erosividade de 5.924,07 MJ/ha.mm/ano. Uma imensa porção da bacia apresentou erosividade igual a 6.258,07 MJ/ha.mm/ano, que foi encontrada utilizando a precipitação referente a essa área, 1600 mm. Na Tabela 4, a seguir, está o resultado do cálculo do Fator R.

Tabela 4 - Erosividade da Bacia Hidrográfica do São Francisco Verdadeiro

Classes (mm)	Fator R (MJ/ha.mm/ano)	Área km ²	% total
1500	5.924,07	32,57	1,46
1600	6.258,14	1608,49	72,21
1700	6.589,08	257,97	11,58
1800	6.917,11	328,43	14,74
Área total		2227,45	100,00

Na porção Centro - Sul da bacia hidrográfica, onde se encontra a erosividade igual 6.917,11 MJ/ha.mm/ano e 6.589,08 MJ/ha.mm/ano, também ocorrem valores medianos de erodibilidade por causa da presença das classes de solo NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico e o NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico. Por isso é uma região que precisa receber maior cuidado e precaução no uso do solo. Nessa região o uso do solo presente é vegetação, área agrícola e solo exposto.

Em uma extensa área da bacia, onde se encontra erosividade igual 6.258,14 MJ/ha.mm/ano, também apresenta valores baixos e médios de erodibilidade. Na Figura 8 está apresentado o Mapa da erosividade da bacia hidrográfica.

