

SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS: ESTIMATIVA DA EROSIÃO LAMINAR NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE – GO

Cecília de Castro Bolina¹
Elaine Eluizy Ribeiro Silva²
Luana Regina Pires de Sousa²
Marina Alberti Macedo²
Jaqueline Fátima Rodrigues¹
Marcelus Isaac Lemos Gomes³

RESUMO

O desencadeamento de fatores naturais e antrópicos, intensificado pelo acelerado crescimento populacional e expansão urbana desordenada, coloca no cerne dos problemas globais de degradação ambiental a perda de solos por erosão laminar. O aumento progressivo das erosões às margens de recursos hídricos pode causar impactos negativos na qualidade de água de uma região. Assim torna-se importante a tendência de uso da Equação Universal da Perda de Solo (EUPS) como ferramenta para quantificar as perdas locais com base em informações do ambiente. No ano de 2009 foi construída a barragem do Ribeirão João Leite, obra que garante parte do abastecimento de água da população de Goiânia-GO e região metropolitana por vinte e cinco anos. A tendência de crescimento populacional a ser atendida por esta barragem indica a necessidade de preservação da qualidade da água distribuída a seus consumidores. Baseado neste fato, o presente trabalho teve o objetivo de quantificar a perda de solos por erosão laminar na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, para verificar o potencial de erosão no manancial. A perda de solo foi estimada de forma quantitativa por meio da Equação universal de perda de solos, utilizando para tanto, um Sistema de informações geográficas ArcGis 9.3 para processamento, tratamento e produção de informações. O resultado obtido mostrou que 65,33% da área da bacia possuem fraco potencial e 34,67% da área da bacia possui moderado a forte potencial a erosão, necessitando assim, de práticas conservacionistas para evitar erosões mais acentuadas.

Palavras-chave: Perda de solos; Erosão; Sistema de informações geográficas.

GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM: ESTIMATION OF LAMINAR EROSION IN THE RIBEIRÃO JOÃO LEITE HYDROGRAPHIC BOWL - GO

ABSTRACT

The unleashing of natural and man-made factors, intensified by accelerated population growth and disorderly urban sprawl, places the loss of soils by laminar erosion at the core of the global problems of environmental degradation. The progressive increase of erosions at the water resources can cause negative impacts on the water quality of a region. Thus, the tendency to use the Universal Soil Loss Equation (USLE) as a tool to quantify local losses based on environmental information becomes important. In 2009 the dam was built of Riverside João Leite, part of the work that ensures water supply for the population of Goiânia and metropolitan area for twenty-five years. The trend of population growth to be served by this dam indicates the need to preserve the quality of water supplied to its consumers. Based on this fact, this paper aimed to quantify soil loss by erosion in the catchment area of the laminar Riverside João Leite, to verify the potential for erosion in the watershed. Soil loss was estimated quantitatively by Equation universal soil loss, using both a Geographical information system ArcGIS 9.3 for processing, handling and production information. The result showed that 65.33% of the basin area has low potential erosion and 34.67% of the basin area has moderate potential erosion, thus requiring of conservation practices to prevent erosion more pronounced.

Keywords: Loss of Soil. Erosion. Geographic information system.

¹ Docente da Universidade Federal de Goiás - Regional Jataí. E-mail:

² Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de Goiás.

³ PUC Goiás e Universidade Federal de Goiás

INTRODUÇÃO

O desencadeamento de fatores naturais e antrópicos, intensificado pelo acelerado crescimento populacional e expansão urbana desordenada, coloca no cerne dos problemas globais de degradação ambiental a perda de solos por erosão laminar.

As atividades agrícolas, habitacionais ou turísticas são o principal agente que provoca os processos erosivos. O aumento progressivo das erosões às margens de recursos hídricos pode causar impactos negativos na qualidade de água de uma região. Quanto aos impactos tem-se o assoreamento de riachos, rios e reservatórios e o aumento da concentração de nutrientes ou elementos tóxicos nas águas, vindos por meio dos sedimentos transportados ou mesmo diluídos na água de escoamento. Por conseguinte isso resultará na diminuição da qualidade da água, seja para consumo humano, animal ou para irrigação, ou uso na geração de energia elétrica (MENDONÇA *et al.*, 2014).

A erosão é um fenômeno natural definido pelo transporte, deslocamento e deposição contínua de partículas do solo de um determinado lugar para outro, por intermédio dos rios, dos ventos, geleiras e precipitação. A perda de solo é um dos passivos ambientais degradantes, sendo que a recuperação e surgimento de um novo solo é um processo bastante oneroso (MAGALHÃES *et al.*, 2012; PETSH; MONTEIRO, 2011).

A ocupação do solo, ausente de planejamento, provoca fatores que contribuem para o risco de erosão, entre eles o excesso de superfícies sem cobertura vegetal, que reduzem a taxa de infiltração de águas das chuvas, produzindo a intensificação dos riscos de erosão, deslizamentos, compactação dos solos e alagamento de córregos e ruas.

Um dos modelos mais difundidos para análise de perda de solo é a Equação Universal de Perdas de Solo desenvolvida no Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América, na década de 1950, um importante instrumento de investigação sobre o processo erosivo, uma vez que a partir das características e propriedades dos fatores ambientais responsáveis pelas perdas de solos, permite a compartimentação da paisagem em níveis de instabilidade, possibilitando ações mais efetivas de planejamento ambiental e otimização dos recursos naturais (BARBOSA *et al.*, 2015; PETRI; BOURSCHEIDT, 2016).

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite, situada no Estado de Goiás é responsável por parte do abastecimento de água do Município de Goiânia e região metropolitana.

A equação universal de perda de solos quando especializada por meio de um

sistema de informações geográficas (SIG) permite uma análise da perda de solo por erosão laminar, possibilitando configurar os resultados obtidos em função do uso e ocupação do solo. Assim, o presente trabalho teve por objetivo estimar a perda de solos por erosão laminar na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, utilizando um Sistema de informações geográficas (software ArcGis 9.3).

MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente foi obtido um conjunto de mapas temáticos da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite em órgãos oficiais do Estado de Goiás. Os mapas de tipos de solos, de uso da terra e cobertura vegetal natural, da bacia hidrográfica, no formato *Shapefile*. Os mapas foram obtidos da SIEG (Sistema Estadual de Estatística e Informações Geográfica de Goiás) no site www.sieg.go.gov.br, e a imagem do radar SRTM folha, SE-22-X-B foi obtido na Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), no do site www.relevobr.cnpm.embrapa.br.

Posteriormente, efetuou-se no *software* Arcgis 9.3, o recorte do mapa da bacia do Ribeirão João Leite utilizado como máscara de todos os outros mapas. Com a máscara da bacia recortada, foi extraído o mapa dos tipos dos solos predominantes na bacia, de uso do solo e cobertura vegetal natural. Por meio da imagem do radar SRTM foi gerado o Modelo Digital de Terreno (MDT) da bacia. A seguir foram calculadas as variáveis da EUPS - erosividade das chuvas (R) por meio dos dados dos registros pluviométricos, nos municípios de Ouro Verde, Goianápolis e Goiânia, da Agência Nacional de Água (ANA), o mapa de erodibilidade dos solos (K), o mapa de uso e manejo dos solos (C) e as práticas conservacionistas (P).

