

## GEOTECNOLOGIAS NA AVALIAÇÃO DE PERDAS DE SOLO

**FLÁVIA LUIZE PEREIRA DE SOUZA<sup>1</sup>; MATEUS DE CAMPOS LEME<sup>2</sup>;  
ANDERSON ANTÔNIO DA CONCEIÇÃO SARTORI<sup>3</sup>; CAROLINE LOURENÇO  
MANZATO<sup>4</sup> E SÉRGIO CAMPOS<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Rural, Programa de Pós Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Avenida Universitária, 3780 – Bairro Altos do Paraíso, CEP: 18610-034, Botucatu – SP, Brasil. E-mail: flavialuizesouza@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Rural, Programa de Pós Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Avenida Universitária, 3780 – Bairro Altos do Paraíso, CEP: 18610-034, Botucatu – SP, Brasil. E-mail: mateus.leme93@gmail.com

<sup>3</sup> Departamento do Centro de Ciências Exatas e Aplicada, Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade do Sagrado Coração, Rua Irmã Arminda, 1050 – Bairro Jardim Brasil, CEP: 17011-160, Bauru – SP, Brasil. E-mail: sartori80@gmail.com

<sup>4</sup> Departamento de Ciência Florestal, Programa de Pós Graduação em Ciência Florestal, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Avenida Universitária, 3780 – Bairro Altos do Paraíso, CEP: 18610-034, Botucatu – SP, Brasil. E-mail: carolinemanzato@hotmail.com

<sup>5</sup> Departamento de Engenharia Rural, Programa de Pós Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Avenida Universitária, 3780 – Bairro Altos do Paraíso, CEP: 18610-034, Botucatu – SP, Brasil. E-mail: seca@fca.unesp.br

### 1 RESUMO

A aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) e de geoprocessamento na análise de sistemas ambientais permite uma estimativa da perda de solo em bacias hidrográficas, favorecendo o zoneamento ambiental e, conseqüentemente, o planejamento ambiental. Diante disso, objetivou-se avaliar as perdas de solo e o risco de erosão, por meio do modelo quantitativo EUPS em ambiente SIG, na sub-bacia do Alto Batalha, localizada no município de Bauru (SP). Para o estudo, aplicou-se a metodologia EUPS, que relaciona seis fatores para quantificar o risco de erosão na área, como a erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), comprimento da encosta (L), declividade da encosta (S), cobertura vegetal e práticas conservacionistas (CP). Assim, constatou-se que as maiores taxas de perda anual de solo na sub-bacia do Alto Batalha estão correlacionadas com o fator CP, principalmente na classe da agricultura e área exposta, o que justifica o manejo inadequado e o aumento das perdas de solo. A equação EUPS, utilizada na estimativa de perdas de solo, permitiu a classificação do grau de erodibilidade (K) na área. Assim, inferiu-se que a sub-bacia do Alto Batalha exige cuidados quanto ao controle dos processos erosivos.

**Palavras-chave:** solo, manejo, planejamento ambiental, erosão.

**SOUZA, F. L. P.; LEME, M. C.; SARTORI, A. A. C.; MANZATO, C. L. E  
CAMPOS, S.  
GEOTECHNOLOGIES IN SOIL LOSS EVALUATION**

## 2 ABSTRACT

The application of the Universal Soil Loss Equation (USLE) and geoprocessing in the analysis of environmental systems, allows an estimation of soil loss in watersheds favoring environmental zoning and, consequently, environmental planning. Therefore the aim was to evaluate soil losses and erosion risk by means of USLE quantitative model in GIS environment in Alto Batalha river Sub-basin located in the city of Bauru (SP). For the study, the USLE methodology was applied, which lists six factors to quantify the erosion risk in the area, like rain erosion (R), soil erodibility (K), slope length (L), declivity of the slope (S), vegetation cover and conservation practices (CP). Thus, it was found that the highest rates of annual soil loss in Alto Batalha Sub-Basin are correlated with the CP factor, mainly in areas of agriculture and exposed areas, which justifies inadequate management and increasing soil losses. The USLE equation used in the estimation of soil losses allowed the classification of the degree of erodibility (K) in the area. Therefore, it was inferred that Alto Batalha Sub-basin requires care, regarding the control of erosive processes.

**Keywords:** ground, management, environmental planning, erosion.

## 3 INTRODUÇÃO

O Rio Batalha, no município de Bauru, é responsável pelo abastecimento de aproximadamente 38% da população da cidade, sendo de fundamental importância para a manutenção hídrica da região (BAURU, 2014). Segundo Oliveira et al., (2011), os sedimentos trazidos pelos processos de perda de solo da bacia afetam a produção de água na estação de tratamento, de forma prejudicial, por causarem o assoreamento da represa de captação.

As perdas anuais de solo, sofridas pelas áreas agrícolas no Brasil, atingem valores da ordem de 500 milhões de toneladas de terra e, conseqüentemente, há perda de cerca de 8 milhões de toneladas de nitrogênio, fósforo e potássio, nutrientes fornecidos às lavouras para o aumento da produção. Assim, as perdas resultam no aumento do custo de produção, causando impacto direto na economia (SBCS, 2015).

Na avaliação dos processos de deterioração do solo, devem ser levantados e avaliados os fatores que acarretam a sua degradação, junto com a geometria das vertentes (declividade, extensão e

arquitetura do perfil), a litologia, a cobertura pedológica, a precipitação pluviométrica, a cobertura vegetal natural e agrícola, além de outras intervenções antropogênicas (VALLE; FRANCELINO; PINHEIRO, 2016).

Há duas formas de determinar a deterioração do solo: quantitativa e qualitativa; ambas com vantagens e desvantagens (CHAVES, 1995). A análise quantitativa não permite a obtenção de valores numéricos para a estimativa da degradação do solo e sua sedimentação, entretanto, possibilita a estimativa da erosão absoluta, por conseguinte, propicia o planejamento conservacionista, embora esse modelo requeira um grau de informações mais elevado do usuário, quando comparado ao qualitativo (ARAÚJO; FURRIER; MONTEIRO, 2016).

A utilização de modelos quantitativos foi intensamente simplificada com o desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). A aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) e de técnicas de geoprocessamento especializadas, por meio do SIG, quando utilizadas em conjunto,

permitem estimar a perda de solo em bacias hidrográficas. Favorecendo assim, o zoneamento ambiental e orientando o planejamento ambiental da área (PRUSKI, 2006).

