



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLO EM ÁREA RURAL NO MUNICÍPIO DE SÃO
JOAQUIM DE BICAS- MG

BRUNO LELIS RIBEIRO

BELO HORIZONTE

2019

BRUNO LELIS RIBEIRO

ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLO EM ÁREA RURAL NO MUNICÍPIO DE SÃO
JOAQUIM DE BICAS- MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção
do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. MSc. André Luiz Marques Rocha

BELO HORIZONTE

2019

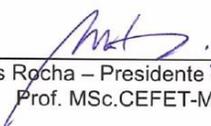
BRUNO LELIS RIBEIRO

**ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLO EM ÁREA RURAL NO MUNICÍPIO DE SÃO
JOAQUIM DE BICAS- MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Centro Federal de Educação Tecnológica
de Minas Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro Ambiental
e Sanitarista.

Data de aprovação: 25 / 06 / 19

Banca examinadora:



André Luiz Marques Rocha – Presidente da Banca Examinadora
Prof. MSc. CEFET-MG



Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho
Prof. DSc. CEFET-MG



Evandro Carrusca de Oliveira
Prof. DSc. CEFET-MG

RESUMO

RIBEIRO, Bruno Lelis, *Estimativa de perda de solo em área rural no município de São Joaquim de Bicas- MG. 2019. 43 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.*

Este trabalho teve como principal motivação a aplicação de uma modelagem matemática com a finalidade de elucidar os processos erosivos do solo e suas consequências ambientais e financeiras no âmbito de propriedades rurais instaladas em municípios do quais a sua matriz econômica principal baseia-se na agropecuária.

O presente trabalho teve como objetivo a utilização de um dos modelos de predição hídrica para a identificação de possíveis processos erosivos em uma determinada área de estudo. Além disso, enunciou os processos de predição hídrica em nível de modelos matemáticos desenvolvidos para quantificar e indicar a representatividade da erosão hídrica quanto aos valores de perda de solo totais. Para a obtenção de dados específicos para a região estudada, para fins práticos, utilizou-se de programas livres dos quais foram gerados, por meio de séries históricas, os valores necessários para a consecução do trabalho. A Equação Universal da Perda de Solo (USLE), primeiro modelo matemático desenvolvido para se observar, quantitativamente, os processos de perda de solo foi o modelo selecionado pela sua simplicidade de execução e por representar as características presentes no local. Após a aplicação da USLE, foram obtidos valores de perda de solo de $1,61 \times 10^{-4} \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a área de estudo 1 e de $5,65 \times 10^{-4} \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a área de estudo 2 e tais valores, segundo a bibliografia consultada, são toleráveis para o tipo de solo daquela localidade. Por fim, em comparação com os dados obtidos por meio da modelagem, foram propostas medidas de práticas conservacionistas para o município de São Joaquim de Bicas, tomando como base a área de estudo utilizada.

Palavras Chave: Erosão. Predição Hídrica. Modelagem matemática. Conservação do Solo

ABSTRACT

RIBEIRO, Bruno Lelis, Estimation of soil loss in a rural area in the municipality of São Joaquim de Bicas- MG. 2019. 43. f. Monography (Undergraduate in Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

This work had as main motivation the application of a mathematical modeling with the purpose of elucidating the erosive processes of the soil and its environmental and financial consequences in the rural properties installed in municipalities of which its main economic matrix is based on agriculture.

The present work had as objective the use of one of the models of water prediction for the identification of possible erosive processes in a certain area of study. In addition, it enunciated the water prediction processes at the level of mathematical models developed to quantify and indicate the representativeness of water erosion in terms of total soil loss values. To obtain specific data for the region studied, for practical purposes, free programs were used, which were generated, by means of historical series, the necessary values for the accomplishment of the work. The Universal Soil Loss Equation (USLE), the first mathematical model developed to quantitatively observe soil loss processes, was the model selected for its simplicity of execution and for representing the characteristics present on the site. After application of USLE, soil loss values of $1.61 \times 10^{-4} \text{ t.ha}^{-1}\text{years}^{-1}$ were obtained for study area 1 and $5.65 \times 10^{-4} \text{ t.ha}^{-1}\text{years}^{-1}$ for study area 2 and such values, according to the bibliography consulted, are tolerable for the soil type of that locality. Finally, in comparison to the data obtained through the modeling, measures of conservation practices were proposed for the municipality of São Joaquim de Bicas, based on the study area used.

Keywords: Erosion. Water Prediction. Mathematical modeling. Soil Conservation

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Representação do processo erosivo entres sulcos
- Figura 2 - Representação do processo erosivo por meio de sulcos
- Figura 3 - Representação do processo de erosão por voçorocas
- Figura 4- Fluxograma de etapas desenvolvidas na pesquisa descritiva.
- Figura 5 - Delimitação da área de estudo
- Figura 6 - Interface do programa ClimaBR 2.0
- Figura 7 - Interface do programa netErosividade MG
- Figura 8 – Processo de utilização de Barraginhas
- Figura 9 - Mapa Digital de Elevação da área de Estudo
- Figura 10 - Seleção da estação Pluviométrica
- Figura 11 - Utilização da Estação Pluviométrica de Ponte Nova do Paraopeba
- Figura 12 - Média das precipitações diárias
- Figura 13 - Regressão linear relacionadas às médias de precipitação diárias
- Figura 14 - Erosividade da chuva para o município de São Joaquim de Bicas

LISTA DE TABELAS:

Tabela 1 - Fator práticas do uso da terra

Tabela 2 - Fator práticas conservacionistas no manejo do solo

LISTA DE SIGLAS

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa agropecuária

EUA – Estados Unidos da America

GLASOD - *Global Assessment of Soil Degradation*

GPRH – Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos

MDE - Mapa de Elevação Digital

MG – Minas Gerais

PNUMA - Programa das Nações Unidas para Meio Ambiente

RUSLE - Equação Universal da Perda de Solo Revisada

UFV – Universidade Federal de Viçosa

USLE - Equação Universal da Perda de Solo

USP – Universidade de São Paulo

WEPP- *Water Erosion Prediction Project*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	11
2.1. Objetivo geral	11
2.2. Objetivos específicos	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1. Solos: conceito e relação com os processos erosivos	12
3.2. Processos erosivos e sua tipologia	12
3.3. Problemas relacionados aos processos erosivos e impacto econômico	15
3.4. Análise qualitativa e quantitativa dos solos	16
3.5 Modelos quantitativos para predição hídrica	17
3.6 Equação universal da perda de Solo - USLE	17
3.6.1 Fator de erosividade da chuva (R).....	18
3.6.2 Fator de erodibilidade do solo (K).....	18
3.6.3 Comprimento de rampa e declividade do terreno (LS)	19
3.6.4 Uso e manejo do Solo (C).....	19
3.6.5 Práticas Conservacionistas (P).....	19
3.7 RUSLE – equação de perda de solo revisada	20
3.8 O programa WEPP	20
3.9 Práticas conservacionistas	21
4. METODOLOGIA	23
4.1 Descrição da área de estudo.....	23

4.2 Mapa Digital de Elevação.....	25
4.3 ClimaBr 2.0	25
4.4 netErosividade MG	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
5.1 Situação aparente observada nas áreas de estudo	28
5.2 Mapa segundo Modelo Digital de Elevação (MDE).....	30
5.3 Gráfico de pluviosidade utilizando ClimaBR 2.0	31
5.4 Obtenção dos parâmetro de erosividade da chuva (R) e erosividade do solo (K)	33
5.5 Obtenção do fator de uso e manejo do Solo (C).....	34
5.6 Obtenção do fator Práticas Conservacionistas (P).....	35
5.7 Cálculos do comprimento de rampa e declividade do terreno (LS)	36
5.8 Aplicações dos dados obtidos na equação universal de perda de solo (USLE)	37
5.9 Proposições de práticas conservacionistas	39
6. CONCLUSÃO E PROPOSIÇÕES	40
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

1. INTRODUÇÃO

A erosão introduz um fenômeno importante a ser estudado e prevenido, sobretudo pela capacidade de evolução rápida e pelos dispêndios no que tange às alternativas de manejo das áreas provocados pela sua ocorrência. (PRUSKI, 2006).

Para que os efeitos decorrentes dos processos erosivos sejam mitigados, faz-se necessário um conhecimento aprofundado de tais ocorrências além da formação do solo e área de influência a ser estudada. Segundo Higgitt (1991) a erosão é o processo de desagregação e arraste das partículas do solo, ocasionado pela ação de agentes erosivos onde os principais são a água e do vento, tal processo é responsável pela perda de solos agricultáveis em uma escala consideravelmente grande. Portanto, quanto a sua causa pode ser citada a erosão hídrica e eólica. No Brasil a erosão hídrica corresponde à uma maior modelagem dos relevos, sendo mais abordado nas literaturas e possuindo maior relevância em um escopo de estudo.