Foram gerados os mapas temáticos e o modelo digital de terreno da área de estudo para o cálculo das variáveis da EUPS no SIG. Essas variáveis (conjunto de mapas temáticos e índices) possibilitaram o cálculo da EUPS. São apresentados os seguintes mapas finais: mapa do fator topográfico (LS) da área de estudo, constituído pelo cruzamento do mapa de rampa (L) e de declividade (S), onde rampa é diretamente proporcional a velocidade de escoamento superficial, e a declividade são as propriedades físicas de uma bacia hidrográfica que influenciam a estimativa da quantidade de erosão hídrica devido ao escoamento superficial; mapa do potencial natural à erosão laminar (PNE) decorrente do cruzamento do fator de erosividade das chuvas (R), do mapa de erodibilidade dos solos (K) e do fator topográfico (LS); e, mapa de perda de solo por erosão laminar (A) decorrente da integração das variáveis físicas com as variáveis

antrópicas, ou seja (Equação 1):

$$A = R.K.L.S.C.P \text{ (equação 1) ou } A = PNE.C.P \quad \textbf{(Equação 1)}$$

Área de estudo

De acordo com Barbosa e Lima (2006) a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite compreende (sete) municípios do Estado de Goiás: Ouro Verde, Campo Limpo, Nerópolis, Terezópolis de Goiás, Goianápolis, Anápolis e Goiânia. O Manancial possui uma área de aproximadamente 770 km² e 130 km de extensão. Compõe a Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba e é um dos principais afluentes do Rio Meia Ponte. O Ribeirão João Leite é um dos três principais abastecedores de água da capital do Estado de Goiás, Goiânia e de cidades vizinhas. A Barragem João Leite é uma obra que prevê a garantia do abastecimento público de água para a população de Goiânia e cidades vizinhas pela Empresa Saneamento de Goiás S/A (SANEAGO), até o ano de 2025 para mais de 1,5 milhões de habitantes.

Conforme o Relatório da Macrozona Rural do Ribeirão João Leite elaborado pela Prefeitura de Goiânia (2008), o clima da bacia é do tipo tropical, caracterizado por duas estações bem definidas, uma seca, que vai de maio a setembro e outra chuvosa que vai de outubro a abril, período em que ocorrem chuvas torrenciais. A temperatura média anual do ar é de 23 °C.

Aquisição de dados

Para a realização do presente trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- Três bases cartográficas do Estado de Goiás, obtidas por meio do Sistema Estadual de Estatística e Informações Geográfica de Goiás (SIEG), no site www.sieg.go.gov.br, composta por arquivos vetoriais no formato digital, com extensão *.shp, contendo informações sobre a bacia hidrográfica, uso do solo e cobertura vegetal natural, e tipos de solos. Na escala 1:250.000, projeção UTM, Meridiano Central - 51°W, Datum Horizontal : SAD-69, Zona 22 S. Sistema de Coordenadas Geográficas Latitude e Longitude;
- Dados pluviométricos de precipitação obtidos das estações da Agência Nacional de Água (ANA), localizadas nos Municípios de Ouro verde (com código 01649009), de Goianápolis (código 01649004) e de Goiânia (Faculdade de Agronomia, instalada na Universidade Federal de Goiás, com código 01649005); e,
- Uma imagem de Radar SRTM, com resolução espacial de 90 m, adquirida

na Empresa Embrapa no site www.relevobr.cnpem.embrapa.br, na escala 1:250.000, projeção UTM, Meridiano Central - 51°W, Datum : WGS-84, Zona 22 S. Sistema de Coordenadas Geográficas, folha SE-22-X-B;

- Programa Gerenciador de Informações Geográficas (PGIG) ArcGis na versão 9.3.

Geração dos mapas temáticos e do modelo digital de terreno para o cálculo da EUPS

Para a realização do cálculo da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) foi necessária a geração de mapas temáticos da área de estudo. Os mapas temáticos gerados foram: mapa da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite (máscara); mapa dos tipos de solos; mapa de uso do solo e cobertura vegetal natural; e, mapa do modelo digital de terreno (MDT).

Mapa da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite

Para recortar o mapa da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite foi necessário fazer o *download* de todas as bacias hidrográficas do Estado de Goiás no site do SIEG (Figura 1a).

O mapa da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite (Figura 1b) recortado, foi utilizado como base para os recortes nos demais mapas temáticos gerados.

Foram utilizadas as seguintes ferramentas do *software* ArcGis 9.3 para o recorte da máscara: - *select features*, para selecionar a bacia; e, - *clip*, para recortar o vetor da bacia.

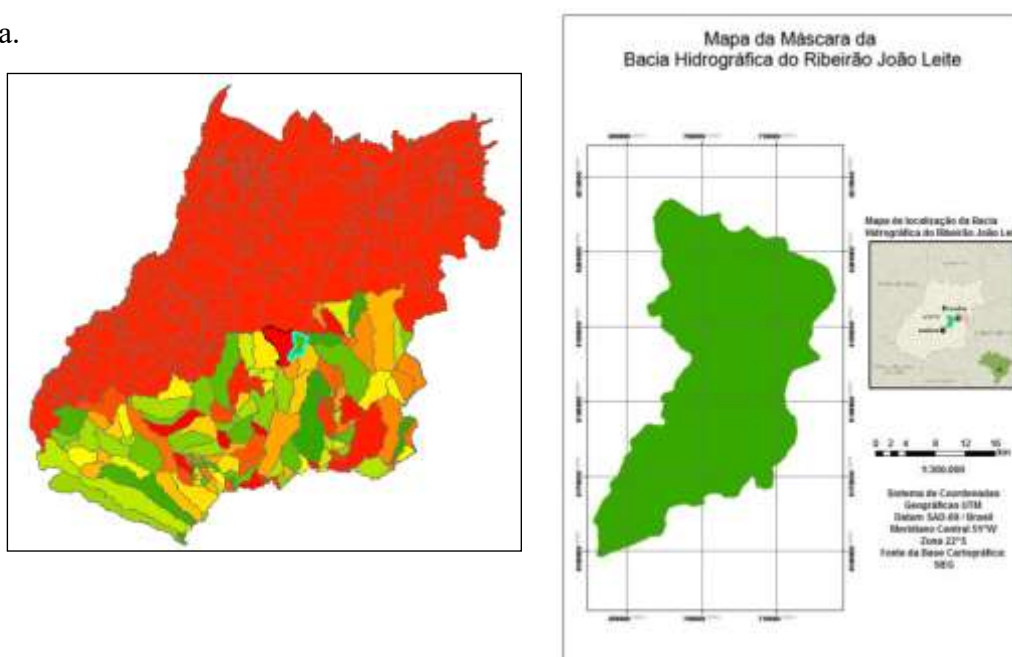


Figura 1 – 1 a - Localização da Bacia do Ribeirão João Leite (azul), que faz parte das bacias hidrográficas situadas na região sul do Estado de Goiás; 1 b - Mapa da Bacia

Hidrográfica do Ribeirão João Leite. Fonte: Adaptado do SIEG (2010).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Mapa dos tipos de solos

Foi efetuado o *download* do arquivo com os tipos de solos do Estado de Goiás, disponível no site do SIEG. Posteriormente, o arquivo foi importado para o *software* ArcGis 9.3. O mapa dos Tipos de Solos da Bacia do Ribeirão João Leite (Figura 2), foi gerado utilizando o vetor do mapa da Bacia do João Leite como máscara e a ferramenta *clip*. A Tabela 1 mostra os tipos de solo predominantes na Bacia Hidrográfica João Leite.

Tabela 1 - Área correspondente a cada tipo de solo da Bacia do Ribeirão João Leite.