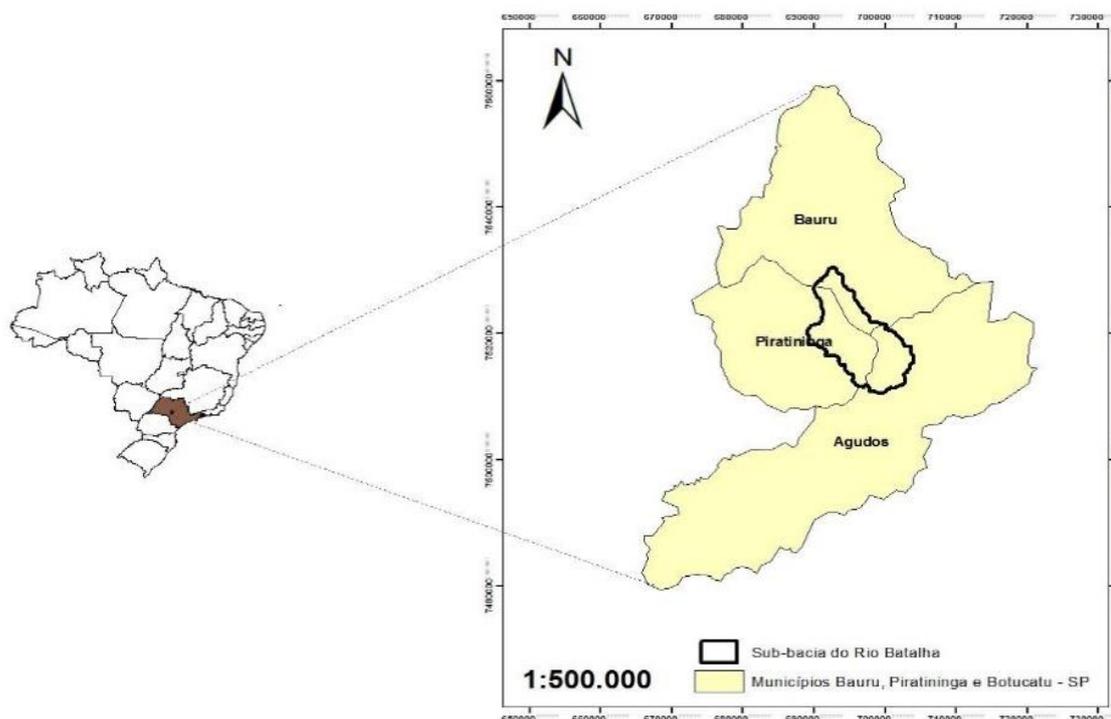
Dentro desse contexto, o estudo de perda de solo se torna fundamental para direcionar a atividade humana no sentido do uso sustentável, com um conhecimento antecipado do potencial de degradação do solo (LOPES et al., 2011). Objetivou-se com o presente trabalho, avaliar a perda de solo e risco de erosão com aplicação do modelo quantitativo EUPS e do uso de ferramentas SIG na sub-bacia do Alto Batalha, localizada no município de Bauru (SP).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Descrição da área de estudo

A área de estudo localiza-se na sub-bacia do Alto Batalha, situada no centro do estado de São Paulo, a oeste da cidade de Bauru, a cerca de 340 km da capital do estado. Geograficamente, encontra-se entre os paralelos 22°20' e 22°30'Sul e os meridianos 49°00' e 49°10'Oeste. A sub-bacia do Alto Batalha é de grande importância no abastecimento de água da cidade (KOFFLER; MONTANDON 2000). A Figura 1 ilustra a área de estudo em relação ao estado de São Paulo e os municípios estudados. Os planos de informações geográficas foram projetados em coordenadas UTM, Datum SIRGAS 2000 fuso 22S.

**Figura 1.** Localização da área de estudo sub-bacia do Alto Batalha, Bauru (SP).



Segundo a classificação de Köppen (1948) do tipo Cwa, a área de estudo possui altitude tropical, apresentando verão quente e úmido e inverno seco. A temperatura

média do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassa os 22°C.

O histórico do uso e ocupação do solo mostra que nas duas últimas décadas

ocorreu o empobrecimento do solo, devido à substituição da floresta tropical subcaducifólia, que recobria grande parte da área, por pastagens, além da inexistência de matas ciliares em praticamente todo o curso do rio Batalha e seus afluentes. A principal consequência é o assoreamento em toda a extensão do rio Batalha, causado pelo transporte de partículas de terra para jusante (KOFFLER; MONTANDON 2000).

#### 4.2 Material cartográfico

Para a vetorização das curvas de nível, rede de drenagem e delimitação da área de estudo, foram utilizadas as cartas planialtimétricas do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC), em escala 1:10.000, com equidistância vertical entre as curvas de nível de 5 m. As cartas foram editadas em 1977 pelo Instituto Geográfico Cartográfico (POSTIGO; SARTORI, 2017).

#### 4.3 Imagens do satélite Landsat 8

Utilizou-se imagens do satélite Landsat 8, órbita/ponto 221/075, resolução radiométrica de 16 bits, resolução temporal de 16 dias, resolução espacial de 30m, datada em 25/08/2017, projeção da imagem OLI, Datum WGS 84, (projeção cilíndrica) sendo necessário projetá-las para o SIRGAS 2000 hemisfério Sul. As imagens foram adquiridas gratuitamente por meio de *download* pelo *site* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

#### 4.4 Determinação dos fatores da EUPS (equação universal de perda de solo)

A EUPS relaciona seis fatores que influenciam diretamente na erosão do solo: erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), comprimento da encosta (L), declividade da encosta (S), cobertura vegetal (C) e práticas conservacionistas

adotadas (P). Para quantificar as perdas de solo por erosão laminar foi utilizada a fórmula da EUPS, apresentada por Carvalho (1994) de acordo com Equação 1:

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

Onde:

A= perda de solo por unidade de área e tempo,  $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ;

R= fator de erosividade da chuva, expressa a erosão potencial, ou poder erosivo da precipitação média anual da região,  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ;

K= fator de erodibilidade do solo que representa a capacidade do solo de sofrer erosão por uma determinada chuva,  $t \text{ ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ;

L= fator topográfico que expressa o comprimento do declive (adimensional);

S= fator topográfico, que expressa a declividade do terreno ou o grau de declive (adimensional);

C: fator que expressa uso e manejo do solo e cultura; P: fator de práticas conservacionistas (adimensional).

Para homogeneizar os dados, todas as faixas com 30 metros de resolução foram processadas.

##### 4.4.1 Determinação da erosividade das chuvas – Fator R

O fator chuva é um índice numérico que representa o potencial, da chuva e da enxurrada, para provocar erosão em uma área sem vegetação.

Os dados de erosividade da chuva foram obtidos por meio do programa NetErosividade SP. Esse *software* foi desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa (UFV) para estimar os valores mensal e anual de  $EI_{30}$  (Índice de erosão em  $\text{MJ ha}^{-1}$  multiplicado por  $\text{mm h}^{-1}$ ).

As coordenadas das estações de monitoramento pluviométrico da área de

estudo foram extraídas do Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (HIDROWEB/ANA). Com os índices de chuva, obtidos por meio do programa NetErosividade SP, foi gerado o mapa de erosividade das estações ativas.

#### 4.4.2 Determinação da erodibilidade dos solos - Fator K

A erodibilidade do solo (K) mostra a susceptibilidade e a resistência do solo à erosão por meio da relação entre a intensidade de erosão e a erosividade da chuva, para um determinado solo que permaneceu continuamente sem cobertura (CARVALHO, 1994).

O fator K pode ser determinado tanto por métodos diretos quanto indiretos. Porém, no método direto são necessários determinação em campo, tempo e recursos financeiros (LIMA et al., 2007). Portanto, neste trabalho, a erodibilidade foi estimada pelo método indireto, por pesquisas bibliográficas, conforme os procedimentos abaixo:

- Obtenção do *shape* de solos da sub-bacia hidrográfica do Batalha;
- Levantamento dos dados de erodibilidade das classes de solos existentes na área de estudo;
- Classificação da base cartográfica com os índices de K de erodibilidade;
- Mapa do Fator K.

O fator erodibilidade foi obtido por meio da associação do mapa de solos e a atribuição de valores de erodibilidade, correspondentes a cada classe de solo, resultando em um mapa de erodibilidade.