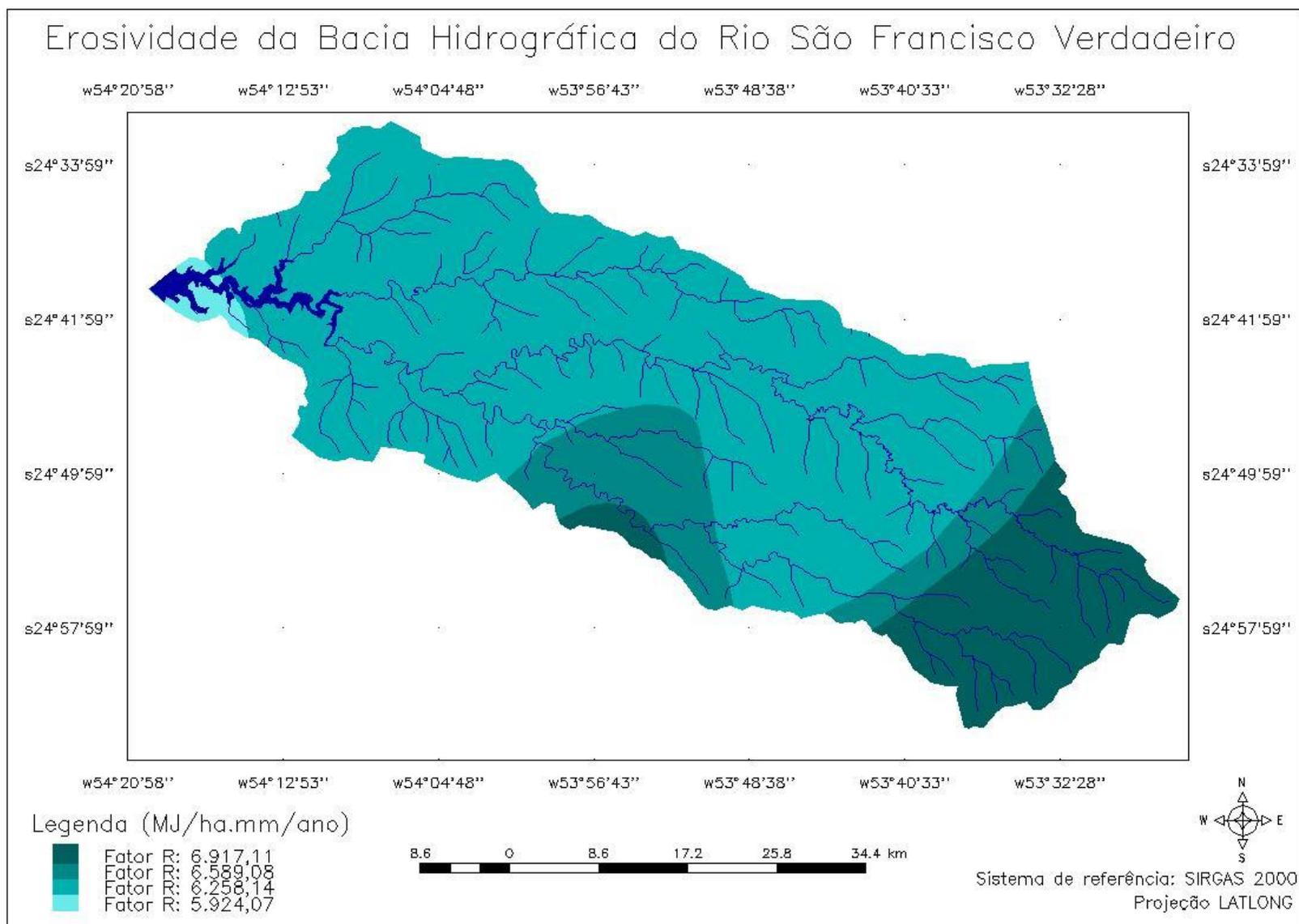


Figura 8 - Erosividade da bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro

6.4. PROPOSTAS DE CONSERVAÇÃO

6.4.1. Integração lavoura, pecuária e floresta

Na região Centro-sul da bacia, onde a declividade é média e forte e está associada ao NEOSSOLO VERMELHO Eutrófico, média erodibilidade e alta erosividade, região com maior suscetibilidade à erosão devido à associação de fatores, é indicado o uso do sistema de integração lavoura, pecuária e floresta para prevenir a erosão.

Sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta são caracterizados por associar esses elementos na mesma área. Esses sistemas de integração têm inúmeras vantagens, entre elas, pode-se citar a capacidade de recuperar áreas degradadas, reconstituir a cobertura vegetal e realizar a reciclagem de nutrientes do solo (BALBINO et al., 2011).

A cobertura vegetal previne a erosão porque impede que as gotas de chuva impactem diretamente na superfície do solo, facilita a infiltração e reduz o escoamento superficial. Santos et al. (2000) afirmaram que, quando a cobertura vegetal é comprometida, o escoamento superficial é modificado, podendo aumentar o arraste de sedimentos. Neste sentido, a presença de vegetação contribui com a diminuição dos riscos de erosão.

Nesse mesmo contexto, Assis et al. (2015) ressaltam a importância na qualidade do solo. Conforme destacam os autores, as pesquisas recentes demonstram melhores resultados na qualidade física do solo em uma área com integração lavoura, pecuária e floresta, quando comparados aos resultados de uma área de pastagem degradada.

6.4.2. Plantio direto

A agricultura é o uso dominante encontrado na bacia hidrográfica do rio São Francisco Verdadeiro, isso tornou-se evidente no mapa de uso e cobertura do solo.

Por isso, usar técnicas que controlam a erosão nas áreas agrícolas é essencial para o controle da erosão em toda a bacia.

A técnica do sistema plantio direto é um manejo conservacionista que envolve cobertura permanente do solo, rotação de culturas, revolvimento do solo apenas na linha de semeadura.

Sobrinho et al. (2003) estudaram a infiltração de água em sistema de plantio direto e convencional no LATOSSOLO VERMELHO Distroférico e concluíram que a taxa de infiltração é maior no sistema de plantio direto que no convencional.

Silva (2010) esclarece que o sistema de plantio direto apresenta uma diminuição da erosão quando comparado ao sistema convencional de plantio. No entanto, esse sistema não tem eficiência no controle de perdas de solo por enxurradas, sendo necessário aliar ao uso de terraços.