TIPOS DE SOLOS	ÁREA	
	(ha)	(%)
Gleissolo	122,31	0,16
Cambissolo	7548,39	9,87
Argissolo	24926,13	32,56
Latossolo	43946,55	57,41
TOTAL	76543,38	100

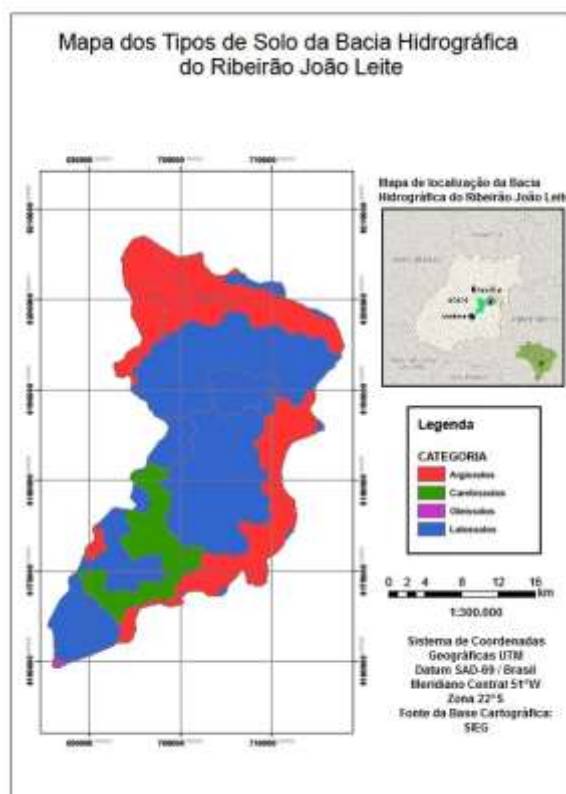


Figura 2 - Mapa dos tipos de solos.

Ao analisar os tipos de solo na área da bacia na Figura 2, pode-se identificar a predominância de dois tipos: latossolo e argissolo. O tipo de solo, juntamente com a pluviosidade, corresponde a um dos fatores fundamentais para o processo de erosão laminar.

O latossolo faz-se predominante, abrangendo mais da metade da área da bacia (57,41%) conforme tabela 1. Possui características intimamente ligadas à meteorização, ou seja, a fenômenos químicos e físicos que levam ao enfraquecimento das rochas. Também é característica do latossolo a solubilização de compostos químicos, consequente do fluxo da água através do solo.

O outro tipo de solo predominante na área da bacia é o argissolo, correspondendo a 32,56% da área total. Os argissolos são conhecidos por sua capacidade de armazenamento de água às plantas por um tempo mais longo devido ao gradiente de textura no perfil destes solos e características estruturais, muito influenciadas pela mineralogia da argila. Possui em sua composição caulinita, gipsita, óxidos de ferro entre outros. Segundo Camargo (2009) o argissolo possui elevada fertilidade natural e não é pedregoso, sendo assim apto para a agricultura. Em áreas de elevado declive, possui tendências a problemas de erosão. Ocorre com frequência no Cerrado, porém não em grandes áreas contínuas. Os outros tipos de solo presentes na área da bacia são: cambissolo (9,87%) e gleissolo, correspondente a somente 0,16%.

Os Cambissolos são caracterizados pela baixa permeabilidade, pouca profundidade e com presença acentuada de cascalho. Sua formação é considerada “recente”, além de possuírem altos teores de silte e minerais primários, configurando assim grande potencial erosivo.

Os Gleissolos, de menor incidência na área da bacia, possuem altos teores de carbono orgânico, dada sua classificação de solo mineral. Caracteriza-se pela oxidação de materiais sulfídricos. Geralmente, são saturados por água e ricos de matéria orgânica. Devido à presença constante de água é comum que se drene áreas onde este tipo de solo ocorre.

Mapa de uso do solo e cobertura vegetal natural

Foi efetuado o *download* do mapa de uso do solo e cobertura vegetal natural do

Estado de Goiás, disponível no site do SIEG, e posteriormente importado para o *software* ArcGis. Com os arquivos importados foi recortado o mapa uso da terra e cobertura vegetal natural da bacia do Ribeirão João Leite (Figura 3), utilizando o vetor da Bacia do João Leite como máscara. Foi utilizada a ferramenta *clip* para confeccionar o recorte. A Tabela 2 mostra as áreas de uso do solo e cobertura vegetal natural da Bacia Hidrográfica João Leite.

Tabela 2 - Área correspondente a cada tipo de uso do solo e cobertura vegetal natural solo da Bacia do Ribeirão João Leite.

USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL NATURAL	AREA	
	(ha)	(%)
Agricultura	48809,79	63,77
Pastagem	15764,22	20,59
Área Urbana	2916,00	3,81
Cerrado	1308,96	1,71
Floresta	7744,41	10,12
TOTAL	76543,38	100

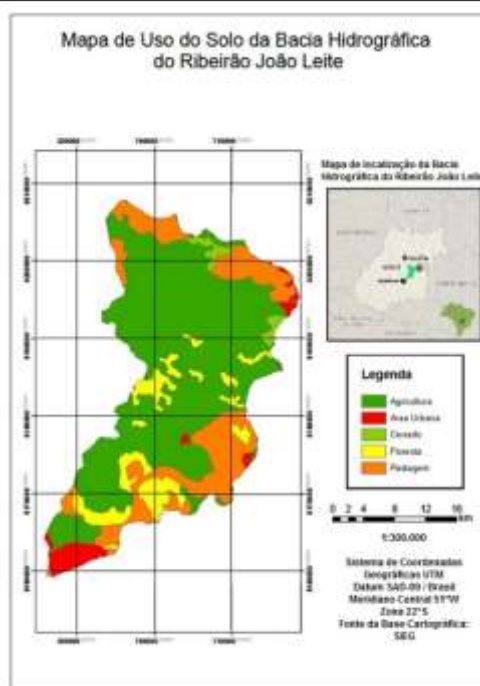


Figura 3 - Mapa de uso do solo e cobertura vegetal natural.

A bacia hidrográfica está ocupada em 63,77% por agricultura, esse tipo de cobertura e uso do solo são mais críticos por propiciar a perda laminar de solos e essas áreas devem ser atendidas prioritariamente com técnicas conservacionistas.

Modelo digital de terreno (MDT)

O MDT da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite foi elaborado em ambiente digital a partir de imagem SRTM distribuída pela Embrapa no site www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/go/go.htm. Na escala 1:250.000, Sistema de coordenadas Geográficas e Datum WGS-84, Carta SE-22-X-B. Para gerar o MDT foi necessário fazer o *download* das imagens do radar SRTM do site da Embrapa e inserir as mesmas no *software ArcGis*. Posteriormente, foi realizado o recorte da imagem utilizando o vetor da Bacia do João Leite como máscara. Para tanto, foi utilizado a ferramenta *Extract by Mask*.

Conversão de WGS 84 para SAD 69

Como os dados dos mapas gerados encontravam-se no Sistema de Projeção UTM, Meridiano Central - 51°W, Datum SAD-69, Zona 22S e o MDT no Datum WGS-84, foram necessários converter o Modelo para o mesmo Sistema de Coordenadas. Optou-se pelo Datum Horizontal SAD-69. No *software ArcGis* foi utilizada a ferramenta *Project Raster* para a execução desse processo. Para ser realizado o cruzamento das informações entre os mapas e o MDT o tamanho do *pixel* foi padronizado em 90 metros. Para tanto foi utilizada a ferramenta *resample* do *software ArcGis 9.3*.

Cálculo das Variáveis da EUPS no Sistema de informações geográficas

A seguir são apresentados os procedimentos utilizados para o cálculo das variáveis (R, K, C e P) utilizadas na EUPS no Sistema de informações geográficas.