#### 4.4.3 Determinação do comprimento de rampa e declividade - Fator LS

A velocidade com que escorre o material gerado pela perda de solo é um produto do comprimento do lançante e do grau de declividade do terreno (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

O plano de informação do comprimento de rampa e declividade do terreno foi gerado a partir do MDT (Modelo Digital do Terreno). O fator L (fator comprimento da encosta) e o fator S (fator grau de declividade) foram combinados em fator LS ou topográfico, de acordo com a equação desenvolvida por Desmet e Goovers (1996) Equação 2:

$$L_{ij} = [(A_{ij-in} + D^2)^{m+1} - (A_{ij-in})^{m+1}] / [D^{m+2} \cdot x_{ijm} (22,13)^m] \quad (2)$$

Sendo:

x = coeficiente função do aspecto para grade de célula em coordenada (i,j);

m = coeficiente função da declividade para a grade de célula com coordenada (i,j);

L<sub>ij</sub> = é o fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i,j);

A<sub>i,j-in</sub> = área de contribuição da célula em coordenadas (i,j) (m<sup>2</sup>);

D = tamanho da célula em metros.

Para o cálculo do fator de declividade foi utilizada a relação desenvolvida por McCool et al (1987), adotada como parte da Equação Universal de Perdas de Solo Revisada (EUPS), da seguinte forma:

S = 10,8 x sin Θ + 0,03, quando declividade < 9%;

S = 16,8 x sin Θ - 0,5, quando declividade ≥ 9%.

Onde Θ é o ângulo de declividade.

Os procedimentos para obter o fator topográfico (LS) foram os seguintes:

- Obtenção do Modelo Numérico do Terreno (MNT) - Triangulated Irregular "network" (TIN);

- Correção de depressões espúrias;

- Cálculo do fator topográfico com o MNT- Extensão Raster Calculator.

A Metodologia Fragmentada:

- para o cálculo do L, a sugerida por Desmet e Govers (1996);
- para o cálculo do S, a forma demonstrada por McCool et al. (1987).

#### 4.4.4 Determinação da cobertura vegetal e Práticas Conservacionistas - Fator CP

Os efeitos da presença da cobertura vegetal, por ser considerada uma proteção natural do solo contra a ação erosiva, podem ser classificados como: dispersão da água; interceptação e evaporação das gotas de chuvas; proteção direta contra o impacto das gotas de chuva; aumento da capacidade de retenção de água; decomposição das raízes das plantas, que aumentam a infiltração da água e reduzem a velocidade do escoamento superficial. (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2012).

O fator C mede o efeito combinado de todas as relações das variáveis de cobertura e manejo. O fator P relaciona a intensidade esperada de perdas de terra, com determinada prática conservacionista (plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, terraceamento) com as alternâncias de capinas e quando a cultura está plantada no sentido do declive (BERTONI; LOMBARDI, 1993).

Segundo Wischmeier e Smith (1978), os fatores C e P, representados pelo fator CP, estão consideravelmente relacionados, por isso devem ser analisados em conjunto.

Os procedimentos para a obtenção do fator CP foram os seguintes:

- Aquisição da cena do satélite LANDSAT 8, sensor OLI, (órbita 221 e ponto 075), coletada em 25/08/2017 por meio do catálogo de imagens do INPE;
- Pré-processamento;
- Georreferenciamento e composição de imagens;
- Classificação do uso e cobertura do solo;
- Pós-classificação;
- Atribuição dos valores de CP às

classes de uso do solo;

- Mapa de fator CP;
- Transformação de *shape* para Raster;
- Mapa do fator CP – Raster.

A classificação da imagem foi feita com a utilização de 3 bandas espectrais do satélite: banda 4 (Vermelha), banda 3 (Verde) e banda 2 (Azul), para composição das bandas em RGB-432, além da banda pancromática para a fusão. O mapa de uso e cobertura da área de estudo foi gerado pela classificação supervisionada da imagem LANDSAT 8.

Os valores de CP foram classificados segundo Stein et al. (1987), de acordo com o tipo de ocupação, o estágio florestal e a densidade da cobertura vegetal. O CP está dividido em grupo e categoria, sendo que os grupos são referentes ao estágio florestal e ao grau de cobertura, de acordo com a coluna de categoria do tipo de vegetação ou cultura agrícola. Os baixos valores de CP correspondem a uma vegetação de grande a médio porte, ou seja, quanto menor o porte da vegetação e o grau de cobertura, maior a perda de solo e, conseqüentemente, os valores do fator. Os valores nulos de CP são relacionados às ocupações antrópicas diversas e aos corpos de água.

Em grandes bacias, a obtenção do fator P com detalhamento é difícil, portanto Stein et al. (1987) adotaram  $P = 1$ , que representa a pior situação possível de práticas conservacionistas, conseqüentemente resultando em valores de CP exagerados, porém, é uma aproximação adequada para a utilização de imagens no sensoriamento remoto.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Mapa de declividade

Foi utilizado o modelo digital de elevação (MDE) para extração de

informações referentes à declividade, à quantificação das áreas, e aos respectivos percentuais para cada classe de declividade

em relação à área total em escala 1:10.000 (Tabela 1).

**Tabela 1.** Classes de declive e relevo ocorrentes na sub-bacia do Alto Batalha, Bauru (SP).

Declividade (%)	Relevo	Área (ha)	%
0 – 3	Plano	3601,05	24,54
3 – 6	Suavemente-ondulado	5400,60	36,8
6 – 12	Ondulado	3612,13	24,61
12 – 20	Forte-ondulado	1225,08	8,35
20 – 40	Montanhoso	558,13	3,8
>40	Escarpado	268,80	1,83
Total		14665,79	99,93

Fonte: Modificado a partir de Lepsch (1991).

Por meio da interpretação das classes de declive de Lepsch (1991), foi observado (Tabela 1) que os maiores valores encontrados estão nas classes suavemente ondulado, ondulado e plano, que apresentaram, respectivamente, 36,8%, 24,61% e 24,54%, totalizando 85,95%. Já para as classes forte-ondulado, montanhoso e escarpado, os valores foram, respectivamente, 8,35%, 3,8% e 1,83%, totalizando 13,98%.

A área de estudo apresentou 1,83% de relevo escarpado, classe que representa maior declividade (> 40%). Assim, exige maior atenção e uso efetivo de práticas conservacionistas, por apresentarem alto potencial de perda de solo por processos erosivos.

Segundo Ramalho Filho e Beek (1994), um relevo plano é propício para qualquer uso agrícola, sendo representada por 24,54% da área total.