Genro Junior et al. (2009) ressaltam que, quando se cultiva usando a técnica de plantio direto em LATOSSOLO VERMELHO, pode ocorrer um elevado grau de compactação. Costa et al. (2011) estudaram a possibilidade de diminuir a compactação gerada pelo sistema de plantio direto usando rotação de culturas e adubação orgânica.

6.4.3. Plantio em curvas de nível

Santos et al. (2000) e Cavichiolo (2005) concluíram que cultivar morro abaixo eleva a erosão do solo. A técnica de plantar em curva de nível ajuda a prevenir contra erosão e contribui para a infiltração da água. Por isso, também pode ser implantada em áreas agrícolas para a minimização da perda de solo.

Nessa prática, a cultura é plantada em linhas transversais à inclinação do relevo, assim constituindo barreiras contra o escoamento da água. Pode ser aplicada em áreas agrícolas localizadas em baixa declividade, ao contrário de terraços que são largamente usados em cultivos em locais de alta declividade.

É uma técnica conservacionista que já foi muito utilizada no estado do Paraná, mas atualmente muitos agricultores, principalmente aqueles que praticam o

plantio direto, não têm utilizado essa técnica por considerarem desnecessária, fato que pode contribuir com o aumento dos processos de erosão e assoreamento.

6.4.4. Rotação de culturas

Alterar o tipo de cultura periodicamente em uma determinada área caracteriza a rotação, de acordo com Igue (1984 adup CARVALHO et al., 2007). Essa técnica, quando usada corretamente, pode melhorar as características físicas, químicas e biológicas dos solos. Assim, essa técnica torna-se indicada para conservação do solo em áreas agrícolas em toda a bacia.

Segundo Franchini et al. (2011) a rotação de culturas gera a quantidade de fitomassa necessária da parte superficial e raízes que contribuem para o aumento do teor da matéria orgânica do solo e para a cobertura morta, que protegem o solo e favorecem a minimização do processo erosivo.

Franchini et al. (2011) afirmaram que a rotação de cultura é essencial para preservar a eficiência do sistema de plantio direto.

De acordo com Santos e Tomm (1999), a rotação de cultura pode ser implantada juntamente com o plantio direto em áreas agrícolas. Essa técnica conservacionista associada ao plantio direto, além de promover o controle da erosão, irá contribuir para proporcionar condições necessárias para o desenvolvimento das culturas.

7. CONCLUSÃO

O mapeamento da erodibilidade exibiu alto valor à margem do lago de Itaipu, onde apresenta ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico. Em 40,7% da bacia apresentou valores baixos e na maior fração da bacia, 59,1%, apresentou valores médios.

O mapeamento da erosividade evidenciou que 72,21% da bacia possui valor de erosividade próximo à erosividade média da bacia. Em 26,32% da bacia a erosividade apresentada é alta.

Na região Centro-sul a erosividade alta está associada à declividade média (12% a 20%) e forte (20% a 30%), a solos rasos e a erodibilidade média, tornando essa área mais suscetível à erosão.

Os estudos realizados na bacia hidrográfica do São Francisco Verdadeiro evidenciaram que as regiões Sul-sudoeste e Centro-oeste da bacia também apresentam suscetibilidade à perda de solo, devido à declividade média (12% a 20%) e forte (20% a 30%) associada à erodibilidade média.

Para a minimização de processos erosivos, recomenda-se a implantação de manejo conservacionista em áreas agrícolas presentes em toda a bacia hidrográfica e recomenda-se a implantação do sistema integração lavoura, pecuária e floresta na região Centro-sul, que apresentou a área mais suscetível à erosão devido à associação de fatores de erodibilidade e erosividade.

A erodibilidade e a erosividade são fatores que interferem no processo erosivo, pois a erodibilidade expressa infiltração de água e a resistência do solo a sofrer ação erosiva, e a erosividade expressa a energia potencial da chuva em causar erosão. A bacia do São Francisco Verdadeiro está inserida na bacia do Paraná 3, e a bacia hidrográfica do Paraná 3 possui uma imensa importância para o reservatório da hidrelétrica de Itaipu, pois toda partícula de solo desagregada nessa bacia pode ser transportada e depositada no rio Paraná e no lago de Itaipu.