Erosividade das Chuvas (R)

Na área da bacia existem estações pluviométricas que fornecem dados de precipitação a cada 24 horas e de variação do nível de água e vazão. Os dados de precipitação foram obtidos das estações meteorológicas da ANA, localizadas em Ouro Verde, Goianópolis e Goiânia, por meio do Relatório Síntese da Macrozona Rural do Ribeirão João Leite, site (<http://www.goiania.go.gov.br>). Calculou-se a média mensal do índice de erosão para cada mês, chegando-se ao valor de chuva média anual de 1.602,7 mm. A Tabela 3 apresenta os valores de precipitação média mensal e erosividade para o período de 20 (vinte) anos. Os meses de janeiro a março e de novembro a dezembro são os que apresentam maiores valores de precipitação e erosividade. Portanto, há uma maior capacidade da chuva em provocar erosão no solo sem proteção nestes períodos.

Tabela 3 - Apresentação dos valores de precipitação média mensal e erosividade para a Bacia do Ribeirão João Leite.

Mês	Média Mensal (mm)	Ei = (ton/km ² .ano)
Janeiro	269,2	175,78
Fevereiro	207,9	113,29
Março	237,9	142,46
Abril	116,6	42,38
Mai	37,8	6,24
Junho	9,6	0,60
Julho	6,1	0,28
Agosto	15,6	1,38
Setembro	49,2	9,77
Outubro	156,5	69,90
Novembro	225,7	130,27
Dezembro	270,6	177,33
Anual	1602,7	869,69

Fonte: adaptado de ANA *apud* Relatório Síntese da Macrozona Rural do Ribeirão João Leite (2008).

Erodibilidade dos Solos (K)

Os valores de K (Tabela 4) utilizados foram obtidos de Baptista (1997). Os valores de erodibilidade foram associados às respectivas categorias do solo.

Os valores de erodibilidade foram classificados de acordo com o tipo de solo no *software ArcGis*. Foi criada uma nova coluna com os valores de erodibilidade para cada tipo de solo, utilizando as ferramentas *add Field* e *Field calculator*, obtendo-se como resultado o mapa de erodibilidade do solo para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite (F).

Tabela 4 - Valores de erodibilidade dos solos.

Classes de solos	Erodibilidade (K) em t.h/(MJ.mm)
Gleissolo	0,058
Cambissolo	0,024
Argissolo	0,033
Latossolo	0,015

Fonte: (BAPTISTA, 1997).

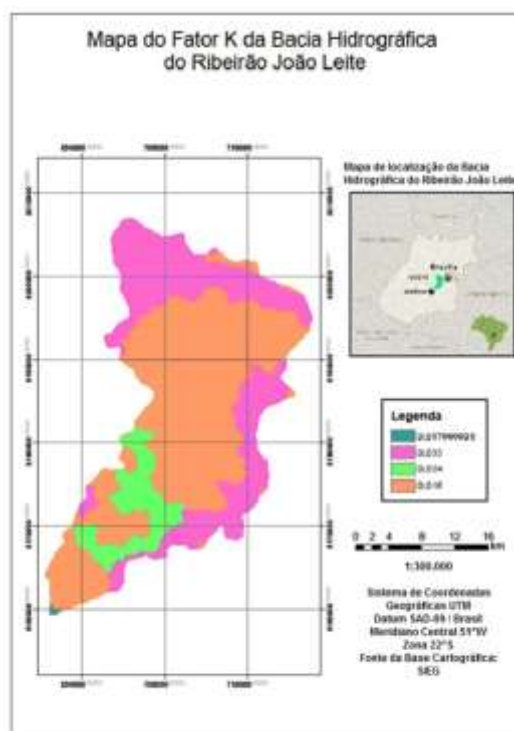


Figura 4 - Mapa de erodibilidade do solo para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite.

Observa-se na Figura 4 que a erodibilidade da bacia está entre 0,033 a 0,16, ressaltando que este é o fator mais importante na predição da erosão e no planejamento do uso do solo, pois se refere ao risco que determinado tipo de solo tem de se erodir, levando em consideração cada tipo de solo, ou seja, expressa a resistência do solo a erosão hídrica e a sua intensidade é influenciada por vários fatores, tais como: declive, características das chuvas, manejo, cobertura vegetal, e propriedades do solo. A erodibilidade do solo é que representa a sua susceptibilidade à erosão, podendo ser definida como a quantidade de material que é removido por unidade de área quando os demais fatores determinantes da erosão permanecem constantes.

Confecção do mapa do uso e manejo dos solos (C)

As classes do mapa de uso e manejo dos solos (C) foram obtidas de acordo com o mapa de uso da terra e cobertura vegetal natural da bacia do Ribeirão João Leite e refere-se à participação antrópica no processo. Os valores atribuídos para C, em cada classe estabelecida constam na Tabela 5.

No *software ArcGis*, foi criada uma nova coluna, com os valores de C atribuídos, no mapa de uso da terra e cobertura vegetal natural da Bacia do Ribeirão João Leite. O

mapa de uso e manejo dos solos (Figura 5) foi confeccionado utilizando as ferramentas *add Field* e *Field calculator*.

Tabela 5 - Valores de C em função das classes de cobertura vegetal natural.

Uso do solo e Cobertura Vegetal Natural	Valores de C
Agricultura	0,018
Pastagem	0,010
Área Urbana	0,010
Cerrado	0,0007
Floresta	0,00004

Fonte: Stein *et al.* (1987).

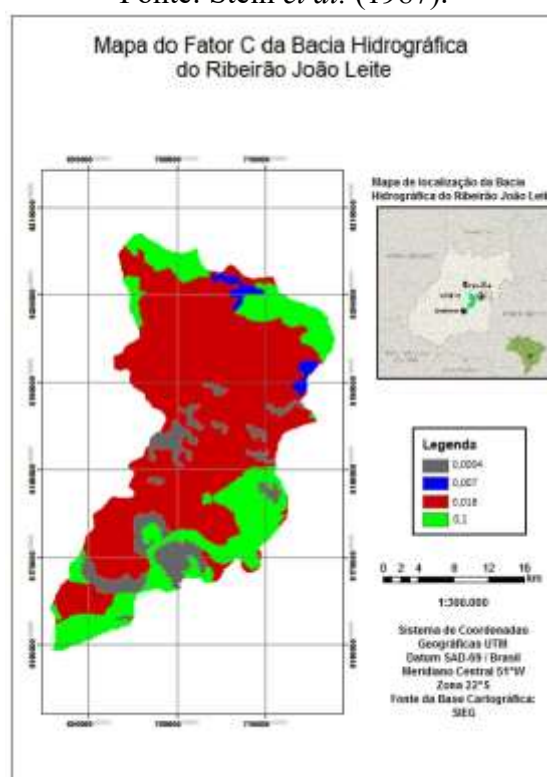


Figura 5 - Mapa do uso e manejo dos solos.

Observa-se a partir da Figura 5, que a maior parte da área da bacia possui a agricultura como principal tipo de uso do solo e cobertura vegetal. O fator C corresponde à relação existente entre um solo cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto e cultivado.

Analisando o mapa de uso do solo e cobertura vegetal natural da bacia foi observada que grande parte da área possui predominância de áreas com pastagem e floresta, o que faz entre outros, manter a cobertura vegetal natural. Por esse motivo, o mapa de perda de solos por erosão laminar possui maior predominância das áreas de

muito baixo ou baixo potencial (73,82%). Os fatores do mapa de comprimento de rampa, de declividade e a erosividade das chuvas também estão relacionados a esse resultado. Esses são os fatores mais importantes da equação e tiveram resultados satisfatórios, de baixa propensão à erosão laminar.