Para a estimativa da predição hídrica a utilização de modelos de simulação tem sido amplamente difundida para possibilitar a obtenção de um panorama geral desse processo erosivo e suas consequências e propor, assim, práticas menos agressivas tendo em vista o seu nível de suscetibilidade ao fenômeno em estudo. Além disso, esses modelos podem gerar, por meio das análises matemáticas, possíveis práticas mecânicas para a conservação do solo em estudo.

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar uma estimativa de perda de solo em área agrícola no Município de São Joaquim de Bicas – MG utilizando uma propriedade rural que adota práticas convencionais de manejo do solo. Ao fim espera-se obter possíveis soluções, com base na caracterização do local de estudo, para que se desenvolvam práticas de conservação mecânica para o controle da erosão hídrica. O trabalho é relevante ao se levar em consideração o caráter rural da região e a importância dos solos agricultáveis para a matriz econômica do município.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos gerais

Estimar a perda de solo em uma propriedade rural do município de São Joaquim de Bicas – MG e com base no resultado obtido, propor medidas para a mitigação dos processos erosivos do solo em estudo.

2.2. Objetivos específicos

- Descrever a situação aparente da área e as características dos solos estudados;
- Analisar as características planialtimétricas do local de estudo;
- Aplicar um modelo matemático para a estimativa de perda de solo para as áreas estudadas

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Solos: conceito e relação com os processos erosivos

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa conceitua solo como:

Coleção de corpos naturais constituídos por parte sólida, líquida e gasosa, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais. Contém matéria viva e podem ser vegetados¹.

Alguns tipos de solo possuem maior propensão a processos erosivos sendo fator determinante para tal afirmação a quantidade de argila ou areia e silte presente em sua composição. Em solos siltosos e arenosos os processos erosivos incidem com maior facilidade tendo em vista a individualização dos grãos de solo bem como a pouca presença de matéria orgânica em sua composição o que faz com que a formação de agregados não seja favorecida, contrário ao que ocorre em materiais argilosos que tendem a formar agregados.

3.2. Processos erosivos e sua tipologia

A erosão é o processo natural de desprendimento e transporte das partículas do solo, inerente à própria formação do solo. Entretanto, a ação do homem, por meio da utilização de práticas desconstrutivas da harmonia sistêmica de um determinado ambiente, provoca o surgimento da erosão acelerada (AMORIM, 2003).

A perda de solo acentuada é observada, quanto ao agente natural causador, onde é citada erosão eólica ou hídrica. No primeiro, trata-se da desagregação e sedimentação de partículas do solo por meio da ação do vento e no segundo relaciona-se com o processo de desprendimento e transporte do solo pela atuação da água como agente causador.

A erosão hídrica pode ser entendida em três estágios básicos: desagregação de partículas, transporte e sedimentação. A desagregação das partículas de solo é definida como o desprendimento de partículas dos agregados presentes na superfície

¹ EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA –EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999b. 412p.

do solo. De acordo com Hudson (1975) o desprendimento dos sedimentos da superfície do solo foi originalmente considerado como sendo resultado exclusivamente do impacto das gotas da chuva. Entretanto, mais recentemente, o escoamento superficial também é levado em consideração com elevada importância de contribuição para os processos erosivos por meio da tensão cisalhante ocasionada pelo movimento (AMORIM,2003).

As partículas são transportadas pela água, pela ação do escoamento superficial. Nesse processo há a deposição dos sedimentos no decorrer do caminho percorrido conforme a declividade e superfície do solo e do tipo de escoamento. Os tipos de erosão que ocorrem dependem diretamente da energia aplicada pelas gotas de chuva bem como a velocidade de escoamento. Os tipos de erosão comumente descritos na literatura são a erosão entres sulcos, erosão em sulcos e erosão em voçorocas.

No processo erosivo entres sulcos a influência direta se dá a partir do contato das gotas de chuva com agregados de solo causando uma separação dessas partículas e começando a modelar o relevo do terreno. É característica desse processo erosivo a sua aparência uniforme. A figura 1 representa esse tipo de erosão.

Figura 1- Representação do processo erosivo entres sulcos



Fonte:USP (2009)

A erosão em sulcos é decorrente da “escolha” da passagem da água em um segmento do solo onde, geralmente há a presença de pequenos leitos de

escoamento. Esses caminhos ao se utilizar de práticas de cultivo são desfeitos com certa facilidade. Nesse processo uma característica comum observada é quanto à profundidade onde é considerada erosão por sulco quando o pequeno canal formado no solo tem até 300 mm de profundidade (AMORIM, 2003). Os processos de escoamento superficial no sulco são responsáveis pelo transporte de solos oriundos tanto das áreas de entres sulco quanto dos próprios sulcos, porém, se o escoamento superficial se apresentar de forma mais intensa, o escoamento pode também desagregar e carrear grandes quantidades de partículas de solo. É comum, na literatura, que se utilizem para fins de modelagem os processos já descritos de forma conjunta. A figura 2 representa a erosão por sulcos.

Figura 2-Representação do processo erosivo por meio de sulcos



Fonte: Alvaro Rodrigues dos Santos (2012)

Em processos erosivos por voçorocas, a concentração de escoamento gera canais com significantes profundidades sendo superiores a 30 cm e larguras superiores a 1 m, dificilmente desfeitos por técnicas de cultivo convencionais, além disso, tendem a inviabilizar o plantio. Portanto, essa forma de erosão constitui o estágio mais avançado do processo erosivo onde atuam processos de movimento de massas e forças diretamente ligadas à estabilidade de taludes. Exemplos desse tipo de erosão são encontrados em divisas de propriedades rurais onde comumente são direcionados os escoamentos superficiais (PRUSKI, 2006). A figura 3 representa o processo erosivo por voçoroca.

Figura 3 – Representação do processo de erosão por voçorocas



Fonte: Cultura Mix (2019)

Em uma mesma localidade podem ser encontrados todos os três tipos de erosão citadas, os fatores determinantes podem ser relacionados à forma de cultivo, às práticas conservacionistas do solo e ao regime climático da localidade, que consiste na maior influência nos processos de precipitação da região a ser observada. A erosão em sulcos e em voçorocas está diretamente ligada à intensidade da concentração do escoamento e que a tensão cisalhante exercida por ele seja superior a resistência do solo ao movimento, a chamada tensão crítica do solo (PRUSKI, 2006). A maioria dos modelos empíricos se valem da predição isolada dos tipos de erosão e em alguns casos se utilizam de dois desses processos para que se faça a predição hídrica de uma determinada localidade.

3.3. Problemas relacionados aos processos erosivos e impacto econômico

A problemática dos processos erosivos tem sido estudada ao longo do tempo, em todo o mundo. Baseado no exposto nas literaturas, os pesquisadores têm utilizado de uma gama de métodos, a partir dos objetivos, do acesso a insumos, das características dos solos, climas, e as características do ambiente em estudo.

Com base na preocupação mundial com problemas ocasionados pela erosão dos solos, sobretudo em países em desenvolvimento, foi criado o projeto *GLASOD* (*Global Assessment of Soil Degradation*), por meio do PNUMA (Programa das Nações

Unidas para Meio Ambiente). O projeto estimou, a nível mundial, uma perda de solo agrícola, por erosão, da ordem de 6 a 7 milhões de hectares por ano. O *GLASOD* baseou seus estudos em uma série de dados referentes a estações experimentais, resultantes de monitoramentos, distribuídos diversos países. De acordo com Hernani et al. (2002), as perdas de solos agricultáveis por ano no Brasil são da ordem de 822,7 milhões de toneladas o que induz a perda de muitos hectares de terras agricultáveis. Ainda por esses autores traduzindo esses valores para cifras monetárias o país perde cerca de US\$ 2,93 bilhões por ano ao somar os custos relativos à correção e fertilização dos solos bem como os maiores custos de produção ocasionados pelos processos erosivos

3.4. Análise qualitativa e quantitativa dos solos

A análise qualitativa pode ser considerada como precursora da análise de solos ao redor do mundo. Esses estudos foram base para a fundamentação de equações matemáticas para a quantificação das perdas de solo em diversas partes do globo. Posteriormente as análises quantitativas aplicaram a fundamentação teórica de estudos mais antigos para a sua adaptação aos solos de uma determinada região.