Portanto, o mapeamento do fator erodibilidade e do fator erosividade da bacia do rio São Francisco Verdadeiro é vantajoso para o controle de sedimentos que são transportados para o reservatório de Itaipu, com fundamental importância para o monitoramento e minimização dos processos de erosão, além de ser uma ferramenta útil para a gestão ambiental da bacia hidrográfica.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, I. R. et al. Cálculo de NDVI no suporte ao estudo da desertificação no município de Orocó- PE. 3º Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. **Anais...** Recife, SIMGEO, 2010. Disponível em: <https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO_CD/artigos/Todos_Artigos/A_25.pdf>. Acesso em: 15 maio. 2016.

ARRAES, C. L. et al. Estimativa de Erodibilidade do Solo para Fins Conservacionistas na Microbacia Córrego do Tijuco, SP. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 849-857, Nov./Dec. 2010. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/viewFile/7218/6604>>. Acesso em: 6 nov. 2016.

ASSIS, P. C. R. et al. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura – pecuária – floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.4. p.309-316, 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v19n4/1415-4366-rbeaa-19-04-0309.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2016.

BALBINO, L. C. et al. Marco Referencial: integração lavoura – pecuária – floresta. EMBRAPA. Brasília, DF. 2011. Disponível em: <<file:///C:/Users/danda/Downloads/balbino-01.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2016.

BARBOSA, I. DO S. et al. Evolução Da Cobertura Vegetal e Uso Agrícola do Solo no Município de Lagoa Seca, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13. n. 5. p.614-622, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v13n5/v13n05a15.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2016.

BAZZANO, M. G. P. et al. Erosividade e características hidrológicas da chuva de Rio Grande (RS). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 34. p.235-244, 2010.

BERTOL, I. et al. Erodibilidade de Um Cambissolo Húmico Alumínico Léptico, Determinada Sob Chuva Natural Entre 1989 e 1998 em Lages (SC). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 26. n. 2, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v26n2/20.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2016.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4. ed. Campinas: Ícone, 1999. 355p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6. ed. São Paulo: Ícone, 2008. 355p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355p.

BRASIL. Lei Nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de

dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25 de maio de 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-014/2012/lei/L12651compilado.htm>. Acesso em: 15 nov. 2016.

CABRAL, J. B. et al. Avaliação do estado de assoreamento do reservatório de Cachoeira Dourada (GO/MG). **Sociedade e Natureza (online)**, v. 2. n.1. Uberlândia. Abr. 2009. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321327194007>>. Acesso em: 25 out. 2016.

CABRAL, J. B. Estudo do Processo de Assoreamento em Reservatórios. **Caminhos da Geografia (online)**. Fev. 2005. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/viewFile/15371/8670>>. Acesso em: 17 jun. 2016.

CARVALHO, D. F. DE et al. Padrões de Precipitação e Índices de Erosividade para as Chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 1, p7-14, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662005000100002>. Acesso em: 5 jun. 2016.

CARVALHO, M. A. C. DE et al. Plantas de Cobertura, Sucessão de Culturas e Manejo do Solo em Feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.4, p.659-668, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v66n4/16.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2016.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), Centrais Elétricas Brasileiras – ELETROBRÁS, Rio de Janeiro. 1994. 372 p.

CASSOL, E. A. et al. Erosividade, Padrões Hidrológicos, Período de Retorno e Probabilidade de Ocorrência das Chuvas em São Borja, RS. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n3/a32v32n3.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2016.

CAVICHIOLO, S. R. Perdas de Solo e Nutrientes por Erosão hídrica em Diferentes Métodos de Preparo do Solo em Plantio de Pinus taeda. **Tese** (Doutor em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005. Disponível em: <http://www.floresta.ufpr.br/defesas/pdf_dr/2005/t191_0216-D.pdf>. Acesso em: 23 out. 2016.