O potencial moderado à erosão laminar é de 16,59% da área total da bacia, onde apresenta 63,67% do uso do solo com a agricultura tanto na montante quanto na jusante da bacia. As áreas mais críticas de perda de solos (9,57%, com potencial de risco alto ou muito alto) estão associadas às elevadas declividades principalmente no sul da bacia, a elevados comprimentos de rampa nas nascentes da bacia e as áreas ocupadas por agricultura.

As áreas que ocorreram a maior perda de solos por erosão laminar estão localizadas nas nascentes da bacia e as que ocorreram menor perda de solos por erosão laminar está localizado no centro da bacia, resultado que está intimamente relacionado ao mapa do fator topográfico, por declividades e comprimento de rampas elevadas.

Contudo, vale ressaltar que em função das limitações da EUPS, os resultados devem ser validados com estudos experimentais, servindo no momento como indicativo ambiental.

Definição do valor do índice de práticas conservacionistas (P)

Dada a grande extensão acentuada da bacia e a falta de dados disponíveis para a definição do índice de práticas conservacionistas optou-se por considerar a sua não existência. O fator P foi desconsiderado da análise. Assim, foi adotado o valor máximo do parâmetro $P=1,0$.

Cálculo do fator topográfico (LS)

A variável LS é a associação dos fatores comprimento de rampa (L) e declividade (S). Essa associação é dada pela Equação 3, que foi adaptada por Bertoni em 1965 para o Estado de São Paulo:

$$LS = 0,00984 \cdot L^{0,63} \cdot S^{1,18} \quad \text{(Equação 3)}$$

onde,

LS = fator topográfico (adimensional);

L = comprimento de Rampa (m); e,

S = declividade (%).

Cálculo do comprimento de rampa (L)

O Fator L não possui obtenção direta, portanto, foi realizado o cálculo utilizando a Equação 4, proposta por Rocha *et al.* (1995).

$$L = \frac{DH}{\text{sen}\alpha} \quad \text{(Equação 4)}$$

onde:

DH = diferença de Altitude (m);

α = declividade Média da Rampa (graus); e,

L = comprimento de rampa (m).

Para a obtenção do fator comprimento de rampa (L) foi necessária à confecção do mapa do fator DH e de α (declividade média das rampas).

Confecção do mapa do fator DH

O mapa do fator DH foi confeccionado a partir do cruzamento do mapa de rampas homogêneas com o do MDT do Ribeirão João Leite. O mapa de rampas homogêneas por sua vez é elaborado a partir do cruzamento do mapa de declividade em porcentagem reclassificado⁴ com o de aspecto reclassificado. Portanto, para a elaboração do mapa DH tem-se que confeccionar: MDT da Bacia do Ribeirão João Leite; mapa de aspecto reclassificado; mapa de declividade em porcentagem reclassificado; e, mapa de rampas homogêneas (transformado em polígonos).

Confecção do mapa de aspecto reclassificado

O aspecto é o ângulo de exposição das vertentes em relação ao norte, ou seja, indica direção do fluxo e varia de 0° a 360°. Foi obtido por meio do MDT gerado, utilizando para tanto a ferramenta *Aspect*. O mapa de aspecto (Figura 6) foi editado para visualização em 8 (oito) classes, de 45° em 45°, utilizando a ferramenta *Reclassify*, para ficar com a correspondência da Tabela 6.

⁴ Reclassificado - Simplificação de valores para a legenda dos mapas.

Tabela 6 - Índices correspondentes a cada direção dada para a reclassificação do mapa de aspecto.

Direção	Índice
Norte	1
Nordeste	2
Leste	3
Sudeste	4
Sul	5
Sudoeste	6
Oeste	7
Noroeste	8

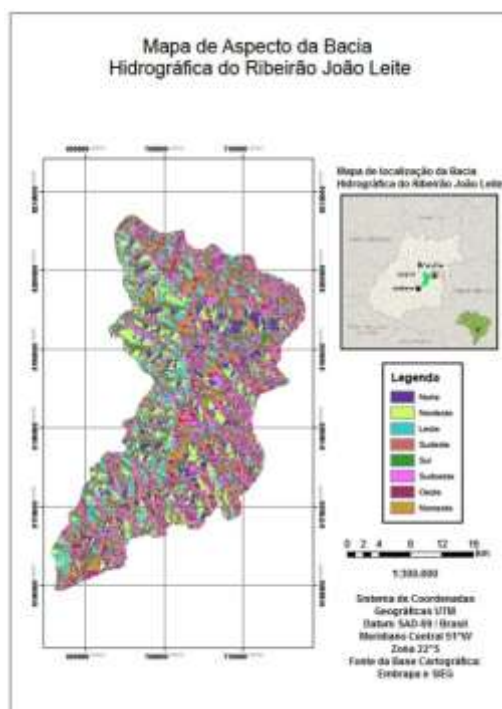


Figura 6 - Mapa de Aspecto.

Confecção do mapa de declividade em porcentagem reclassificado

O mapa de declividade em porcentagem foi obtido não só para obter o mapa de DH, como também para obter o do fator topográfico (LS). E foi obtido utilizando-se da ferramenta *Slope*, no *software ArcGis*. Posteriormente, o mapa de declividade em porcentagem foi reclassificado (Figura 7) utilizando a ferramenta *Reclassify*, no *software ArcGis*. A Tabela 7 mostra as áreas ocupadas pelas classes de declividade na Bacia do Ribeirão João Leite.

Tabela 7- Área ocupada pelas classes de declividade.

Declividade (%)	ÁREA	
	(ha)	(%)
< 3	8518,77	11,13
3 a 8	34344,81	44,87
8 a 20	30344,22	39,64
>20	3335,58	4,36
TOTAL	76543,38	100

A maior parte da área da bacia está em declividade moderada entre 3 a 20 % conforme mostrado na Figura 7, salienta-se que as áreas da bacia com declividades elevadas proporcionam erosões mais acentuadas do que as áreas com declividades menores. Isto se justifica porque o volume e a velocidade das enxurradas estão diretamente relacionados ao grau de declividade do terreno.

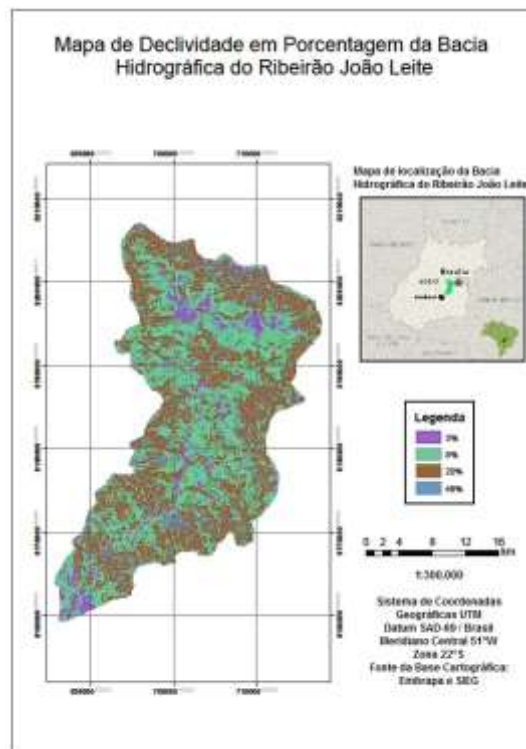


Figura 7 - Mapa de declividade em porcentagem.