A estimativa da perda de solo pode ser de forma qualitativa ou quantitativa. Para Chaves (1996), a principal vantagem da análise qualitativa se pauta na maior facilidade de utilização dos fatores selecionados em relação ao risco de erosão e a análise de severidade da erosão por meio da combinação de parâmetros. Por se tratar de análise qualitativa, dados numéricos são excluídos do seu escopo, e leva em consideração a análise amparada na observação sendo ideal para a definição da degradação do solo. Na análise quantitativa, por se tratar de levantamento numérico de dados, a obtenção dos resultados relacionados à suscetibilidade de perda de solo se faz de forma mais direta e pode levar em consideração vários parâmetros para a análise. A ressalva a esse método é a exigência da familiaridade do operador com os modelos disponíveis e a necessidade de uma maior gama de parâmetros para se estabelecer relações.

A utilização de ferramentas relacionadas à erosão e suas previsões, receberam grande incentivos no século passado, sobretudo, nos EUA. Essa movimentação foi impulsionada para a explicação dos processos que causavam grandes perdas econômicas nos períodos anteriores à grande depressão de 1929.

Ainda nesse contexto, entre as décadas 1890 e 1950, a descrição qualitativa era predominante na análise dos fatores relacionados aos processos erosivos. Os trabalhos de COOK (1936) e os trabalhos sobre erosão por salpico de LAWS (1940) e ELLISON (1947) corroboraram para a análise de processos erosivos sem a utilização da modelagem matemática.

3.5 Modelos quantitativos para predição hídrica

Com a necessidade dos estudos mais aprofundados no campo da predição hídrica, modelos empíricos foram desenvolvidos para que a estimativa da perda de solo fosse mais contundente e apresentasse valores mais próximos à realidade de cada localidade por meio da individualização dos parâmetros a serem utilizados de região para região. Dentre os mais utilizados é possível se referenciar a metodologia usada por: USLE, RUSLE e WEPP.

3.6 Equação universal da perda de Solo - USLE

A USLE (*Universal Soil Loss Equation*) criada a partir da compilação de dados obtidos a partir da década de 1930 nos EUA e desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978). Quanto aos modelos empíricos é a primeira utilizada e base para o desenvolvimento de outros modelos, a aplicação desse modelo permite a estimativa da perda de solos com base nos índices pluviométricos da localidade, o tipo de solo e práticas agricultáveis, ou não presentes na região a ser estudada. Pode ser considerado o primeiro estudo empírico embasado em características específicas simulada em laboratório. A partir dos estudos desenvolvidos na década de 1970 foi possível a adaptação de novos modelos empíricos desenvolvidos por outros estudiosos para uma maior adaptação à realidade de outros ambientes com características diferentes dos dados apresentados pelos estudos de processos erosivos dos solos presentes nos EUA. A USLE é representada pela seguinte fórmula:

$$PS = R K LS C P \quad (1)$$

em que:

PS = perda de solo média anual, t ha⁻¹ ano⁻¹

R = fator de erosividade da chuva, MJ mm ha⁻¹ h⁻¹

K = fator de erodibilidade do solo, t ha⁻¹ / (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹)

L = fator de comprimento da encosta, adimensional;

S = fator de declividade de encosta, adimensional;

C = fator de uso e manejo do solo adimensional; e

P = fator de práticas conservacionistas, adimensional.

Os fatores R, K, L e S são dependentes de condições naturais e os fatores C e P da ocupação e usos do solo (PRUSKI,2006).

3.6.1 Fator de erosividade da chuva (R)

O método de avaliar a capacidade de causar erosão das chuvas é fundamental para a aplicação correta da equação universal de perdas de solo (FERREIRA, 2017). O fator de erosividade da chuva pode ser explicado como a capacidade da chuva em provocar processos erosivos no solo.

As perdas de solos decorrentes de chuvas erosivas estão relacionadas pela multiplicação de duas características da chuva: a energia cinética total da chuva e a sua intensidade máxima no período de 30 minutos (FERREIRA, 2017). Essa relação fornece o Índice de erosividade da chuva e é determinada pela seguinte equação:

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

em que:

EC = energia cinética associada à chuva, $MJ ha^{-1} mm^{-1}$ e pode ser obtida pela equação:

$$EC = 0,119 + 0,0873 \log i \quad (3)$$

Em que i é a intensidade da chuva em $mm h^{-1}$

i_{30} = intensidade máxima média de precipitação em 30 minutos, $mm h^{-1}$.

3.6.2 Fator de erodibilidade do solo (K)

A erodibilidade relaciona-se a capacidade do solo em resistir à erosão hídrica, com dependência direta com os atributos do solo. O fator K na USLE foi obtido empiricamente e quantizado utilizando os outros fatores da equação iguais a 1.

No Brasil, a utilização do fator K mostra-se bastante limitada pela falta de correlação dos solos apresentados e os solos presentes em território nacional. As condições de sua utilização tende a garantir erros maiores do que em outros modelos.

3.6.3 Comprimento de rampa e declividade do terreno (LS)

O comprimento da rampa corresponde à característica topográfica que influi diretamente nos processos erosivos de uma determinada região. Maiores inclinações garantem um aumento na velocidade de arraste do escoamento superficial, o que torna áreas com essa característica regiões mais suscetíveis à erosão quando o solo apresenta-se desprotegido (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

3.6.4 Uso e manejo do Solo (C)

Silva et al (1997) define o fator de uso do solo como a relação entre as perdas de solo com um determinado tipo de cobertura e as perdas de um terreno descoberto mas conservado. Tal análise depende de fatores locais sendo essa variável da perda de solo mais um fator limitante na utilização da USLE no território nacional.

3.6.5 Práticas Conservacionistas (P)

O fator de práticas conservacionistas leva em consideração o que acarretaria no processo erosivo se adotasse práticas de conservação do solo tal como plantio por terraceamento. Portanto, há uma interdependência entre esse fator em relação ao uso e manejo do solo (C), tal fato já havia sido evidenciado por Wischmeier e Smith (1978) o que culminou, em diversas literaturas, na combinação do manejo do solo e das práticas conservacionistas os tornando em um único fator denominado de CP.

Com base no exposto em cada componente do modelo USLE é possível afirmar as suas várias limitações para a utilização em escala mundial, sobretudo em países com divergências climáticas às utilizadas para a geração do modelo. Portanto, tomando como exemplo de limitação tem-se a falta de eficácia na análise adequada para processos erosivos em solo de terrenos submetidos ao clima tropical e ter sua base empírica em regiões com inclinações menores e comprimentos não tão acentuados. Porém esse processo de modelagem é bastante utilizado mesmo com essas ressalvas.

3.7 RUSLE – equação de perda de solo revisada

Seguindo a linha da modelagem matemática, porém com dependência de algoritmos matemáticos e como forma de aperfeiçoamento da metodologia aplicada na USLE, é desenvolvida a RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*). Neste novo modelo empírico, similar ao anterior, novos parâmetros relacionados aos processos físicos na erosão hídrica foram incorporados para a sua análise (AMORIM, 2003).

Nesse modelo, de forma similar ao observado no processo de consecução de dados por intermédio do uso da USLE, é possível se estimar os processos erosivos em níveis médios anuais provocado pela chuva, desta maneira, foi possível se obter os parâmetros. Porém, a equação revisada representa um panorama mais confiável no que diz respeito à utilização da USLE, dada a possível escassez de dados referentes ao local de estudo.

A adoção do modelo computacional da RUSLE fez com que fossem incorporados os conceitos de ordem física para a consecução de alguns dos seus princípios, sendo assim, de uma maneira específica, a reprodução da realidade. Dessa maneira, tornou mais simplificado e de rápida obtenção das influências externas no processo de estimativa das perdas de solo e, desta maneira, constitui-se numa ferramenta importante para que se planeje e implemente práticas conservacionistas nos solos.

A RUSLE apresenta alguns problemas similares à aplicação de dados para diversas regiões do globo, sendo necessários alguns ajustes para a adaptação às características de locais onde não se tem muito conhecimento das componentes exigidas para sua aplicação. Portanto, é possível verificar que a base empírica de dados relacionados a uma determinada região pode não se adaptar a características climáticas de outras localidades o que constitui um problema para a sua aplicação.

3.8 O programa Water Erosion Prediction Project (WEPP)

O WEPP (*Water Erosion Prediction Project*) foi desenvolvido e considera o processo erosivo no tempo e espaço. O programa foi desenvolvido por meio da parceria entre o Serviço de Conservação do Solo e o Serviço de Pesquisa Agrícola, entre outros departamentos dos EUA como sistema paliativo e mais eficiente por possuir mais entradas de parâmetros que os modelos antecedentes. O fator

preponderante que consiste na maior diferenciação do novo é uma consideração para os processos antropológicos do sistema. Para sua utilização são necessárias entradas de dados obtidos por outros programas ou observações. A caracterização do ambiente em estudo como regime hidrológico, topografia e clima também são fatores preponderantes para o uso do WEPP. Na saída dos dados é gerado um perfil de escoamento levando em consideração as características hidráulicas da área de influência do estudo (CHECCHIA, 2005).