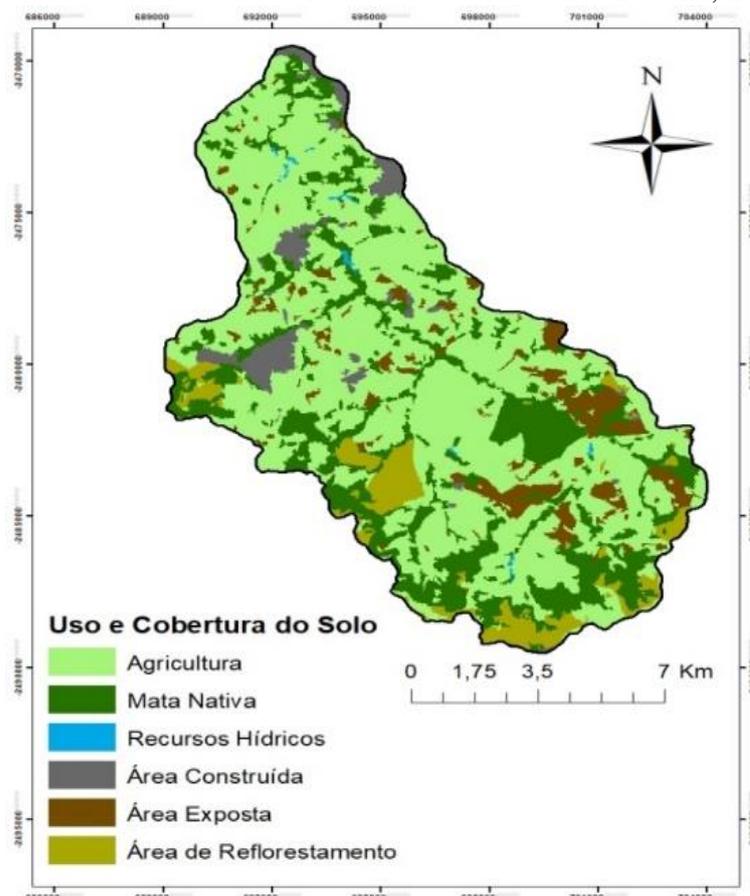
A classe de 3,0 a 6,0 é classificada como suavemente-ondulado e para Lepsch et. al. (2002) é recomendada para plantio de culturas anuais e práticas simples de

conservação do solo. Com 24,61% da sub-bacia do Alto Batalha, contém áreas com solos profundos e não possuem limitações ou possuem poucas limitações de uso, e são menos onerosas no uso de máquinas.

A classe de 6,0 a 12,0 também é indicada para plantio de culturas anuais, porém recomenda-se práticas de conservação do solo. A classe de 12,0 a 20,0 representa áreas impróprias para culturas anuais, então é recomendada para culturas perenes (LEPSCH et. al., 2002).

## 5.2. Mapa do uso do solo

Após a composição das imagens do satélite Landsat 8, foi possível classificar, com o auxílio do Google Earth, os diferentes tipos de uso e cobertura do solo presentes na área de estudo, como: agricultura, mata nativa, recursos hídricos, área construída, área exposta e área de reflorestamento (Figura 2). As classes de uso e cobertura do solo foram quantificadas, obtendo-se o percentual correspondente a cada classe (Tabela 2).

**Figura 2.** Mapa de uso e cobertura do solo da sub-bacia do Alto Batalha, Bauru (SP).**Tabela 2.** Quantificação das áreas de uso da sub-bacia do Alto Batalha, Bauru (SP).

Classes de uso do solo	Área da sub-bacia	
	ha	%
Área Construída	618,39	4,21
Mata Nativa	3365,90	22,94
Área exposta	1037,45	7,07
Área de Reflorestamento	916,39	6,24
Agricultura	8694,49	59,25
Recursos Hídricos	42,64	0,29
Total	14675,26	100

A sub-bacia do Alto Batalha apresentou um percentual de 22,94% de mata nativa (Figura 2), assim, foi possível observar que a área enfrenta problemas pela falta de vegetação nas APPs, devido à expansão urbana que ocupa 4,21%, a agricultura com 59,25% e área exposta com 7,07% na área de estudo. As áreas de APPs deveriam estar ocupadas por matas nativas, conforme o Código Florestal (Lei nº 12.651,

de 2012), com o objetivo de garantir a preservação dos recursos naturais e da biodiversidade.

A partir do mapa de uso (Figura 2) foi possível constatar que a ampliação da área de reflorestamento, que corresponde a 6,24% da sub-bacia do Alto Batalha, é uma maneira de realizar a manutenção do local. De acordo com Martins et al. (2010), a mata nativa produz serrapilheira, material que

protege o solo. Segundo os autores, o reflorestamento pode ser considerado uma prática agrícola de menor impacto, mesmo com perdas superiores às da vegetação nativa, devido ao grau de cobertura.

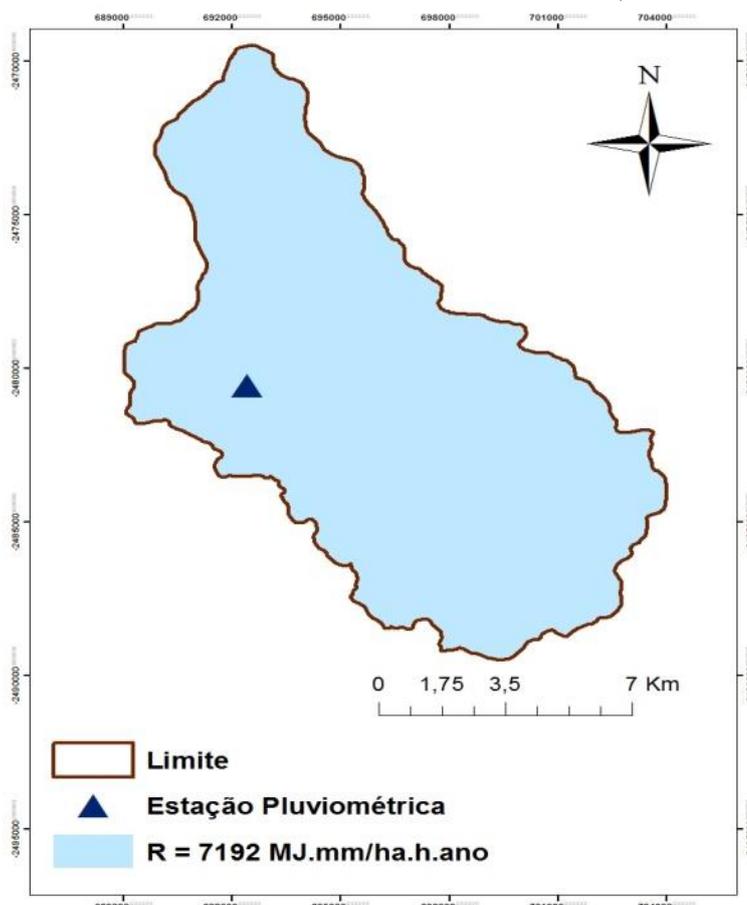
Na sub-bacia, a maior parte do reflorestamento é feito a partir do eucalipto. Com o desenvolvimento da floresta plantada, ocorre o fechamento do dossel e um consequente aumento na produção de biomassa. A queda de galhos e folhas formam uma camada de serrapilheira, somada ao fechamento do dossel pelas copas diminuem o risco de perda de solo pela ação direta da chuva. (LANZA, 2011).

Na sub-bacia do Alto Batalha, a maior parte da área é utilizada para produção agrícola (59,25%), principalmente para cana-de-açúcar, o que influencia diretamente na perda de solo. O manejo da cana-de-açúcar contribui para a compactação do solo devido ao uso intensivo de máquinas agrícolas. Além disso, o seu uso na monocultura causa o empobrecimento pelo alto nível de exportação de nutrientes, o que afeta a diversidade biológica local e desagrega o solo, deixando-o cada vez mais exposto (LANZA, 2011).

Para solo exposto, foi encontrado um valor de 7,07%. Dentro dessa porcentagem, estão incluídas lavouras temporárias que, em determinadas épocas do ano, ficam com o solo exposto por conta do período pós-colheita até o recobrimento do solo pela cultura. Porém, a cana-de-açúcar em estágio de desenvolvimento representa a classe da agricultura que contabiliza 59,25% da área de estudo, portanto há um aumento na porcentagem de área exposta em determinados períodos, com isso o aumento da taxa de perda de solo. (LANZA, 2011).