Confecção do mapa de rampas homogêneas reclassificado

O Mapa de rampas homogêneas (Figura 8) é a combinação do mapa de declividade em porcentagem reclassificado, com o de aspecto reclassificado e posteriormente agrupado em polígonos, de onde foi extraído o mapa de diferença de altitude (DH) e α (Alfa). Foi obtido por meio da ferramenta *combine*, no *software ArcGis*

e transformado em polígonos, utilizando a ferramenta *Raster to Features*.

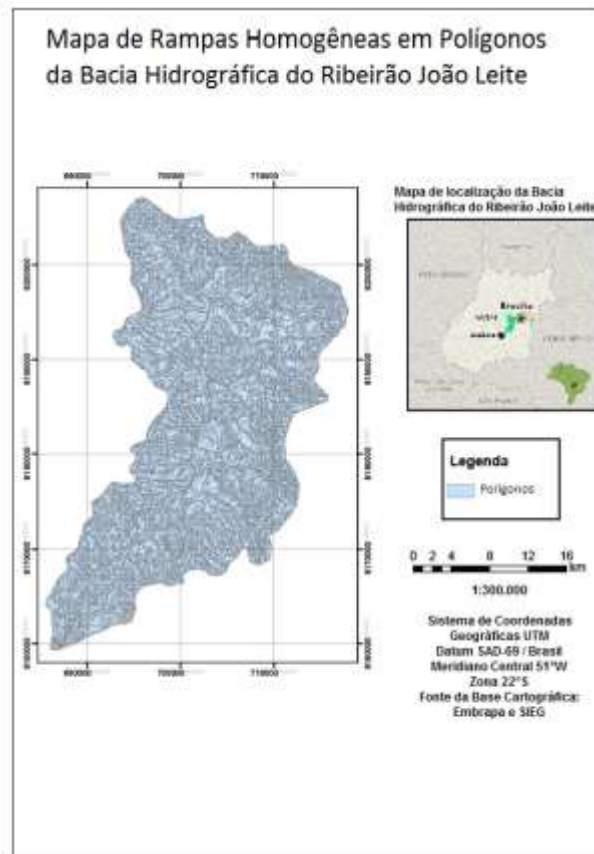


Figura 8 - Mapa de rampas homogêneas em polígonos.

O mapa de Rampas Homogêneas por sua vez é elaborado a partir do cruzamento do mapa de Declividade em Porcentagem Reclassificado.

Confecção do mapa de diferença de altitude (DH)

O Mapa de diferença de altitude (DH) (Figura 9) é a diferença de altura da rampa (metros) e foi obtido pelo cruzamento do mapa de rampas homogêneas reclassificado com o MDT da Bacia do João Leite, por meio da ferramenta *Zonal Statistics*, no *software ArcGis*.

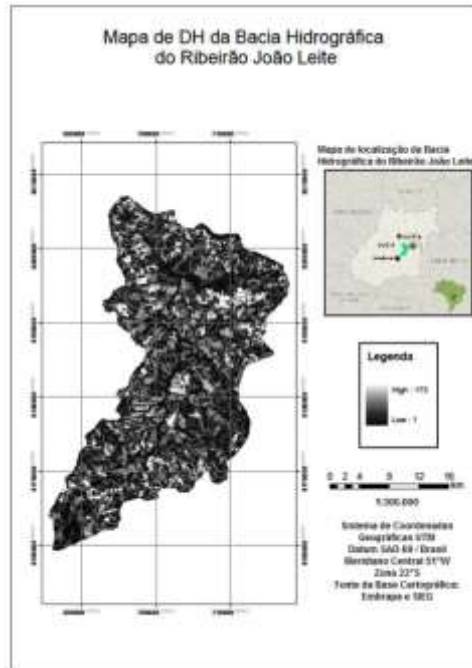


Figura 9 - Mapa de diferença de altitude.

Pode-se observar a partir da figura 9 que as áreas mais escuras no mapa possuem menor altitude, enquanto as regiões que tendem ao “branco” possuem altitudes mais altas.

Confecção do mapa declividade média de rampa – graus (α)

O Mapa Declividade Média de Rampa – Graus (α) é a declividade média do polígono (graus), constituído pelo cruzamento do mapa de rampas homogêneas reclassificado com o de declividade em graus (Figura 10). O mapa de declividade em graus foi obtido por meio da ferramenta *Slope*, no software ArcGis, utilizando o MDT da Bacia do Ribeirão João Leite.

O mapa declividade média de rampa – graus (α) (Figura 11) foi obtido por meio da ferramenta *Zonal Statistics*, no software ArcGis.

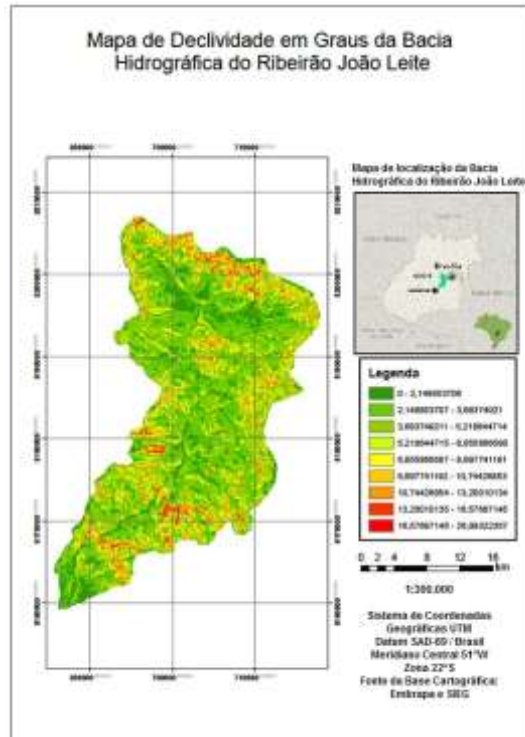


Figura 10 - Mapa de Declividade em Graus.

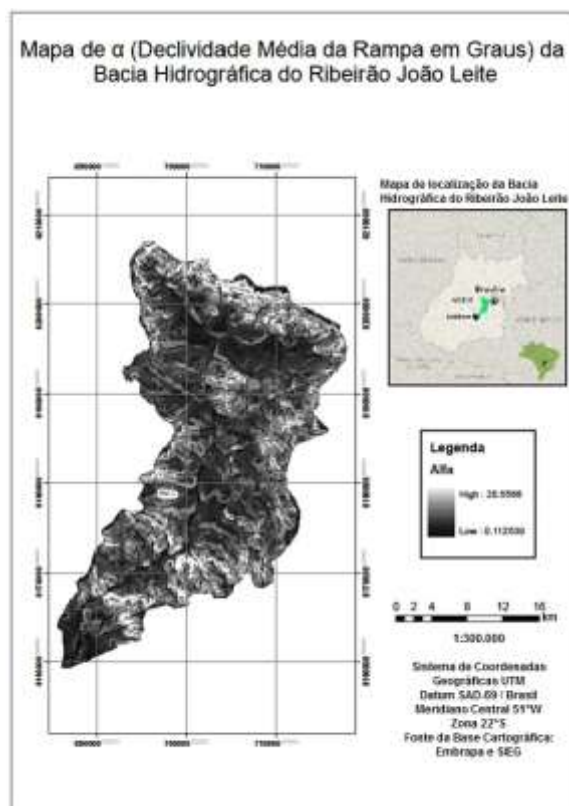


Figura 11 - Mapa da declividade média da rampa (α).

A maior área da bacia hidrográfica possui de 0 a 10 graus em relação a declividade.

Essas mesmas áreas estão com declividade média da rampa entre baixa a moderada (Figuras 10 e 11).