Outros programas são utilizados para a geração das entradas de dados a serem utilizadas no modelo WEPP. Em trabalhos realizados no estado de Minas Gerais, muito se utiliza os programas desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa (GPRH) que compilou séries de dados e gerou um banco com esses resultados sendo possível que se calcule fatores de erosão, clima, umidade e pluviosidade dependendo do programa utilizado. Para o WEPP, os programas utilizados para a caracterização do local são o *NetErosividade MG* e o *ClimaBR 2.0*.

O *NetErosividadeMG* fornece, por meio de análises rápidas, os valores mensais e anual da erosividade da chuva para qualquer localidade do estado de Minas Gerais (MOREIRA,2008).

O *ClimaBR 2.0* consiste num banco de dados onde estão registrados índices pluviométricos e climatológicos que ajudam no fornecimento das entradas de dados nos modelos a serem utilizados. Além disso, por meio dele é possível se gerar 28 séries sintéticas de dados climáticos, e perfil do evento de precipitação bem como elementos série gerada, como gráficos, e regressão linear (PRUSKI, 2009).

3.9 Práticas conservacionistas

Para a consecução da conservação do solo nas áreas estudadas três tipos básicos de práticas conservacionistas são amplamente divulgados pela literatura. Esses três tipos são enunciados em práticas de caráter edáfico, práticas de caráter vegetativo e práticas mecânicas.

As práticas de caráter edáfico são aquelas que consistem na adequação da própria atividade de cultivo adotada com vistas a garantir ou beneficiar a fertilidade do terreno e, assim, preservar uma maior área coberta por culturas. No âmbito dessas

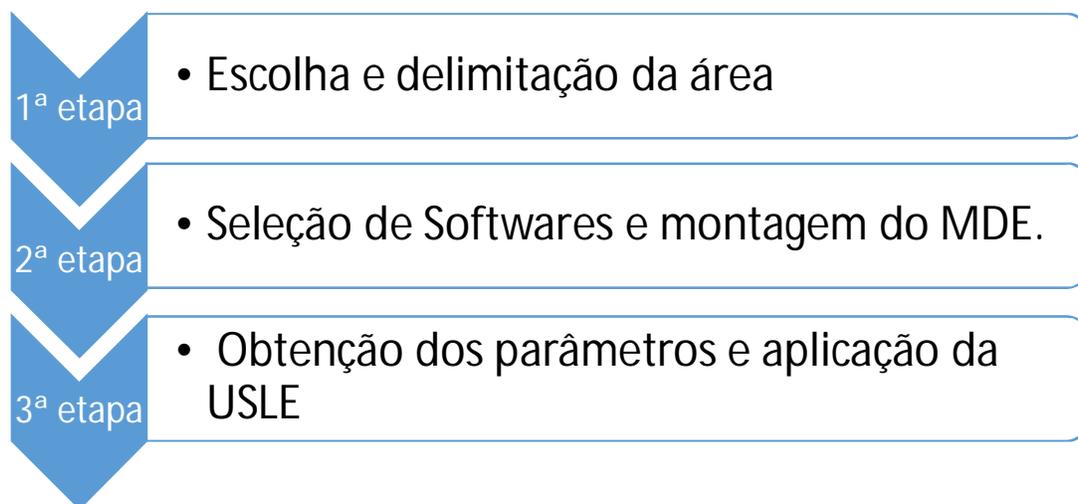
práticas podem ser citadas: a calagem do solo, controle das queimadas, e adubação nas suas mais variadas formas. Práticas de caráter vegetativo constituem na utilização da própria vegetação na proteção do solo contra os arrastes de partículas por meio da chuva para dirimir os processos erosivos. E por último, as práticas mecânicas que constituem na construção de estruturas artificiais para a contenção de processos erosivos (PRUSKI, 2006).

Além disso, essas práticas devem ser adotadas de maneira a atender a função no caráter produtivo ou não do solo em questão, sendo assim, busca-se escolher práticas que são economicamente factíveis e ecologicamente viáveis para a contenção de processos erosivos possíveis.

4. METODOLOGIA

Para a realização da metodologia foram adotados três passos básicos para a consecução dos dados necessários à resposta dos objetivos propostos. No primeiro passo foram escolhidas e determinadas as áreas de estudo para a realização da pesquisa descritiva. O segundo passo foi a seleção dos softwares de geração de séries sintéticas desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisas em recursos Hídricos da UFV para que se fossem obtidos os parâmetros necessários para alimentação na USLE e a utilização do software Quantum Gis 3.6.1 desenvolvido pela QGIS Development Team para a obtenção do Mapa Digital de Elevação. O terceiro passo foi a aplicação por meio da substituição dos dados obtidos na Equação Universal da Perda de Solo. Esse processo de montagem está descrito pelo fluxograma da Figura 4.

Figura 4- Fluxograma de etapas desenvolvidas na pesquisa descritiva.



Fonte: autoria própria (2019)

4.1 Descrição da área de estudo

O trabalho foi realizado em duas áreas distintas situadas em mesma propriedade na zona rural do município de São Joaquim de Bicas, no estado de Minas Gerais, cujas coordenadas são: Latitude 20°05'16"S e 44°15' 29" W. A primeira localidade selecionada tem área de 8,11 ha e a segunda localidade tem área de 5,14 ha e estão representadas no mapa da figura 5, onde o polígono descrito à esquerda da imagem refere-se à localidade 2 e o que foi descrito à direita da figura corresponde à localidade de estudo 1. O município de São Joaquim de Bicas possui três tipos de

solos distintos segundo o mapa de solos desenvolvido em conjunto pela UFV, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, Universidade Federal de Lavras e Fundação Estadual de Meio Ambiente realizado no ano de 2010. Essa tipologia se divide em Cambissolo Háplico distrófico típico e, Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico e Neossolo Litólico típico. Segundo EMBRAPA (2002), O primeiro tipo de solo pelo seu material de origem possui caráter bastante heterogêneo, bem como as características igualmente heterogêneas dos locais de relevo e clima onde incidem, podem aparecer de formas distintas. Porém o que é observado é o caráter inicial do estado de evolução do horizonte subsuperficial, onde se apresentam, vestígios de rochas sob as camadas de solo bem como a baixa concentração de argila em sua constituição. É de forte incidência em território nacional. O Segundo são caracterizados como solos originários de diversas fragmentações da rocha matriz ou constituídos de materiais com processos iniciais de intemperismo onde majoritariamente em sua fração argila, são encontrados minerais bastante intemperizados tais como o alumínio e óxidos de ferro, e a sua fração areia bastante resistente aos processos de intemperismos. Por fim, os Neossolos mostram –se pouco evoluídos, com pequenas evidências de seus processos constituintes, o que corroboram para uma inexpressiva mudança em seu material de origem. As áreas de estudo escolhidas estão situadas em regiões onde os solos são classificados como Neossolos litólicos distróficos típicos. As áreas escolhidas estão representadas na figura 5.

Figura 5 – Delimitação das duas áreas estudadas.



Fonte: Google Earth Pro (2019)

4.2 Mapa Digital de Elevação

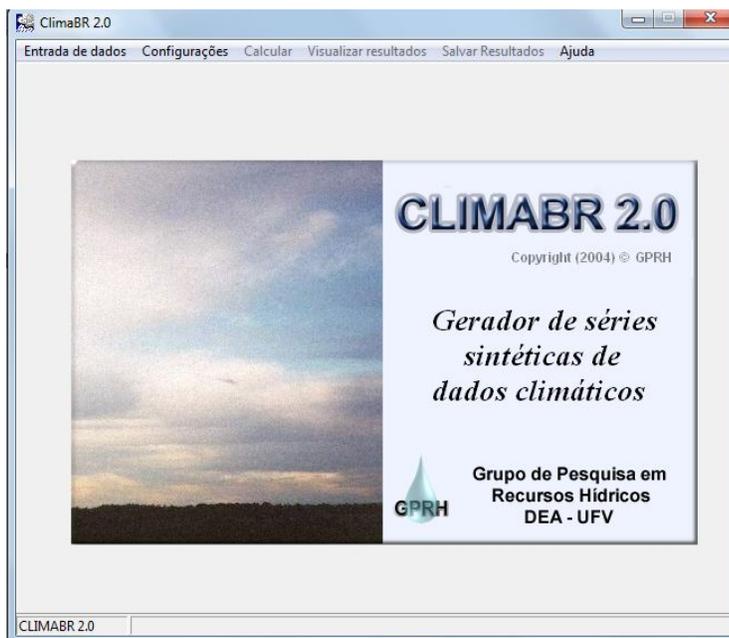
Para as análises relacionadas à altimetria do local estudado utilizou-se do software livre QGIS 3.6.1 para que se fosse realizada a confecção do mapa digital de elevação (MDE) para que, dessa maneira fosse possível o cálculo da inclinação do terreno e do comprimento de rampa, considerando os desníveis do ponto mais alto em relação aos mais baixos. Esse mapa foi realizado com dados SRTM com resolução espacial de 30m. Portanto, a partir da consecução desse mapa foi possível estipular o provável processo de escoamento das águas pluviais ao se observar essas diferenças de nivelamento sendo possível escolher os pontos a se máximos e mínimos da altitude dos terrenos em estudo.