CENTRO INTERNACIONAL DE HIDROINFORMATICA (CIH). **Grupos de vegetação da bacia hidrográfica São Francisco Verdadeiro**. Disponível em: <<http://saofrancisco.hidroinformatica.org/br/maps.html>>. Acesso em: 03 maio. 2016.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e Água por Erosão Hídrica Influenciadas por Métodos de Preparo, Classes e Declive e Nível de Fertilidade do solo. **Revista Brasileira Científica do Solo**, v. 27, 2003. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n4/a19v27n4.pdf>>. Acesso em: 14 maio. 2016.

COGO, N. P. *et al.* Retomada, redefinição e intensidade da pesquisa em erosão do solo no Brasil. XV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água: Manejo Integrado a Ciência do Solo na Produção de Alimentos. **Anais...** Santa Maria - RS. UFSM, 2004. p.1-18.

COSTA, E. A. B.; FERREIRA, M. F. M. Uso e ocupação do solo na microbacia dos Ribeirões Lapa/Cantalago – Ipeúna (SP). 2º Jornada Científica da Geografia: Paradigmas da Geografia e Contradições do Século XXI. **Anais...** Unifal – MG. Disponível em: < <http://www.unifal-mg.edu.br/geografia/sites/default/files/file/uso%20e%20ocup%20do%20solo%20na%20microb%20dos%20ribeiroes%20lapa%20canta%20galo.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2016.

COSTA, M. S. S. DE M. *et al.* Atributos Físicos do Solo e Produtividade do Milho Sob Sistema de Manejo e Adubações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15. n. 8, 2011. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n8/07.pdf> >. Acesso em: 25 out. 2016.

CRUZ, Z. Q.; RIBEIRO, G. P. Ensaios de Segmentação e Classificação Digital de Imagens CBERS Utilizando o Sistema SPRING em uma Unidade de Conservação Ambiental Estudo de Caso: Parque Nacional da Serra dos Órgãos (Parnaso). II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias de Geoinformação. **Anais...** Recife – PE. 2008. Disponível em: < https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOII_CD/Organizado/sens_foto/023.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2016.

DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK C. R. L.; Mapeamento, Erodibilidade e Tolerância de Perda de Solo na Sub-bacia do Riberão das Perobas. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 29. n. 2, p.102-114, abr-jun, 2014. Disponível em: < <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/viewFile/841/973>>. Acesso em: 06 jun. 2016.

DOMINGUES, E. N.; ROSSI, M., MATTOS, I. F. A., ABE, K., KITADA, M. Tipologia e distribuição dos processos erosivos na microbacia do ribeirão água da cachoeira, em Paraguaçu Paulista, SP. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 22: 141-149, 1998. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v22n1/19.pdf>>. Acesso em: 4 maio. 2016.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Projetos para conservação de solo dependem de conscientização para serem valorizados.** 2007. Disponível em: <<http://www.cnpma.embrapa.br/nova/mostra2.php3?id=275>> Acesso em: 15 maio. 2016.

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**, ano 7, n.2, p.73-85, 2006. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/10634/1/ARTIGO_AvaliacaoQualitativaPotencial.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2016.

FERNANDES, R. P. et al. Geração de Escoamento Superficial em uma Microbacia com Cobertura de Cana-de-açúcar e floresta Ripária. **Revista Ambiente e Água**. Taubaté, v. 8. n. 3, set. / dez. 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v8n3/v8n3a15.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2016.

FERREIRA, L. et al. Tipos de Dispersantes, Formas de Agitação e sua Relação com a Erodibilidade de Solos com Altos Teores de óxidos de Ferro. **Ciências Agrotécnicas Lavras**, v.26, n.2, p.342-353, mar./abr., 2002. Disponível em: <http://www.dcs.ufla.br/site/_adm/upload/file/pdf/Prof%20Marx/Aula%203/Art%20estudo/Ferreira%20et%20al_%202002.pdf>. Acesso em: 05 out. 2016.