Confecção do mapa do fator de comprimento de rampa (L)

Com o mapa diferença de altitude (DH) e o mapa declividade nédia de rampa – graus (α) foi gerado o mapa do fator de comprimento de rampa (L) (Figura 12), por meio da ferramenta *Raster Calculator*, no *software ArcGis* por meio da Equação 4. A Tabela 8 mostra as áreas ocupadas pelas classes de comprimento de rampa em metros. Tem-se que mais de 60% da bacia hidrográfica possuem comprimentos de rampa ate 500 metros.

Tabela 8 - Área ocupada pelas classes de rampa (L).

Comprimento de rampa (m)	ÁREA	
	(ha)	(%)
< 200	30507,68	39,86
200 a 500	24373,55	31,84
500 a 1000	14937,86	19,52
1000 a 1500	5016,17	6,55
>2000	1708,12	2,23
TOTAL	76543,38	100

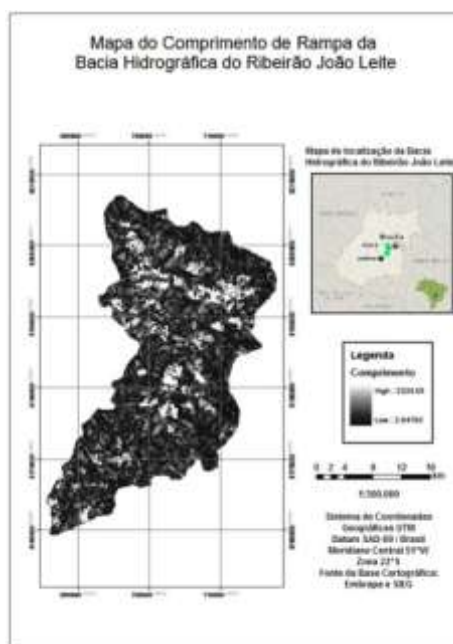


Figura 12 - Mapa de comprimento de rampa.

Cálculo do Fator Topográfico (LS)

O fator topográfico (Figura 13) foi obtido por meio da Equação 3. No *software ArcGis* utilizou-se a ferramenta *Raster Calculator* e, para a reclassificação, a ferramenta *Reclassify*. A Tabela 9 apresenta a área ocupada pelas diferentes classes de fator topográfico estabelecido, onde 68,55% da bacia encontra-se com o fator topográfico variando de 3 a maior que 10%.

Tabela 9 - Área ocupada pelas diferentes classes de fator topográfico (LS).

Fator Topográfico	ÁREA	
	(ha)	(%)
< 1	13034,52	17,03
1 a 3	11037,06	14,42
3 a 8	17609,40	23,01
8 a 10	7160,40	9,35
>10	27702,00	36,19
TOTAL	76543,38	100

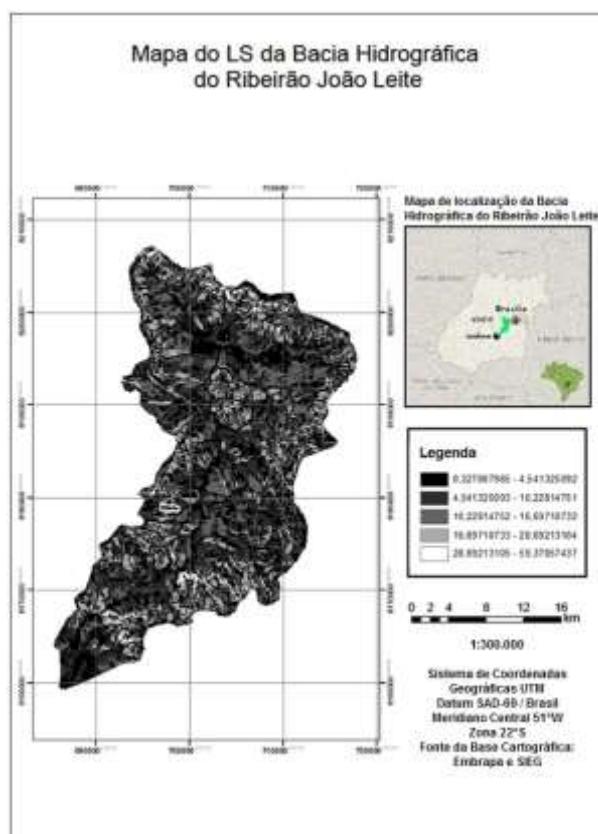


Figura 13 - Mapa do fator topográfico (LS).

O Potencial Natural de Erosão (PNE) é a integração dos principais fatores naturais do meio físico intervenientes no processo de erosão laminar. Ele é dado pela Equação 5:

$$PNE = K \cdot R \cdot LS$$

(Equação 5)

onde,

K - fator de erodibilidade do solo (ton.ha.h./ha.MJ.mm);

R - fator de erosividade da chuva (MJ.mm/ha.h.ano); e,

LS - fator topográfico.

O fator PNE (Figura 14) foi calculado, utilizando a ferramenta *Raster Calculator*, no *software ArcGis*. A Tabela 10 apresenta as áreas ocupadas pelas categorias de potencial natural de erosão laminar. A bacia apresenta 65,33% de área total ocupada com um potencial natural fraco de erosão laminar com perda menor que 100 ton/km².ano.

Tabela 10 - Área ocupada pelas categorias de potencial natural de erosão laminar.

PNE		Área	
Categoria	ton/km ² .ano	(ha)	(%)
Fraco	< 100	50002,11	65,33
Moderado	100 - 300	20558,61	26,86
Forte	> 300	5982,66	7,81
TOTAL		76543,38	100,00

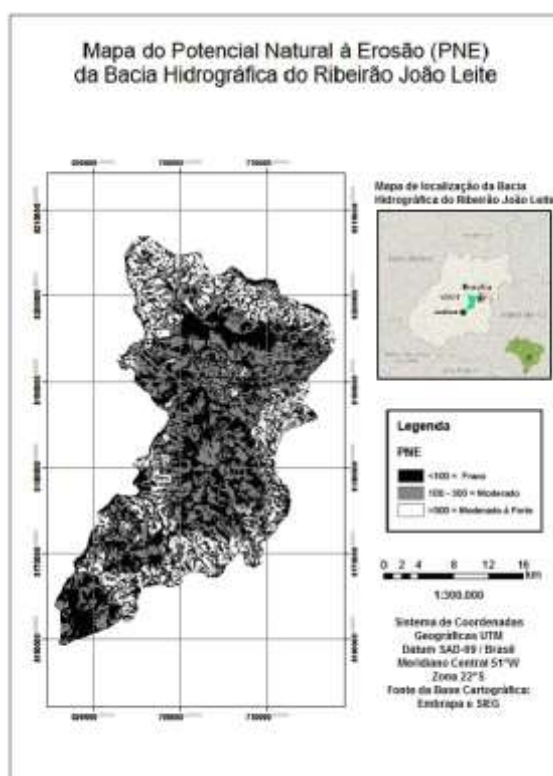


Figura 14 - Mapa do potencial natural à erosão laminar (PNE).

Considerando os aspectos naturais que podem propiciar a erosão na bacia hidrográfica, ela apresenta 34,67% de potencial natural à erosão laminar conforme Figura

14, classificada entre moderado a forte com perda superior a 300 ton/km².ano.

Cálculo do mapa de perda de solos por erosão laminar (A) reclassificado

O mapa de perda de solos por erosão laminar é a integração das variáveis naturais com as antrópicas e foi gerada utilizando a ferramenta *Raster Calculator*, no *software ArcGis*. O mapa de perda de solos por erosão laminar na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite (Figura 15), foi então reclassificado em 5 (cinco) classes (Tabela 11) utilizando a ferramenta *Reclassify*, no *software ArcGis*.