4.3 ClimaBr 2.0

Para a montagem das séries pluviométricas relacionadas a um ano utilizou-se o programa ClimaBR 2.0 do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Nesse procedimento o objetivo principal foi gerar um gráfico relacionado à pluviosidade no período de um ano no município de São Joaquim de Bicas, desta forma, é possível identificar o período do qual a Influência da pluviosidade é maior no que tange ao impacto no processo de erosão

hídrica da área em estudo. O programa utilizado é de fácil obtenção de dados e utiliza séries geradas em diversas estações pluviométricas presentes no estado. O layout do programa está representado na figura 6.

Figura 6- Interface do programa ClimaBR 2.0



Fonte: Grupo de pesquisas em Recursos hídricos (2019)

4.4 netErosividade MG

De maneira a se obter o fator R da Equação Universal da Perda de Solo (USLE) no município de São Joaquim de Bicas, foi utilizado o programa netErosividade MG, assim como o ClimaBR 2.0, também foi desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa. Os dados obtidos foram importantes para que se fossem observados os fatores R e K em um ano na localidade em estudo. Além disso, os valores referentes ao EI_{30} também utilizados como parâmetro na equação também foram obtidos pela utilização do software. Para fins práticos foi adotado o valor de EI_{30} conforme o cálculo desenvolvido pelo método proposto por Wagner e Massambani (1988). O layout do programa está representado na Figura 7.

Figura 7 – Interface do programa netErosividade MG



Fonte: Grupo de pesquisas em Recursos hídricos (2019)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Situação aparente observada nas áreas de estudo

Foram realizadas duas visitas para se determinar uma situação aparente da área escolhida. A primeira visita foi realizada no dia 25 de janeiro de 2019 e a segunda no dia 25 de março de 2019 e foi possível se observar a localidade com condições meteorológicas distintas, já que no primeiro dia de visita esta foi realizada em dia chuvoso e a segunda em dia com baixa nebulosidade e sol intenso. Com relação à área de estudo 1 foi observada uma superfície de solo bastante exposta, o que propicia um grande escoamento superficial em épocas de alta pluviosidade. Além disso, observou-se, também, a presença de diversas estruturas hidráulicas de retenção de escoamento superficial instaladas segundo as curvas de nível do local, sendo espaçadas de 10 em 10 metros, Tais estruturas são denominadas de “barraginhas” e estas foram espalhadas em diversos pontos do terreno. O Sistema Barraginhas busca viabilizar as áreas de pastagens, beiras de estradas e lavouras, onde ocorra elevado escoamento superficial, para a construção de diversos mini açudes distribuídos na propriedade, de modo que cada um retenha a água da enxurrada, evitando erosões, voçorocas e assoreamentos, e amenizando as enchentes. Além disso, a sua utilização está diretamente ligada à infiltração de água no solo, ou seja, em sua superfície porosa a água infiltra e possibilita a recarga dos aquíferos subterrâneos. Dessa maneira, a recarga abastece os mananciais que mantêm as nascentes, e córregos. No local estudado foi observada a utilização das barraginhas para a captação de água para dessedentação dos animais presentes na propriedade. Com relação ao processo produtivo dessas estruturas de captação, elas foram dimensionadas com diâmetro de 5 metros e profundidade de 2,35 metros o que lhe confere um volume de, aproximadamente, 46 m³. Porém, o escoamento presente na área traz problemas referentes ao arraste de partículas de solo devido à grande declividade do terreno, ou seja, nessas estruturas hidráulicas, de tempos em tempos observa-se uma diminuição da área de infiltração devido ao processo de assoreamento, reduzindo, a zona de infiltração o que confere uma necessidade de se fazer em alguns períodos um processo de retirada de sedimentos para que se aumente a área de contato e infiltração da água bem como o aumento de capacidade de retenção de água em seu interior. Inicialmente as construções dessas estruturas foram feitas com recursos governamentais para estabelecer zonas de revitalização de

nascentes e córregos adjacentes que são afluentes do Rio Paraopeba, vale salientar que a cidade se situa na Grande Bacia do Rio Paraopeba e que este, é afluente do Rio São Francisco.

Figura 8 – Processo de utilização de Barraginhas



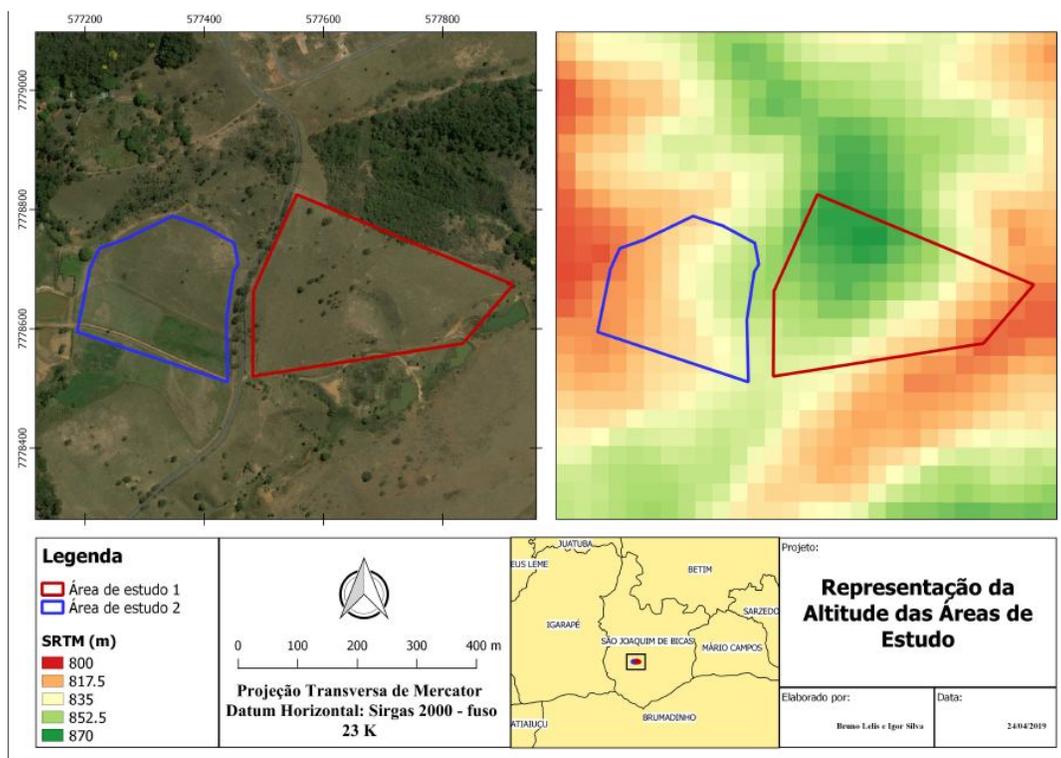
Fonte: Embrapa (2009)

Na área 2, foi observada uma superfície mais harmônica no que diz respeito aos processos erosivos, porém, não havia cultivos na área nos momentos em que se foram realizadas as visitas. Tal fato pode ter colaborado para uma conservação daquele terreno, tendo em vista que o solo estava composto de vegetações mais rasteiras (com alturas de até 20 cm) o que conferia um maior amortecimento e, portanto, menor intensificação de processos erosivos. Segundo o proprietário relatou, o terreno é utilizado para plantios diversos e são feitas rotações de culturas para um processo de “descanso” do terreno. A produção nesse terreno basicamente é feita para a alimentação dos animais. Outro fator importante é que essa fração do terreno que corresponde à área de estudo 2, é cercada o que garante que esses animais não pisoteiem aquele solo, garantindo menor compactação do solo, o que por sua vez diminui o coeficiente de escoamento naquele terreno, que embora possua características de declividade considerável, possuirá uma capacidade de retenção e infiltração muito maior em relação à um solo com mesma declividade e pisoteado por animais.