FRANCHINI, J. C. et al. Importância da Rotação de Culturas para a Produção Agrícola Sustentável no Paraná. **Embrapa Soja**. Jul. 2011. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/897259/importancia-da-rotacao-de-culturas-para-a-producao-agricola-sustentavel-no-parana>>. Acesso em: 24 out. 2016.

GENRO JUNIOR, S. A. et al. Atributos Físicos de um Latossolo Vermelho e Produtividade de Culturas Cultivadas em Sucessão e Rotação. **Ciência Rural**, v.39, n.1, jan-fev, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n8/07.pdf>>. Acesso em: 5 out. 2016.

GONZÁLEZ, R. H.DE A. Derivação de Dados da Bacia Hidrográfica São Francisco Verdadeiro – Paraná com Uso de Geoprocessamento. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Faculdade Dinâmica de Cataratas, Foz do Iguaçu, 2008. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/7344229-Uniao-dinamica-de-faculdade-cataratas-faculdade-dinamica-das-cataratas-curso-de-engenharia-ambiental.html>>. Acesso em: 24 abr. 2016.

GUIVANT, J. S.; JACOBI, P. Da Hidrotécnica à Hidropolítica: Novos Rumos para a Regulação e Gestão dos Riscos Ambientais no Brasil. **Cadernos de Pesquisa Interdisciplinar em Ciências Humanas**, n.43. Jun. 2003. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/cadernosdepesquisa/article/view/1950/4424>>. Acesso em: 17 out. 2016.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S.B. **DA Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil,1995. 472 p.

GUERRA, A. J. T. Início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T *et al.* (org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 2. ed. Rio de

Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. p. 17-56.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S.B. DA. **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. 474 p.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S.B. DA. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. 396 p.

INÁCIO, E. DOS S. B. et al. Quantificação da Erosão em Pastagem com Diferentes Declives na Microbacia do Riberão Salomea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande – PB, v. 11, n.4, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n4/v11n04a02.pdf>>. Acesso em: 5 nov. 2016.

JACOBI, P. R.; FRACALANZA, A. P. Comitês de Bacias Hidrográficas no Brasil: Desafios de fortalecimento da Gestão Compartilhada e Participativa. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**. Ed. UFPR, n. 11-12, jan./dez. 2005. p. 41-49.

KURY, E. B.; VIERA, C. A. O. Classificação Automática de Imagens de Alta Resolução. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. **Anais...** Curitiba, 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0336.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2016.

LEÃO, C. et al. Avaliação de métodos de classificação em imagens TM/Landsat e CCD/CBERS para o mapeamento do uso e cobertura da terra na região costeira do extremo sul da Bahia. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais... Florianópolis, p. 939-946, 2007. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2006/11.15.01.10/doc/939-946.pdf>>. Acesso em: 08 set. 2016.

LEMOS, C. F. DE. **Evolução da Erosão na Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Pitangui – PR**, 2010. 206 f. Tese (Pós-Graduação em Geografia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em: <<http://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/25999>>. Acesso em: 21 abr. 2016.

MAGALHÃES, R. A. Erosão: Definições, Tipos e Formas de controle. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. **Anais...** Goiânia – GO, 2001. Disponível em: <http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/simposio_erosao/articles/artigos/T084.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2016.

MAIA, A. G. **As Consequências do Assoreamento na Operação de Reservatórios Formados por Barragens**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2006. 164 f. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-18022007-204402/pt-br.php>>. Acesso em: 05 maio. 2016.

MANNIGEL, A. R. et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, 2002. p. 1335-1340. Disponível em: <<http://eduemojs.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/2374/1787>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

MARIOTE, J. et al. Erosão Hídrica em Semeadura Direta de Milho e Soja nas Direções da Pendente e em Contorno ao Declive, Comparada ao Solo Sem Cultivo e Descoberto. **Revista CIA do Solo**, n.37, 1361- 1371, 2013. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v37n5/25.pdf> >. Acesso em: 4 maio. 2016.