Conforme a Tabela 11 e no mapa de perda de solos por erosão laminar na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite foi constatada que, da área total da bacia, 45,22% possui perdas por erosão laminar menor que 1 (uma) ton/km² ao ano (risco muito baixo), 28,60% estão entre 1 e 5 ton/km² ao ano (baixo risco). Entre 5 e 10 ton/km² ao ano, 16,59% da área da bacia, representando risco médio. A área com alto risco corresponde a 7,08%, enquadrando-se no intervalo de perda de 10 a 20 ton/km² ao ano. E 2,49% da área possui alto risco de erosão laminar, com perdas superiores a 20 ton/km² ao ano.

Tabela 11 - Área ocupada pelas classes de perda de solos por erosão laminar.

Categoria	Ton/km ² .ano	ÁREA	
		(ha)	(%)
Muito baixo	< 1	36205,54	47,30
Baixo	1 - 5	20442,13	26,71
Médio	5 -10	12236,02	15,99
Alto	10 - 20	5689,60	7,43
Muito alto	>20	1970,09	2,57

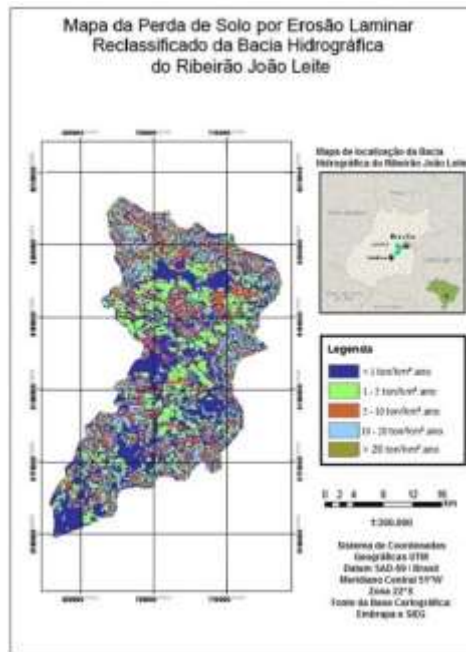


Figura 15 - Mapa de perda de solos por erosão laminar na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite.

Quase 75% da área total da bacia hidrográfica têm perda de solos por erosão laminar até 5 ton/km².ano, está entre muito baixo a baixo.

CONCLUSÃO

A equação universal de perdas de solos juntamente com o uso do sistema de informações geográficas possibilitou avaliar a perda de solos na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, fornecendo assim, parâmetros para a elaboração de um planejamento conservacionista. Apesar da EUPS apresentar suas limitações, principalmente para avaliar quantitativamente áreas extensas, se mostrou uma equação importante no processo de integração dos dados de perdas de solos por erosão laminar, principalmente pela facilidade de cálculo com a inclusão de um algoritmo para o cálculo automatizado dos fatores LS, PNE, A e comprimento de rampa. O sistema de informações geográficas se mostrou altamente eficiente no sentido de possibilitar a obtenção de informações macros de forma rápida.

Por meio da análise dos resultados obtidos, observou-se que a área da bacia, apresenta menor incidência de áreas com alto potencial à erosão laminar. Existe maior predominância das áreas com baixo potencial (73,82% da área total da bacia) não comprometendo, assim, a sustentabilidade da bacia.

Em função do resultado do mapa de perdas de solos por erosão laminar na Bacia do Ribeirão João Leite, recomenda-se um planejamento de medidas preventivas urgente

na bacia, pois mais de 25% da bacia possui índice de potencial a erosão laminar de moderado a alto.

Os mapas e tabelas gerados no presente estudo podem servir como instrumento norteador para ações mitigadoras nas áreas mais vulneráveis da bacia do Ribeirão João Leite.

A espacialização das perdas de solo pode auxiliar futuramente na tomada de decisão das áreas de monitoramento prioritário em termos dos processos erosivos, para adoção de práticas conservacionistas na bacia do Ribeirão João Leite. O sistema de informações geográficas destaca-se assim como ferramenta útil para que as análises de perda de solos possam ser feitas em tempo e custos muito menores do que se tivessem sido estimadas *in loco*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (ANA). **Projeto Ribeirão João Leite**. 2011. Disponível em:

<http://www.ana.gov.br/Produagua/LinkClick.aspx?fileticket=rZh%2B88ppWGw%3D&tabid=740&mid=1578>. 2016. Acessado em: 07 de dezembro de 2016.

BAPTISTA, G.M.M. **Diagnóstico Ambiental da Perda Laminar de Solos por Meio do Geoprocessamento**. 1997. 112p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 1997.

BARBOSA, A. F.; OLIVEIRA, E. F.; MIOTO, C. L.; PARANHOS FILHO, A. C. Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) em *Softwares Livres e Gratuitos*. **Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ**. Vol.38-1/2015 p.170-179.

BARBOSA, R. S; LIMA, C. V. **Análise Sedimentométrica da Média e Baixa Bacia do Ribeirão João Leite/GO**. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia. Goiânia, 2006.

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

CAMARGO, L.A. **Mineralogia da Argila e Atributos Físicos de um Argissolo em Curvaturas de Relevo**. 2009. 128p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). 2005. **Imagem do radar SRTM folha SE-22-X-B**. Disponível em: www.relevobr.cnpm.embrapa.br. Acessado em: 07 de dezembro de 2016.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DO CENTRO OESTE.

Zoneamento Ecológico-Econômico do Município de Goiânia. Goiânia: Prefeitura Municipal de Goiânia, 2008.

MAGALHÃES, I. A. L.; NERY, C. V. M.; ZANETTI, S. S.; PENA, F. E. R.; AVELINO, R. C.; SANTOS, A. R. Uso de Geotecnologias para estimativa de perda de solo e identificação das áreas susceptíveis a erosão laminar sub-bacia hidrográfica do Rio Vieira, Município de Montes Claros-MG. **Cadernos de Geociências**, v. 9, n. 2, novembro 2012.

MENDONÇA, H. F. P.; PATERLINI, E. M.; OLIVEIRA, F. S.; BARBOSA, R. P.; SANTOS, A. R. Estimativa de perda de solo por erosão laminar para o município de Iconha, Estado do Espírito Santo. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.19; p. 2014.

NETO, F. **Potencial de erosão laminar, natural e antrópico na Bacia do Peixe-Parapanema.** Anais do IV Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Marília, SP, 1987. P. 105-135.

PETRI, C. A; BOURSCHEIDT, V. **Estimativas da perda de solo com o uso de diferentes métodos integrados às geotecnologias.** XIII Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas. Poços de Caldas, 2016.

PETSCH, C.; MONTEIRO, J. B. Estimativa de perda de solo na bacia do córrego Arapuça (1980-2009). **I Seminário Internacional dos Espaços de Fronteira.** Engenheiro Beltrão-PR, 2011.

SISTEMA ESTADUAL DE ESTATÍSTICA E INFORMAÇÕES GEOGRÁFICA DE GOIÁS (SIEG). 2010. **Mapas de tipos de solos, de uso da terra e cobertura vegetal natural, da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.** Disponível em: www.sieg.go.gov.br. Acessado em: 07 de dezembro de 2016.

STEIN, D.P.; DONZELLI, P.L.; GIMENEZ, A.F.; PONÇANO, W.L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial de erosão laminar, natural e antrópico, na bacia do Peixe - Parapanema. **In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão**, 3., 1987, Marília. Anais... ABGE/DAEE, 1987. v.1, p.105-135.

Recebido em 22 de maio de 2017.

Aprovado em 24 de junho de 2017.