### **5.3 Fator erosividade da chuva (R)**

Foi possível observar no mapa do fator R (Figura 3) que, na região do estudo, o fator de erosividade está associado à classificação de solos da área. Dos solos existentes na área de estudo, o latossolo é o mais resistente, por possuir como características um solo bem drenado, profundo, coeso, com alto grau de estabilidade, alta porosidade e permeabilidade, porém representa apenas 1,86% da área total.

**Figura 3.** Mapa do fator de erosividade da sub-bacia do Alto Batalha, SP.

O valor alcançado, conforme o mapa de erosividade, permitiu classificar o fator de erosividade como médio-forte, de acordo com a chave de interpretação proposta por Carvalho (1994) (Tabela 3), ou

seja, é necessário maior cuidado quanto ao manejo dos solos agrícolas, pois foram as áreas que apresentaram os maiores riscos de perdas de solo.

**Tabela 3.** Classes de interpretação da erosividade da chuva.

Classificação	MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>
Baixa	$R \leq 2452$
Média	$2452 < R \leq 4905$
Média-forte	$4905 < R \leq 7357$
Forte	$7357 < R \leq 9810$
Muito forte	$R > 9810$

Fonte: Carvalho (1994)

Os argissolos são solos compostos por um horizonte B textural (mudança textural abrupta) que apresentam preenchimento de poros e baixa

permeabilidade, favorecendo o escoamento superficial, e contribuindo com o processo erosivo. (EMBRAPA, 2006).

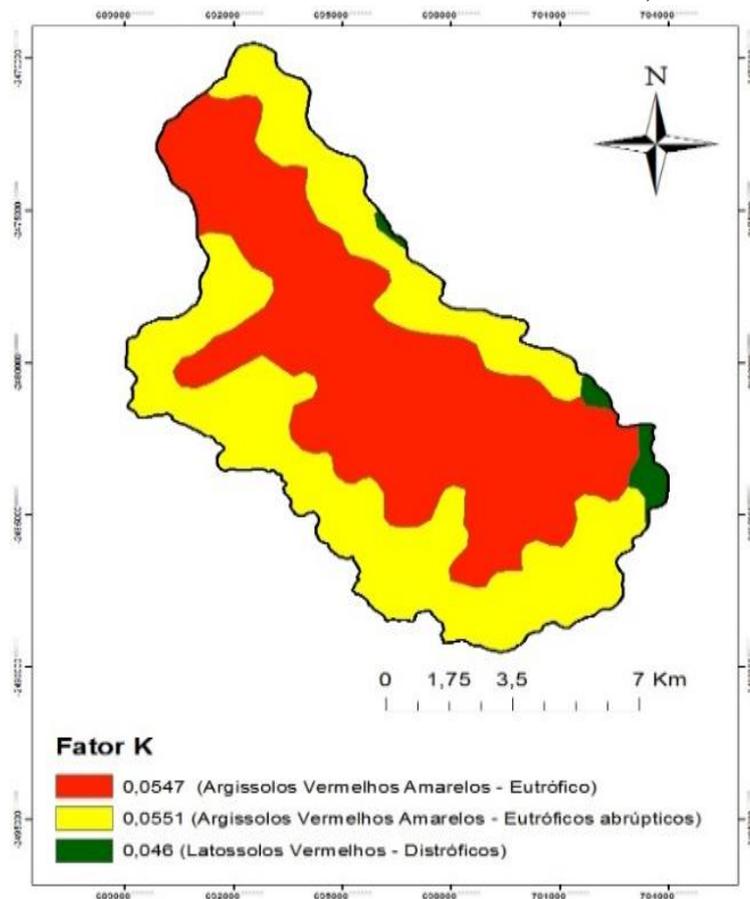
#### 5.4 Fator erodibilidade dos solos (K)

Os valores de erodibilidade, na área de influência da sub-bacia do Alto Batalha, foram encontrados por meio de pesquisa bibliográfica, de acordo com Lima et al. (2015). Esses valores foram atribuídos ao mapa de solos (Figura 4) do município de Piratininga, Bauru e Agudos, o que permitiu obter o mapa do fator de erodibilidade. Em seguida, de acordo com o proposto por Mannigel et al. (2002), obteve-se a classificação da erodibilidade dos solos da

área de estudo.

Verificou-se que os maiores valores de erodibilidade (Tabela 4) estão associados aos argissolos, os quais recobrem 98,16% da superfície da área do estudo, sendo: 46,84% de argissolo vermelho-amarelo eutrófico abrupto de textura arenosa/média; 51,32% de argissolo vermelho-amarelo eutrófico típico de textura arenosa/média; apenas 1,86% de latossolo vermelho distrófico típico de textura média.

**Figura 4.** Mapa do fator de erodibilidade da sub-bacia do Alto Batalha, SP.



**Tabela 4.** Valores de erodibilidade para classes de solos.

Classes de Solos	Sigla	Fator K	%
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico abrupção- textura arenosa/média	PVA2	0,0551	46,84
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico - textura arenosa/média	PVA1	0,0547	51,32
LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico - textura média	LV45	0,0460	1,86

**Fonte:** modificado a partir de Lima et al. (2015).

Considerando a chave de interpretação de Mannigel et al. (2002), pode-se observar que a bacia é composta

por solos classificados com um fator de erodibilidade muito alto (Tabela 5).

**Tabela 5.** Classificação da erodibilidade dos solos.

Classificação	K t ha h ha <sup>-1</sup> MJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup>
Extremamente alta	> 0,0600
Muito alta	0,0459 – 0,0600
Alta	0,0300 – 0,0450
Média	0,0150 – 0,0300
Baixa	0,0090 – 0,0150
Muito baixa	<0,0090

**Fonte:** Mannigel et al. (2002).

A erodibilidade interfere no comportamento do solo em relação ao processo erosivo, pois influencia na desagregação causada pelo impacto da chuva, na resistência ao transporte pelo fluxo superficial e infiltração da água no solo (ARAÚJO; SALVIANO; NETO, 2011).

Os argissolos possuem pouca estabilidade dos seus agregados, porque são compostos predominantemente por areia, silte, baixo percentual de matéria orgânica e argila, além de obterem baixa resistência ao desprendimento das partículas durante as chuvas intensas, portanto esses solos são propensos à erosão. A mudança do horizonte A para o B nos argissolos ocorre de forma muito abrupta e essa transição confere menor agregação de sua estrutura, ou seja, o horizonte superficial, com

características arenosas, e o horizonte em profundidade, com aumento de argila, contribuem para maiores valores de erodibilidade. (LEPSCH, 2010).

O latossolo está inserido na classe de erodibilidade muito alta, porém, o valor da erosividade ainda é menor que os valores dos argissolos, porque os latossolos geralmente são bem drenados, profundos, com alto grau de estabilidade, alta porosidade e alta permeabilidade, conseqüentemente, mais resistentes. Porém, a porcentagem de latossolo é 1,86% do total da área, uma porcentagem muito pequena comparada ao argissolo, que é muito suscetível à erosão (EMBRAPA, 2006).

De acordo com a fragilidade da paisagem, é necessária à implantação de práticas conservacionistas que contribuam para a diminuição dos riscos de erosão

acelerada e que conseqüentemente ajudem na manutenção do ambiente (PEREIRA, 2014).