MELLO, C. R. DE et al. Erosividade Mensal e Anual da Chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.4, p.537-545, abr. 2007. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/pab/v42n4/12.pdf> >. Acesso em: 24 out. 2016.

MINEROPAR. Atlas geomorfológico do Estado do Paraná – Escala base 1:250.000, modelos reduzidos 1:500.00/ Minerais do Paraná; Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/2_Geral/Geomorfologia/Atlas_Geomorforlogico_Parana_2006.pdf>. Acesso em? 03 maio. 2016.

MIQUELONI, D. P. et al. Análise Espacial dos Fatores da Equação Universal de Perda de Solo em Área de Nascentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n. 9, p.1358-1367, Set. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v47n9/21.pdf>>. Acesso em: 2 jul. 2016.

MORETI, D. et al. Fator erosividade da chuva para o município de Pedrinhas Paulista, Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v.25, 2003. p.137-145. Disponível em: < <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/2467/1643>>. Acesso em: 24 out. 2016.

MORUZZI, R. B. et al. Contribuição metodológica para a caracterização de áreas potenciais de inundação em uma bacia hidrográfica urbanizada, com o suporte de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento: apresentação de dois cenários em um módulo piloto. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17, 2007, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: [s.n.], 2007. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/planejamento/download/rodrigo/contribuicao_metodologica.pdf>. Acesso em: 26 set. 2016.

NETO, R. T. DE B. et al. Determinação de Valores Físicos de Imagens TM/Landsat - 5 Utilizando a Linguagem Legal Para Obter Índices de Vegetação. II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodásicas e Tecnologias da Geoinformação. **Anai...** Recife – PE, 2008.

OLIVEIRA JUNIOR, J. C. DE et al. Variabilidade Espacial de Atributos Mineralógicos de Solos da Formação Guabirotuba, Curitiba (PR). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 35, 2011. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v35n5/a02v35n5.pdf>>. Acesso em: 2 out. 2016.

OLIVEIRA, B. S.; MATAVELI, G. A. V. Avaliação do Desempenho dos Classificadores Iseseg e Bhattacharya para o Mapeamento de Áreas de Cana-de-

Açúcar no Município de Barretos – SP. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR, abr. 2013. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0863.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

PEDRINI, H.; SCHWARTZ, W. R. **Análise de Imagens Digitais: Princípios, Algoritmos e Aplicações**. São Paulo: Thomson Learning, 2008

PEREIRA, A. R. Determinação da perda de solo. **Boletim Técnico**. Belo Horizonte: Gráfica FAPI, ano 1, n.1, mar. 2006.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de Bacias Hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, 2008. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a04.pdf> >. Acesso em: 30 set. 2016.

ROQUE, C. G. et al. Fator Erosividade da Chuva de Piraju (SP): Distribuição, Probabilidade de Ocorrência, Período de Retorno e Correlação com o Coeficiente de Chuva. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 25, 2001. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v25n1/16.pdf>>. Acesso em: 09 out. 2016.

ROSS, J. L. S. Análises empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. n . 8, p 63-73.

SÁ, M. A. C. DE et al. Estimativa da Erodibilidade pela Desagregação por Ultrassom e Atributos de Solos com Horizonte B Textural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.7, p. 691-699. Jul. 2004. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/pab/v39n7/21312.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2016.

SANTOS, H. P. DOS; TOMM, G. O. Rotação de Culturas para Trigo, Após Quatro Anos: Efeitos na Fertilidade do Solo em Plantio Direto. **Ciência Rural**, v. 29, n. 2, 1999. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/cr/v29n2/a12v29n2.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2016.

SANTOS, C. A. G. et al. Influência do Tipo da Cobertura Vegetal Sobre a Erosão no Semiárido Paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.4, n.1, p.92-96, 2000. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v4n1/v4n1a17.pdf>>. Acesso em: 05 nov. 2016.