5.2 Mapa segundo Modelo Digital de Elevação (MDE)

O Mapa digital de elevação obtido por meio da utilização do QGis 3.6.1 para a área de estudo está representado na figura 9. A imagem foi obtida a partir da Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM) de resolução 30 metros.

Figura 9- Mapa Digital de Elevação da área de Estudo



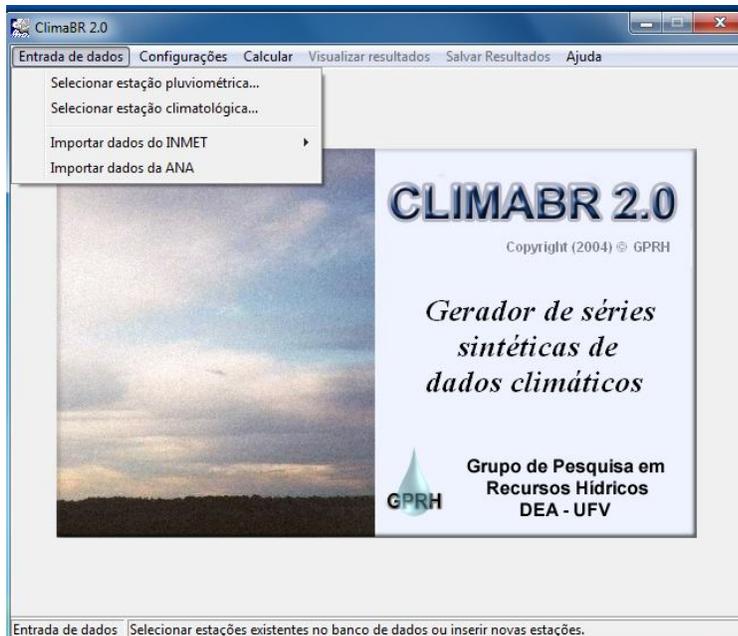
Fonte: Bruno Lelis e Igor Silva (2019)

O mapa de elevação gerado mostra que os pontos de elevação em uma extremidade até a extensão de menor valor da altimetria nas duas áreas estão entre 870 metros e 800 metros. A escolha desses pontos foi feita de maneira a se garantir características similares de elevação e, desta feita, conseguir comparar os processos erosivos referentes ao manejo do solo e práticas conservacionistas aplicadas ou não ao local onde foram desenvolvidos os estudos.

5.3 Gráfico de pluviosidade utilizando ClimaBR 2.0

O gráfico gerado por meio da utilização do software foi a maneira para a consecução dos dados de pluviosidade anual para a localidade:

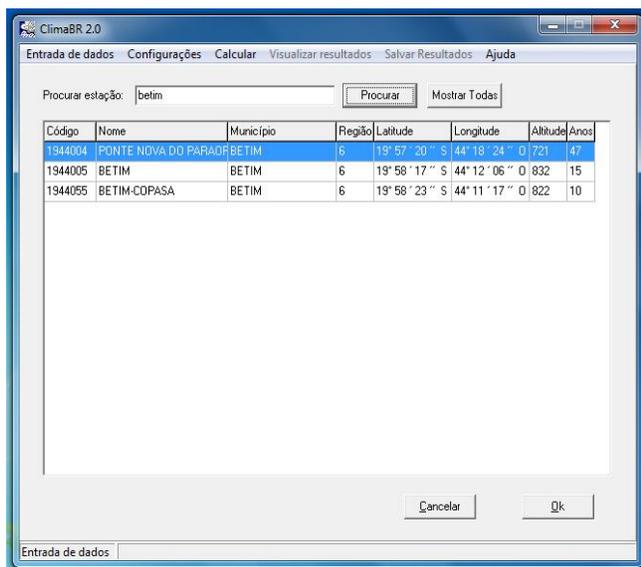
Figura 10- Seleção da estação Pluviométrica



Fonte: Grupo de pesquisas em Recursos hídricos (2019)

No programa buscou utilizar a estação pluviométrica com maior proximidade da área de estudo e foi observado que esta situava-se no município de Betim, uma das cidades da região metropolitana de Belo Horizonte e que possui características climáticas e índices pluviométricos semelhantes ao município de São Joaquim de Bicas. Tal fato motivou a escolha da Estação Pluviométrica de Ponte Nova do Paraopeba que possui coordenada geográfica mais próxima à localidade. A Figura 11 corresponde ao processo de seleção de estações pluviométrica no software ClimaBR 2.0.

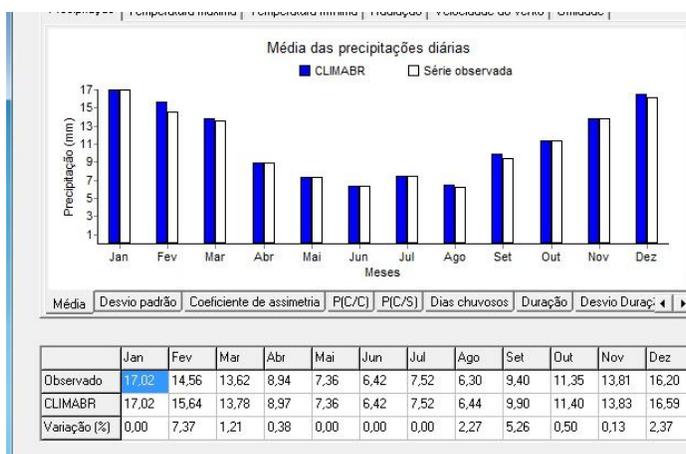
Figura 11 – Escolha da Estação Pluviométrica de Ponte Nova do Paraopeba



Fonte: Grupo de pesquisas em Recursos hídricos (2019)

Conforme os dados obtidos na figura 9, a estação pluviométrica escolhida possui altitude de 721 metros e situa-se na coordenada 19° 57' 20" S e 44° 18' 24" O e possui série de dados de quarenta e sete anos. A partir da escolha da estação, foi possível gerar um gráfico com base nas séries históricas de precipitação da região. A figura 12 representa o resultado obtido das médias de precipitação diárias relacionadas aos meses do ano.

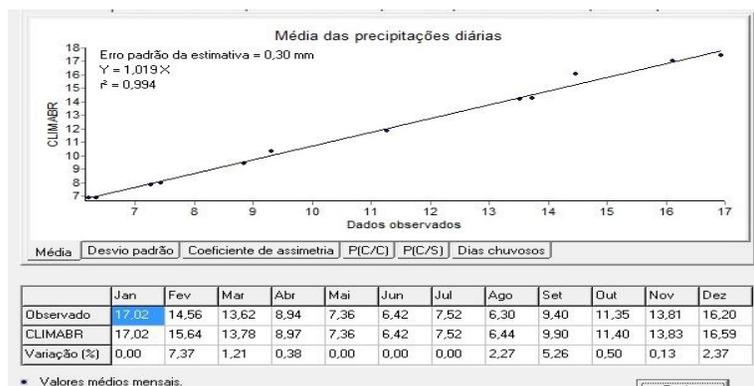
Figura 12- Média das precipitações diárias



Fonte: Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos (2019)

A partir dessa análise é possível indicar que os períodos de maior precipitação estão contidos nos meses de dezembro e janeiro. Portanto esses meses contribuem de maneira mais contundente para os processos de erosão hídrica no município. Para a validação desses dados obtidos utilizou-se uma reta de regressão linear e foi observado um maior índice de confiabilidade dessa estação pluviométrica por meio do parâmetro da equação “r²”.

Figura 13- Regressão linear relacionadas às médias de precipitação diárias



Fonte: Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos (2019)

O gráfico gerado traz um índice de confiabilidade bastante elevado ao se observar o valor elevado de r², onde esse parâmetro possui valores que variam entre 0 e 1 e na estação utilizada corresponde a um valor de 0,994, em termos percentuais de ajuste a amostra indica 99,4%. Tal fato valida as séries observadas pela estação pluviométrica em relação às três outras estações presentes no município de Betim, evidenciando assim, mais uma vez, a escolha da estação pluviométrica de Ponte Nova do Paraopeba.

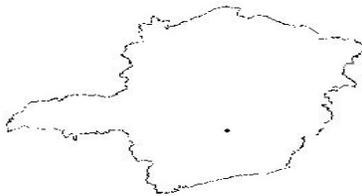
5.4 Obtenção dos parâmetros de erosividade da chuva (R) e erosividade do solo (K)

O netErosividadeMG compila dados relacionados aos processos erosivos de diversas localidades do estado de Minas Gerais. A figura 14 representa uma compilação de dados e a média de valores de perda de solo no município, sendo adotada a metodologia proposta por Wagner e Massambani (1988) para a obtenção do valor referente à erosividade da chuva a ser alimentado na Equação Universal de

Perda de Solo (USLE). Os valores obtidos são referentes à perda de solo por meio de erosão hídrica.