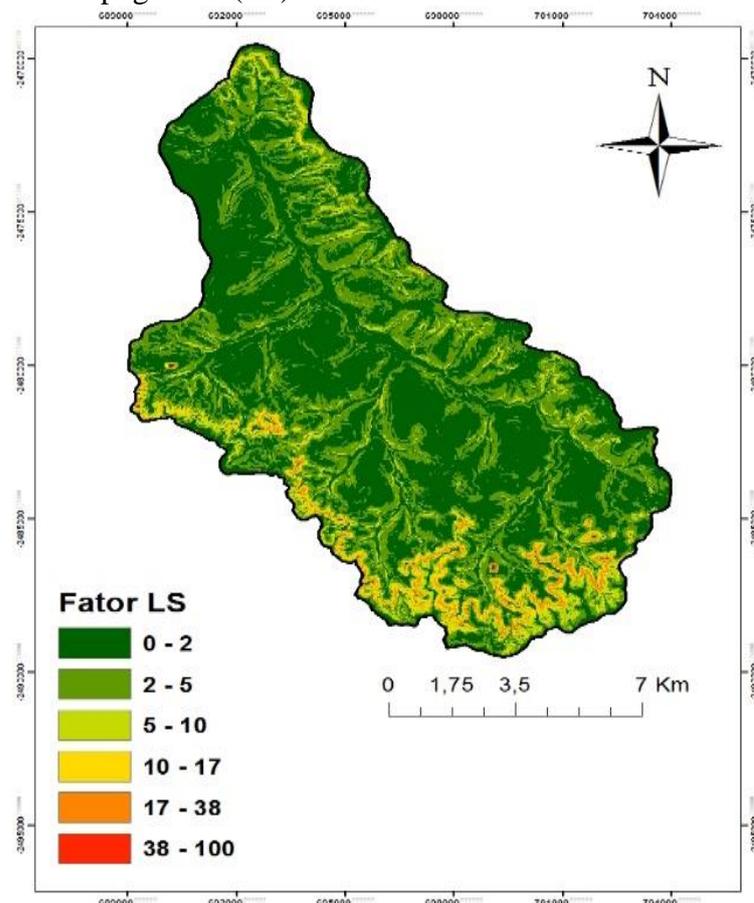
### 5.5. Fator comprimento de rampa e declividade (LS)

O comprimento de rampa e a declividade (Fator LS) são os fatores mais importantes da EUPS. O fator L influencia o processo erosivo pela interferência do comprimento da rampa na velocidade de escoamento superficial e, conseqüentemente, na intensidade e quantidade de material transportado (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Tanto o comprimento de rampa, quanto a

declividade, influenciam sobre a velocidade do escoamento superficial (GUERRA, 2009).

Na área de estudo, o Fator LS (Figura 5) não ocorre de forma homogênea e gradual, apresentando grande amplitude. Os valores baixos de LS ficam localizados próximos aos interflúvios, locais onde o comprimento da vertente e a declividade são reduzidos. Os valores mais altos de LS correspondem a áreas mais declivosas e comprimento de vertente maior. Desse modo, o Fator LS aumenta em direção às áreas mais declivosas e próximo aos cursos hídricos, o que influencia de forma relevante no processo de erosão laminar.

**Figura 5.** Mapa Fator topográfico (LS) da sub-bacia do Alto Batalha.



Observou-se que os valores baixos foram os que apresentaram maior concentração, correspondendo a 54,27% da

classe 1-2 e 32,78% da classe 2-5 de toda área em estudo (Tabela 6).

**Tabela 6.** Classes de distribuição do fator topográfico (LS).

Classes LS adimensionais	Área da sub bacia	
	ha	%
1-2	7965,70	54,27
2-5	4810,46	32,78
5-10	1232,26	8,40
10-17	449,57	3,06
17-38	218,27	1,49
38-100	0,24	0,001
Total	14676,85	100

É possível observar no mapa do fator LS (Figura 5), que a declividade interfere consideravelmente no fator topográfico. As classes de 38 a 100 de LS correspondem a uma porcentagem da área total quase insignificante (0,001%) e possuem declividade acentuada, com mais de 40% segundo a classificação de Lepsch (1991). Já as áreas com relevo plano e suavemente-ondulado, com declividades inferiores a 6% e que possuem LS menor que 5 (adimensional), sendo elas 1-2 e 2-5 de LS, representam juntas a maior área de influência da Sub-Bacia do Alto Batalha.

Portanto, a predominância do fator topográfico plano a suavemente-ondulado na área de estudo, favorece a conservação dos solos da sub-bacia contra a erosão. Embora 98,16% da área apresente Argissolo Vermelho – Amarelo, o qual possui como característica grau muito alto de erodibilidade.

### 5.6 Fator cobertura vegetal e práticas conservacionistas (CP)

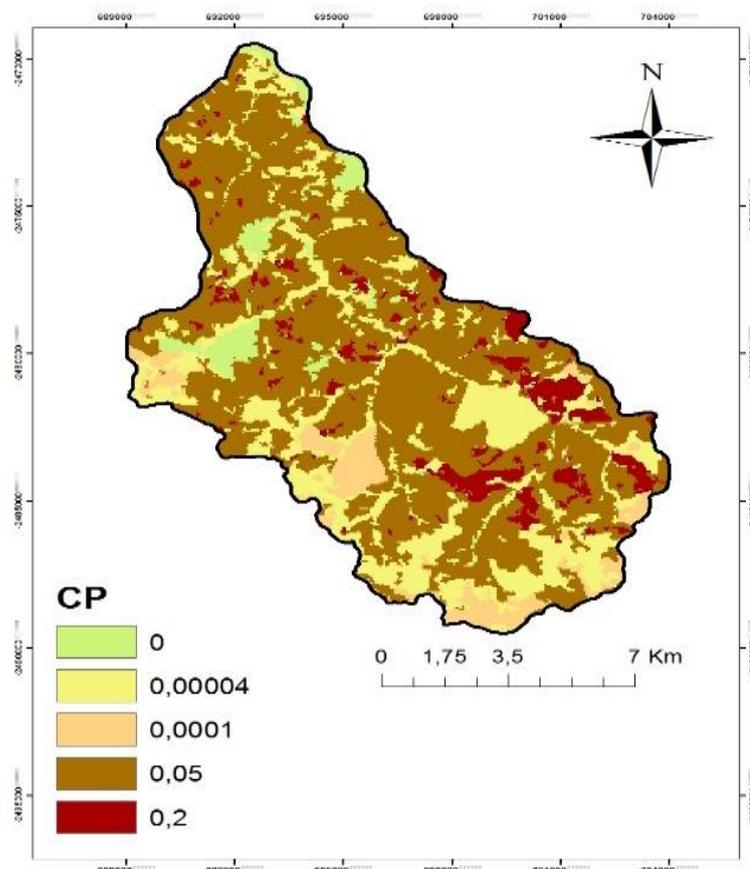
A composição de 3 bandas do satélite (bandas 4, 3 e 2) em RBG-432, equalizada de acordo com a necessidade do

trabalho, permitiu a geração do mapa de uso a partir da classificação supervisionada e interpretação visual das imagens do satélite LANDSAT 8.

Os valores do Fator C vão de 0 a 1, assim, foi necessária a realização de uma regressão linear simples entre os dois fatores, para correlacionar os seus valores e, por meio da imagem gerada, foi possível averiguar os valores mais elevados de CP.