SCHMIDT, A. O. **Impactos Antrópicos na Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco Verdadeiro**. Tese (Pós – Graduação em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, fev. 2014. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/tede//tde_arquivos/1/TDE-2014-09-11T203456Z-1309/Publico/Adir%20Schmidt.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2016.

SILVA, M. L. M. DA; PEREIRA, G. P. M. Avaliação de Algoritmos de Classificação Supervisionada para Imagens do CBERS – 2 da Região do Parque do Rio Doce – MG. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Florianópolis, abr. 2007. Disponível em: < <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.20.25/doc/6223-6228.pdf>>. Acesso em: 5 jun. 2016.

SILVA, A. M. DA; ALVAREZ, C. A.; Levantamento de Informações e Estruturação de Um Banco de Dados Sobre a Erodibilidade de Classes de Solos no Estado de São Paulo. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2005. Disponível em: <http://www.revistageociencias.com.br/24_1/Art%203.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2016.

SILVA, F. DAS G. B. et al. Previsão da Perda de Solo na Fazenda Canchim – SP (EMBRAPA) Utilizando Geoprocessamento e o USLE 2D. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.15, n.2, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v15n2/a06v15n2.pdf>>. Acesso em: 4 maio. 2016.

SILVA, R. L. **Erosão do Solo em Sistema Plantio Direto: Influência do Comprimento de Rampa e da Direção de Semeadura**, 2010. 97 f. Tese (Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônômico. Campinas, 2010. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/areadoinstitutoposgraduacao/dissertacoes/Renato%20LeMos%20e%20Silva.pdf>>. Acesso em: 9 nov. 2016.

SOBRINHO, T. A. et al. Infiltração de Água no Solo em Sistemas de Plantio Direto e Convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.7, n.2, p.191-196, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v7n2/v7n2a01.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2016.

SOUZA, N. DA C. et al. Topografia e Tipos de Ocorrência de Processos Erosivos ao Longo da Linha Férrea – estudo de caso: Malha Paulista – ALL (SP). **Boletim de Ciências Geodésicas - On-Line version**, Curitiba, v. 20, n. 4, out-dez. 2014. p 947-969. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/bcg/v20n4/1982-2170-bcg-20-04-00947.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2016.

SUDERHSA - SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Atlas de Recursos Hídricos do Estado do Paraná**. Curitiba, 1998. Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/mp07.pdf>> Acesso em: 5 abr. 2016.

TAGLIANI, C. R. A. Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações. XI Seminário Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Belo Horizonte. 2003. INPE, p.1657-1664. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/10.31.13.33/doc/13_028.pdf>. Acesso em: 15 de novembro de 2016.

TEOTIA, H.S. et al. Classificação da cobertura vegetal e capacidade de uso da terra na região do Cariri Velho (Paraíba), através de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Belo Horizonte: SBSR,2003. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/10.28.14.30/doc/14_018.pdf>. Acesso em: 15 maio. 2016.

TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E. A Sistematização dos Fatores da EUPS em SIG para Quantificação da Erosão Laminar na Bacia do Rio Jirau. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 57/03, 2005. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1286/1/ESTGEO_Tomazoni,%20Julio%20Caetano_2005.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2016

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). **Estudos Geográficos**, Rio Claro, 3(1): 01-21, Jan-Jun. 2005. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1286/1/ESTGEO_Tomazoni,%20Julio%20Caetano_2005.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2016.

TONELLO, K. C. et al. Morfometria da bacia Hidrográfica da Cachoeira das pombas, Guanhães – MG. **Revista Árvore**. Viçosa-MG, v.30, n.5, p.849-857, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v30n5/a19v30n5.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2016.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; ABRH, 2001. 943 p.

VESTENA, L. R. et al. Vazão Ecológica e Disponibilidade Hídrica na Bacia das Pedras, Guarapuava –PR. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, n.3, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v7n3/v7n3a17.pdf>>. Acesso em: 06 out. 2016.