Figura 14 – Valores para erosividade da chuva para o município de São Joaquim de Bicas

LOCALIZAÇÃO				
Localidade:	São Joaquim de Bicas			
Latitude:	20°02'23"			
Longitude:	44°16'12"			
Altitude:	772 m			



VALORES DE EROSIVIDADE				
	KE>25 (F)	KE>25 (W&M)	EI ₃₀ (F)	EI ₃₀ (W&M)
	MJ ha ⁻¹ ano ⁻¹		MJ mm h ⁻¹ ha ⁻¹ ano ⁻¹	
Janeiro	16,08	15,71	1.580	1.573
Fevereiro	11,40	11,12	1.046	1.066
Março	8,71	8,76	840	901
Abril	3,31	3,17	283	323
Mai	0,62	0,59	94	101
Junho	0,01	0,01	31	38
Julho	0,01	0,00	32	39
Agosto	0,01	0,01	35	30
Setembro	1,23	0,64	137	126
Outubro	5,00	4,79	520	523
Novembro	10,82	11,12	1.032	1.063
Dezembro	17,78	15,98	1.726	1.765
Annual	74,98	71,90	7.355	7.549

Fonte: Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos (2019)

A partir da utilização do netErosividadeMG foi possível obter o valor anual de erosividade da chuva (R) de 7, 549, MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ e esse valor alimentará a USLE. O fator de erosividade do solo (K) foi obtido por meio de consultas bibliográficas sendo encontrado segundo o estudo de Moraes e Sales (2017) onde foi verificado um valor de erosividade para a classe de solo neossolo litólico distrófico um valor de 0,0362 t ha⁻¹ (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹)⁻¹.

5.5 Obtenção do fator de uso e manejo do Solo (C)

Para a obtenção desse fator, utilizou-se a metodologia proposta por Plínio Tomaz (2008). Sendo os valores obtidos expostos na tabela 1.

Tabela 1- Fator práticas do uso da Terra

Uso Geral da terra	C
Plantações	0,080
Florestas Virgens (C tende a 0,001)	0,0001
Pastagens	0,010
Vegetação Natural	0,100
Florestas	0,005
Agricultura de Café	0,200
Terras urbanas	0,010
Área desnuda e outros	1,000
Áreas Urbanas	0,030
Gramados	0,001

Fonte: Plínio Tomaz (2008)

Com base nessa metodologia escolhida, para a área de estudo 1 (composta pela construção de barraginhas) foi escolhido como uso geral da terra como pastagem tendo em vista a utilização da área conflitante entre rebanho de gado bovino, como já citado a utilização de água das barraginhas para desidratação do gado bem como para área de pastagem. No que tange à área de estudo 2, adotou como uso as plantações. Essa área foi caracterizada, na visita realizada, como rotação de culturas sendo apresentada pelo proprietário como alternância entre cultura de milho e soja com intervalos bastante acentuados no que diz respeito à utilização da área entre as safras distintas.

5.6 Obtenção do fator Práticas Conservacionistas (P)

Esse parâmetro da USLE foi obtido adotando o modelo proposto por Bertoni e Lombardi Neto (1990). Esses dados estão representados na tabela 2.

Tabela 2 – Valores de P para práticas de plantio em situações diferentes

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

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (1990)

Conforme a metodologia utilizada, foi possível adotar para a área de estudo 1 o plantio morro abaixo, tendo em vista que o plantio de pastagem para o gado é instituído em uma área com diferentes níveis topográficos. Em relação à área de estudo 2 onde há alternância entre duas ou mais culturas em períodos de “descanso maior” e, não obstante a isso, possui também uma declividade considerável em seu interior, foi utilizado como prática conservacionista a alternância de capinas com plantio em contorno.

5.7 Cálculos do comprimento de rampa e declividade do terreno (LS)

Para o cálculo do comprimento das rampas e declividades dos terrenos nas duas áreas distintas, optou-se por utilizar a equação proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1990) segundo ajustes da fórmula matemática segundo dados de perda por erosão hídrica para os principais tipos de solo apresentados no estado de São Paulo. A série de dados observada para essa utilização foi dada por média de 10 anos de obtenção de dados em porções de terreno com diferentes extensões (comprimentos de rampa) e variados graus de declives em sua extensão. Dessa maneira foi possível se obter a seguinte expressão:

$$LS = 0,00984 \times L^{0,63} \times S^{1,18} \quad (4)$$

O valor de S expresso na equação (4) diz respeito à declividade do terreno.

Portanto, para o cálculo foram utilizados os dados de elevação obtidos por meio da elevação máxima das áreas e em relação ao comprimento de rampa uniformizado conforme cada área de estudo. O valor obtido, assim, para o comprimento de rampa (L) na área 1 foi de 369,91 m e a declividade do terreno (S) foi de 0,193 ou seja 19,3%. A partir desses dados, foi possível substituir esses valores na equação 4 :

$$LS = 0,00984 \times 369,91^{0,63} \times 0,193^{1,18} \quad (5)$$

$$LS = 0,059$$

De maneira análoga, utilizando o valor de L encontrado de 295,35 m e o valor de S de 0,237, ou seja, 23,7% obtido pelo MDE na área 2 e substituindo na equação 4:

$$LS = 0,00984 \times 295,35^{0,63} \times 0,237^{1,18} \quad (6)$$

$$LS = 0,0647$$

Os valores obtidos por meio da aplicação foram utilizados posteriormente na USLE, compondo, assim, valores numéricos necessários para a apresentação de um resultado referente à perda de solo nas duas áreas para fins comparativos

5.8 Aplicações dos dados obtidos na equação universal de perda de solo (USLE)

Embasado pelos dados obtidos para as áreas de estudo convencionou-se para a utilização da Equação Universal da Perda de Solo tendo em vista a sua maior praticidade de obtenção de respostas, embora muito se tenha que abstrair de dados presentes em diversas bibliografias relacionadas ao tema de perda de solo. Desta maneira, montou-se a equação para as duas localidades e foram adicionados os parâmetros obtidos pelas utilizações dos softwares do Grupo de Pesquisas em Recursos hídricos, e assim foi possível obter como resultado os valores de perda de solo para cada uma das localidades. Conforme a Equação Universal de Perda de Solo (USLE) enunciada pela equação 1, obteve-se para a área de estudo 1, o seguinte resultado:

$$PS = 7,549 \times 0,0362 \times 0,059 \times 0,010 \times 1 \quad (7)$$

Em que:

$$R = 7,549, \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$$

$$K = 0,0362, \text{ t ha}^{-1} (\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1})^{-1}$$

$$LS = 0,059 \text{ adimensional};$$

$$C = 0,010, \text{ adimensional}; \text{ e}$$

$$P = 1, \text{ adimensional.}$$

Os valores L e S foram substituídos por LS, da metodologia aplicada e esta deriva da Equação Universal da perda de solo.

Logo a perda de solo (PS) em $\text{t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ calculada para a área 1 é:

$$PS = 1,61 \times 10^{-4}, \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$$

Para a área 2, obteve-se o valor de perda de solo (PS) de:

$$PS = 7,549 \times 0,0362 \times 0,0647 \times 0,080 \times 0,4 \quad (8)$$

Em que:

$$R = 7,549, \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$$

$$K = 0,0362, \text{ t ha}^{-1} (\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1})^{-1}$$

$$LS = 0,0647 \text{ adimensional};$$

$$C = 0,080, \text{ adimensional}; e$$

$$P = 0,4, \text{ adimensional.}$$

Sendo assim, o valor de Perda de Solo (PS) em $\text{t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ foi de:

$$PS = 5,65 \times 10^{-4} \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$$

Em comparação com o estudo de Demarchi e Zimback (2014) pode se observar que a perdas de solo de $1,61 \times 10^{-4} \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e $5,65 \times 10^{-4} \text{ t.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ são toleráveis para o tipo de solo dos quais as áreas estão situadas. Para tal afirmação foi possível verificar que no estudo dos autores supracitados a tolerância de perda de solo para a sub bacia do Ribeirão das Perobas para solos classificados como Neossolo Litólico Eutrófico, que possui similiaridade quanto ao processo de formação do Neossolo Litólico Distrófico, foi de $5,28 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Com base na comparação dos estudos é possível se verificar uma perda de solo bastante reduzida nas áreas estudadas o que pode ser explicado pela escala utilizada em cada trabalho.