Ainda que observada a relativa proteção pela cobertura vegetal, é necessário ponderar que algumas culturas oferecem maior proteção ao solo frente aos eventos pluviométricos do que outras. As culturas de ciclo longo ou permanentes conferem maior cobertura ao solo e, portanto, maior resistência aos processos erosivos.

Para o fator de cobertura e manejo e as práticas conservacionistas (CP) da área de estudo, existem valores que variam de 0 a 0,2, de acordo com a classificação de Stein et al. (1987). Baseado no mapa de uso do solo, o fator CP varia de 0 a 1, amplitude que nos permitiu inferir que o valor de CP para o solo com maior proteção fique mais próximo de 0 e, para solos mais expostos, mais próximo de 1 (Figura 6 e Tabela 7).

**Figura 6.** Mapa do fator CP.**Tabela 7.** Distribuição dos valores de CP. Fora da formação.

Classe de Uso do solo	Classe de CP	Área (%)
Área Construída	0	4,21
Recursos Hídricos	0	0,29
Mata Nativa	0,00004	22,94
Área de Reflorestamento	0,0001	6,24
Agricultura	0,05	59,25
Área Exposta	0,2	7,07

Fonte: Stein et al. (1987).

A área construída representada no mapa do fator CP com 4,21% e os recursos hídricos, com 0,29% da área, de acordo com Stein et al. (1987) são classificados com potencial zero, porque não possuem solo com potencial de erosão.

Na classe de uso do solo de mata nativa, foi encontrado um valor de 22,94%, portanto, foi a área com menor risco de erosão, devido à maior proteção do solo, pois dentro dos processos florestais, ocorre a produção de uma camada de serrapilheira

(Figura 6). Porém, na área de estudo, essa tipologia encontrou-se bastante fragmentada (MARTINS et al, 2010).

A silvicultura pode ser considerada uma prática agrícola sustentável para o controle da erosão, porém a área de reflorestamento representada no mapa de cobertura e manejo e práticas conservacionistas corresponde apenas 6,24% da sub-bacia. Quanto mais velho for o reflorestamento, maior a tendência de diminuição das perdas de solo, com a

produção de serrapilheira e copas das árvores com dossel de folhas densas, que protegem da ação da chuva (LANZA, 2011).

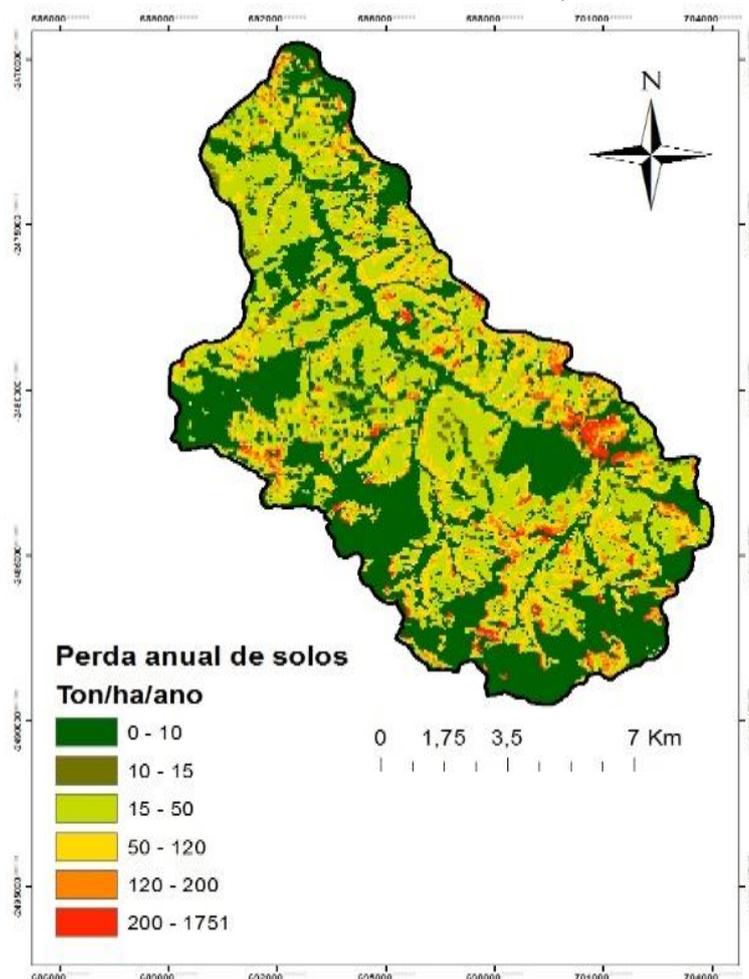
A classe de área exposta, a pior situação em que o solo pode se encontrar foi contabilizada com 7,07%, porém em lavouras temporárias ou anuais, como a cana-de-açúcar presente em grande parte da sub-bacia estão incluídas dentro da classe de agricultura que representa a maior porcentagem do estudo (59,25%), em alguns períodos do ano (colheita) também podem apresentar solo exposto, conseqüentemente aumenta a taxa da perda de solo. A vulnerabilidade dessas classes é muito alta e são agravadas se não existir sistemas de preparo e manejo adequado, principalmente devido à frequência da interferência no solo nas culturas temporárias (LANZA, 2011).

A vegetação campestre protege menos o solo em relação à vegetação arbórea, por ser mais baixa, composta por

gramíneas naturais e arbustos, porém esse tipo de vegetação ocorre em solos muito frágeis e com topografia escarpado, portanto não controla a erosão e o escoamento superficial. A pastagem depende do tipo de manejo adotado para classificar sua capacidade de infiltração da água, por exemplo, em pastos com cobertura densa de gramíneas e arbustos a perda de solo será menor, enquanto em alguns casos ocorre o superpastejo, e não existe rotação de pasto ou técnicas de manejo, para evitar a compactação do solo e diminuir a capacidade de infiltração da água (LANZA, 2011).

### **5.7 Perda de solos por erosão**

As taxas anuais de perdas de solos por erosão na sub-bacia do Alto Batalha variam de 0 a 1.751 ton/ha/ano (Figura 7), conforme a classificação de Borges (2009) e Lanza (2011).

**Figura 7.** Mapa de perdas de solos da sub-bacia do Alto Batalha, SP.

As taxas de perda de solo encontradas de acordo com Borges (2009) e Lanza (2011) foram classificadas conforme

Carvalho (1994) em seis classes: nula; moderada; média; média a forte; forte e muito forte. (Tabela 8).

**Tabela 8.** Classes de distribuição de perdas de solos por erosão.

Taxa de Perda de solo $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$	Classes de Interpretação	Área (%)
< 10	Nula	39,46
15	Moderada	2,29
50	Média	33,68
120	Média a forte	17,78
200	Forte	3,97
> 200	Muito forte	2,15
Total		99,33

Todas as variáveis ambientais (interação entre solo, topografia, precipitação, manejo e cobertura vegetal) são analisadas para definir as áreas com

maior suscetibilidade à erosão. Portanto, as menores taxas equivalem a 41,75% de toda área (Tabela 8).

As áreas com a menor taxa de perda

de solo na sub-bacia não são predominantes e estão ligadas ao fator topográfico e à classe de uso do local e correspondem a 39,46% da área.

Entretanto, 59,25% da sub-bacia é utilizada para a agricultura (Tabela 2), principalmente para o cultivo da cana-de-açúcar ou pastagem que por meio de manejos conservacionistas, contribui para que o solo ainda possua cobertura e para que ocorra a desaceleração da perda de solo. Embora, ainda não é o suficiente para gerar grandes perdas (Figura 7), devido à maior taxa de perda de solo encontrada nas áreas de agricultura e solo exposto.

As maiores taxas de perdas correspondem a um total de 57,58% da área de estudo, e são influenciadas de acordo com o uso do solo. Isso fica evidenciado na região onde a erosão foi classificada como média a forte, forte e muito forte. As áreas que possuem os maiores valores de CP foram as que apresentaram os maiores potenciais de perda, como as áreas da agricultura e com solo exposto que, sem o devido manejo aumentam a perda de solo.

A presença de Argissolo Vermelho em 98,16% tem influência direta na perda de solo, pois há uma susceptibilidade natural aos processos erosivos, conseqüentemente, foi o solo que obteve o maior grau de erodibilidade dentre os solos da área de estudo, além dos outros fatores de declividade mais onduladas potencializarem o escoamento superficial do solo.

Segundo Leinz e Leonardos (1977), no Brasil, a tolerância de perdas de solo varia de 4,2 a 15 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>; 57,58% da sub-bacia do Alto Batalha ultrapassou a quantidade tolerável. A sub-bacia do Alto Batalha apresentou resultados que indicam que os fatores que mais influenciaram a perda de solo, foram a alta erodibilidade dos

argissolos associada ao uso da terra com alto potencial erosivo.

## 6 CONCLUSÃO

A equação EUPS permitiu a classificação do grau de erodibilidade na área de estudo e demonstrou que a sub-bacia do Alto Batalha exige cuidados quanto ao controle dos processos erosivos, portanto, o agravamento dos processos erosivos pode causar o assoreamento dos reservatórios prejudicando rentabilidade agrícola local.

As variáveis do fator topográfico (LS) e do uso e manejo do solo (CP) possuem grande influência na EUPS em relação aos outros fatores da equação. Por meio dos mapas, foi possível inferir que a maior quantidade perdida de solo está nos locais com fator topográfico elevado e em classes de uso com baixa cobertura vegetal.

Por fim, a utilização do modelo EUPS com o Sistema de Informações Geográficas permitiu avaliar a perda de solo e risco de erosão, por meio dos fatores de influência no processo erosivo das áreas mais susceptíveis à erosão laminar. Portanto, as técnicas de geoprocessamento são ferramentas importantes para as análises e espacialização das variáveis ambientais.

## 7 AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo nº 2016/09275-0, pelo financiamento do projeto de iniciação científica, tornando possível a produção deste artigo científico.

## 8 REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, S. H.; FURRIER, M.; MONTEIRO, G. N. Geoprocessamento Aplicado para Análise de Assoreamento e Erosão Fluvial Decorrentes da Construção de uma Barragem: Estudo de Caso da Barragem Gramame-Mamuaba – Paraíba. **Geo Uerj**, [s.l.], n. 29, p.473-490, 31 dez. 2016. Semestral. Universidade de Estado do Rio de Janeiro. <http://dx.doi.org/10.12957/geouerj.2016.22180>. Disponível em: <<https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/22180>>. Acesso em: 27 set. 2018.
- ARAÚJO, F. S.; SALVIANO, A. A. C.; HOLANDA NETO, M.R. Estimativa da Erodibilidade de Latossolo do Piauí. **Scientia Plena**, Sergipe, v. 7, n. 10, p. 1-6, 2011.
- BAURU. Departamento de Água e Esgoto. **Rio batalha e a lagoa**. Bauru: DAE, 2014. Disponível em: <http://www.daebauru.sp.gov.br/2014/empresa/empresa.php?secao=fazemos&pagina=9>. Acesso em: 26 set. 2018.
- BERTONI, J.; LOMBARDI, N. F. **Conservação do solo**. 3. ed. São Paulo: Ícone, 1993.
- BERTONI, J.; LOMBARDI, N. F. **Conservação do solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012.
- BORGES, K. M. R. **Avaliação da susceptibilidade erosiva da Bacia do Rio Carinhanha (MG/BA) por meio da EUPS – Equação Universal de Perda de Solos**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2009.
- CARVALHO, N. O. **Hidrosedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994.
- CHAVES, H. M. L.; SILVA, P. A.; ROSIMERY, J. C. Aplicação da USLE e SGI na predição da erosão atual e potencial a nível regional: o caso do Vale do São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. **Anais**. Viçosa: UFV, 1995, v.4, p. 1961-1963.
- DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. A. GIS-procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 51, n. 5, p. 427-433, 1996.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006.
- GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertand, 2009. p. 17-55.
- KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Mexico, DF: Fondo de Cultura Económica, 1948.
- LANZA, D. S. **Diagnóstico da Erosão Laminar na Alta e Média Bacia do Rio Paraopeba**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Análise Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

LEINZ, V.; LEONARDOS, O. H. **Glossário geológico**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1977.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JUNIOR, R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: SBCS, 1991.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

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

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M.; EID, N. J.; MARTINS, E. S.; KOIDE, S.; REATTO, A. Desenvolvimento e verificação de métodos indiretos para a estimativa da erodibilidade dos solos da bacia experimental do Alto Rio Jardim – DF. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, v. 8, n. 2, p. 23-36, 2007.

LIMA, C. G. R.; SOUZA, A.; CARVALHO, M.P.; COSTA, N.R. Estudo da erodibilidade dos solos na bacia hidrográfica do baixo São José dos Dourados. *In*: XII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS, 2015, Poços de Caldas. **Anais [...]**. 2015. p. 1-7.

LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; TEIXEIRA, A. S. T.; CAITANO, R. F.; CHAVES, L. C. G. Uso de geoprocessamento na estimativa da perda de solo em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Agro@mbiente**, Boa Vista, v. 5, n. 2, p. 88-96, maio/ago. 2011.

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002. Disponível em: <http://edueojs.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/viewFile/2374/1787>. Acesso em: 20 jun. 2017.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N. S.; AVANZI, J. C.; CURI, N.; FONSECA, S. Fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água em cultivo de eucalipto e em mata atlântica nos tabuleiros costeiros do estado do Espírito Santo, **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 517-526, 2010.

MCCOOL, D. K.; BROWN, L. C.; FOSTER, G. R.; MUTCHLER, C. K.; MEYER, L. D. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 30, p. 1387-1396, 1987.

PEREIRA, J. S. **Avaliação das perdas de solos por erosão laminar na área de influência da UHE Amador Aguiar I**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

POSTIGO, M. D.; SARTORI, A. A. C. Modelagem da dinâmica do uso e ocupação do solo (1987, 2000 e 2015). *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., 2017, Santos. **Anais [...]**. Santos: INPE, 2017. p. 3283-3290.

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

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1994. p. 1-65.

SBCS. **ONU declara 2015 como ano internacional dos solos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. Disponível em:  
[http://www.sbc.org.br/?post\\_type=noticia\\_geral&p=3810](http://www.sbc.org.br/?post_type=noticia_geral&p=3810). Acesso em: 28 dez. 2016.

STEIN, D. P.; DONZELI, A. F.; GIMENEZ, A. F.; PONÇANO, W. L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial de erosão laminar, natural e antrópico na bacia do Peixe Paranapanema. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4., São Paulo, 1987. **Anais [...]**. São Paulo: ABGE/DAEE, 1987. p. 105-136.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses**: a guide to conservation planning. Washington: USDA, 1978. (Agriculture Handbook, 537).