A proposição de práticas conservacionistas tem como princípio uma seleção da melhor prática em observância com as características presentes na área em estudo e a sua função econômica para o proprietário. As áreas de estudo se apresentam como fonte de obtenção de lucro, ou seja, as parcelas de terreno estudadas são utilizadas de alguma maneira e exercem função econômica. Esse fato constitui num paradoxo a ser resolvido e esse problema consiste no caráter preventivo, ou seja, na constituição de práticas das quais impossibilitam a utilização dessa fração do terreno e em contrapartida uma preservação ambiental maior ou a utilização de práticas contingenciais que servem como subsídio ao desempenho da agropecuária sem danos referentes à exposição direta do solo aos intemperismos físicos dos quais contribuem para os variados processos erosivos.

5.9 Proposições de práticas conservacionistas

Em observação ao local de estudo, e as práticas já adotadas em ambas as áreas que no caso foram estruturas hidráulicas de contenção para o aumento da taxa de infiltração no solo, para a área de estudo 1 convencionou-se por utilizar as práticas de caráter vegetativo, na área 2 sugere-se práticas de mesmo cunho. Essa escolha se deu por esse tipo de manejo utilizar da própria vegetação do local para conter os processos erosivos de maneira a garantir que o rearranjo dessa cobertura vegetal seja suficiente para diminuir as perdas de solo e insumos aplicados na parcela do terreno cultivada. Como são áreas distintas, com características de função do terreno, também, diferentes foram propostas técnicas de manejo que levam em consideração essas situações. Para a área 1, que foi observado uma maior deterioração do terreno, podendo ser observado no mapa de delimitação de áreas da Figura 5, isso pode ser explicado ao se verificar a presença de gado e, conseqüentemente, um maior pisoteio e compactação do terreno onde tal fator implica em menores taxas de infiltração no solo e, dessa maneira maior escoamento superficial, escolheu-se a técnica de cordões de vegetação permanentes, sobretudo, próximas às áreas das barraginhas para que se fosse garantido um menor arraste de sedimentos de partículas. Esta técnica consiste no plantio de fileiras de plantas ao contorno da área desejada. As plantas devem possuir uma densidade foliar considerável assim como sistema radicular bastante difundido, além disso, a técnica é recomendada para solos rasos, o que foi verificado no local.

Na área de estudo 2, foi observado um solo menos intemperizado tendo em vista a rotação de culturas que foi descrita pelo proprietário. Por se tratar de uma área reduzida em termos de cultivo, a adoção dessa prática neste terreno mostra-se eficiente o que lhe garante menores perdas de solo e insumos aplicados à sua plantação e, portanto, essa prática de caráter vegetativo mostrou-se adequada ao se verificar que a demanda pela produção corresponde à própria propriedade além de se mostrar menos onerosa no que tange dispêndios econômicos para sua consecução.

6. CONCLUSÃO E PROPOSIÇÕES

Diante do exposto no trabalho, foi possível observar que as metodologias matemáticas expostas fazem correspondência a um assunto bastante importante ambiental e economicamente. As grandes cifras perdidas em âmbito internacional e nacional mostram a necessidade de adoções de práticas conservacionistas do solo para que tais perdas sejam minimizadas. No município de São Joaquim de Bicas, perdas de solo podem constituir um problema catastrófico para a cidade, tendo em vista a grande dependência de áreas agricultáveis para a captação de recursos para a sua economia. As proposições de práticas conservacionistas a serem adotadas nas áreas de estudo compuseram um caráter preventivo ao se verificar a relação entre a diminuição de gastos com insumos por meio do manejo do solo correto. Ainda assim, faz-se necessária a adoção de medidas preventivas contra os diversos processos de erosão expostos nesse trabalho, tendo em vista o ganho social, ambiental e econômico para regiões das quais a sua matriz econômica vem, sobretudo, de atividades agrárias. No presente trabalho foi observada uma perda de solo bastante reduzida onde para a área 1 foi observado um valor de $1,61 \times 10^{-4} \text{ t.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ e de $5,65 \times 10^{-4} \text{ t.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ para a área 2 se comparada ao tolerável que é de $5,28 \text{ t.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ obtido em consulta à bibliografia. Um fator a ser observado é a utilização do modelo proposto na Equação Universal da Perda de Solo para grandes frações de terra, ou seja, frações que extrapolam a sua área de estudo proposta pelos seus criadores e o que causaria possíveis inconformidades com o modelo. O modelo utilizado pode ter uma considerável influência na obtenção dos resultados deste trabalho, sendo assim, a utilização de outras fontes de modelagem matemática podem ajudar na consecução de dados mais reais tendo em vista a adição de valores mais apropriados à área de estudo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, Ricardo Santos Silva. **Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE E WEPP para condições edafoclimáticas brasileiras**. 2003. 118 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/9620/texto%20completo.pdf?squence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 07 out. 2018.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Editora Ícone, 1990.

CHECCHIA, Tatiane. **Avaliação de perda de solo por erosão hídrica e estudo de energia na Bacia do Rio Caeté, Alfredo Wagner - Santa Catarina**. 2005. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/dissertacao_tatiane_final_completa.PDF>. Acesso em: 09 out. 2018.

CHAVES, H.M.L. Modelagem matemática da erosão hídrica: passado, presente e futuro. In: ALVAREZ, V.H., FONTES, L.E., FONTES, M.P.F. (Eds.) **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS, UFV, DPS, 1996, p.731-750.

COOK, H. L. The nature and controlling variables of the water erosion process. **Soil Sci. Soc. Proc.**, Madison, 1936. p. 487-497.

DEMARCHI, Julio Cesar; ZIMBACK, Célia Regina Lopes. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas.. **Energia na Agricultura**, [s.l.], v. 29, n. 2, p.102-114, 6 maio 2014. EIA Energy in Agriculture.. Disponível em: <<http://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/841>>. Acesso em: 06 jun. 2019.

ELLISON, W. D. Soil erosion studies – **Part I. Agric. Eng.**, St. Joseph. 1947. p. 145-146.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **ABC da agricultura familiar**. Brasília, Parque Estação Biológica, 2009. 58p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999b. 412p.

FERREIRA, Átila da Silva. **Determinação da erosividade da chuva com base em dados medidos no Distrito Federal**. 2017. 21 f. TCC (Graduação) - Curso de Gestão Ambiental, Universidade de Brasília, Planaltina, 2017. Disponível em: <http://bdm.unb.br/bitstream/10483/16532/1/2017_AtilaDaSilvaFerreira_tcc.pdf>. Acesso em: 16 out. 2018.

HERNANI, L.C. et al. A erosão e seu impacto. In: Manzatto, C.V.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J.R.R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**, Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2002. P. 47-60.

HIGGITT, D.L. Soil erosion and soil problems. **Progress in Physical Geography**, v.1, n.15, p.91-100, 1991.

HUDSON, N. W. The factors determining the extent of soil erosion. In: Greeland, R. (ed.). **Soil Conservation and Management in the Humid Tropics**. John Wiley and Sons, 1975.

LAWS, J. O. Recent studies in raindrops and erosion. **Agric. Eng.**, St. Joseph, 21, 1940. p.431-433.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. Tolerância de perdas de terra para alguns solos de São Paulo. **Boletim Técnico** n. 28. Campinas, Instituto Agrônomo, SP. 1975. 12p.

MORAIS, Reurysson Chagas de Sousa; SALES, Marta Celina Linhares. Estimativa do Potencial Natural de Erosão dos Solos da Bacia Hidrográfica do Alto Gurquêia, Piauí-Brasil, com uso de Sistema de Informação Geográfica. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 27, n. 1, p.84-105, dez. 2017. Bimestral. Disponível em: <<http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/download/p.2318-2962.2017v27nesp1p84/12474>>. Acesso em: 16 maio 2019.

MOREIRA, Michel Castro et al. NetErosividade MG: erosividade da chuva em Minas Gerais. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1349-1353, junho 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000300042&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 06 out. 2018.

PRUSKI, Fernando Falco. **Conservação de Solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica.** Viçosa: Editora UFV, 2006. 238 p.

PRUSKI, F. F. **Modelos computacionais desenvolvidos pelo grupo de pesquisa em recursos hídricos visando o controle da erosão.** p.260-277. 2009. In: PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica.** Editora UFV. 279p. 2009.

SILVA, M.L.N., FREITAS, P.L., BLANCANEUX, P., CURI, N. Índices de erosividade das chuvas da região de Goiânia, GO. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.10, p., 1997.

TOMAZ, Plínio. - RUSLE- Equação revisada universal de perda de solo. In: TOMAZ, Plínio. **Curso de Manejo de Águas Pluviais.** Guarulhos: ., 2008. p. 12-12. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo23_rusle.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA; FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS; UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**, Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010

WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning.** Washington, DC., USDA, 1978, 58p. (Handbook, 537).