

ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA MARIA DA VITÓRIA, ES, USANDO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Estimated soil loss in the Santa Maria Da Vitoria River Basin, ES, using Geographic Information System

Lourena Lacerda Dias¹, Gemael Barbosa Lima²

¹Discente Engenharia Ambiental e Sanitária, Rua Jetibá, 121, Centro, Santa Maria de Jetibá, lorenalacerda@soufarese.com.br

²Docente, Rua do Rosário, 313, Macedo, Guarulhos, SP, gemael@unifaveni.com.br

RESUMO

O solo é um dos elementos essenciais no planejamento de bacias hidrográficas, pois suporta toda cobertura vegetal, as mudanças que podem ocorrer nessa cobertura, e toda vida existente nas bacias. A erosão hídrica é uma das principais formas de degradação dos solos, trata-se de um processo físico de desagregação, transporte e deposição de partículas de solo, provocado pela ação da água das chuvas, que se dá através do escoamento superficial. O presente estudo teve por objetivo estimar a perda de solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória, ES, utilizando o Sistema de Informação Geográfica (SIG) para obtenção das características físicas da Bacia, a fim de estimar a perda de solo anual da área de estudo, identificando os fatores de maior influência em tais processos. Os valores de perda de solo estão abaixo de 5 t.ha⁻¹.ano⁻¹ em mais de 80% da extensão da bacia, sendo que o valor médio dessa perda e desvio padrão é de 35,31 t.ha⁻¹.ano⁻¹ e 146,18 t.ha⁻¹.ano⁻¹, respectivamente. Os valores mais altos de perda de solo concentram-se nas áreas correspondentes as UP's de Alto SMV e médio SMV. Os resultados contribuem para estudos futuros e ações de planejamento e gestão ao longo da área de estudo, a fim de promover o uso sustentável dos recursos naturais.

Palavras-chave: Primeira Palavra. Segunda Palavra. Terceira Palavra (3 a 5 palavras, separadas e terminadas por ponto).

ABSTRACT

Soil is one of the essential elements in the planning of hydrographic basins, as it supports all vegetation cover, the changes that may occur in this cover, and all life existing in the basins. Water erosion is one of the main forms of soil degradation, it is a physical process of disaggregation, transport and deposition of soil particles, caused by the action of rainwater, which occurs through surface runoff. The present study aimed to estimate the soil loss in the Santa Maria da Vitória river basin, ES, using the Geographic Information System (GIS) to obtain the physical characteristics of the basin, in order to estimate the annual soil loss of the basin. study area, identifying the most influential factors in such processes. The soil loss values are below 5 t.ha⁻¹.year⁻¹ in more than 80% of the basin extension, and the average value of this loss and standard deviation is 35.31 t.ha⁻¹. year⁻¹ and 146.18 t.ha⁻¹.year⁻¹, respectively. The highest values of soil loss are concentrated in the areas corresponding to the UP's of High SMV and medium SMV. The results contribute to future studies and planning and management actions throughout the study area, in order to promote the sustainable use of natural resources.

Keywords: RUSLE. GIS. Erosion. Hydrographic basin.

INTRODUÇÃO

O solo é um dos elementos essenciais no planejamento de bacias hidrográficas, pois suporta toda cobertura vegetal, as mudanças que podem ocorrer nessa cobertura [...] e também toda vida existente nas bacias. No Brasil, país tropical, a erosão hídrica impacta, entre outros campos, na fertilidade do solo, qualidade e quantidade dos recursos hídricos (SANTOS *et al.* 2015).

Lopes *et al.* (2011) aponta que o uso e a ocupação adequados do solo são os principais fatores responsáveis pela conservação de bacias hidrográficas, tendo em vista que um dos maiores problemas gerados pela conversão de terra, principalmente próximo aos afluentes e corpos d'água, é o acúmulo de sedimentos seguido pelo assoreamento (CARVALHO, 2000). O desenvolvimento urbano, quando sem um correto planejamento ambiental, poderá ocasionar a contaminação dos mananciais de abastecimento público (CARVALHO *et al.*, 2011).

O termo erosão, proveniente do latim *erodere*, pode ser definido como “um conjunto de processos pelos quais os materiais terrosos e rochosos da crosta terrestre são desagregados, desgastados ou dissolvidos e transportados pela ação dos agentes erosivos” (DINIZ, 2017). Trata-se, pois, de um processo que ocorre por intermédio de diversos agentes, que podem ser naturais (clima, relevo, geologia e vegetação) ou podem ocorrer por ações antrópicas, políticas, econômicas, sociais, tecnológicos e institucionais (MONEGATI, 1991, SHIFERAW, 2011, Apud VITÓRIA; MOREIRA; MOREIRA, 2019).

A erosão hídrica é uma das principais formas de degradação dos solos, trata-se de um processo físico de desagregação, transporte e deposição de partículas de solo, provocado pela ação da água das chuvas, que se dá através do escoamento superficial. Este processo é diretamente intensificado pela ação antrópica, logo, áreas que apresentam uso incorreto do solo sofrem maior impacto com a erosão hídrica (JUNIOR *et al.*, 2012).

Dentro desse contexto, o estudo da erosão dos solos se torna fundamental, pois o conhecimento antecipado do potencial de erosão pode direcionar a atividade humana no sentido de um uso sustentável (LOPES *et al.*, 2011), identificando seus impactos ambientais, adotando técnicas que os minimizem e aperfeiçoem o uso da água (CASARIN *et al.*, 2008).

Ao longo dos anos, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos neste campo, sendo que a erosão do solo pode ser estimada de forma qualitativa ou quantitativa:

A análise qualitativa tem como principal vantagem a facilidade de manipulação dos fatores selecionados em termos de grau de risco à erosão e sua posterior combinação para a obtenção dos graus de severidade erosiva. Já a análise quantitativa permite a estimativa da erosão absoluta, facilitando o planejamento conservacionista. Entretanto, os modelos quantitativos exigem maior conhecimento por parte do usuário, além de requererem mais informações do que os modelos qualitativos (LOPES *et al.*, 2011).

A aplicação de modelos quantitativos foi intensamente facilitada com o desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). Dentre os modelos que mais se adaptam à aplicação de técnicas de geoprocessamento, sendo amplamente utilizado no Brasil, pode-se citar a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) (Renard *et al.*, 1997). Tal equação, quando acoplada a um SIG torna possível modelar a erosão hídrica, e visualizar seu resultado de maneira distribuída na bacia hidrográfica de interesse. Além desta vantagem da identificação de áreas prioritárias para se trabalhar em termos de conservação do solo, ressalta-se a possibilidade de análise de extensas bases de dados (BARROS *et al.* 2018).

O modelo RUSLE permite estimar o potencial de erosão, considerando a interação entre a energia da chuva, as características de solo e relevo, assim como do uso e manejo praticado. (SANTOS *et al.* 2015).

A Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória, juntamente com a Bacia Hidrográfica do Rio Jucu, são os principais mananciais utilizados para o abastecimento da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) e de alguns municípios da região serrana do Estado (AGERH, 2021).

O rio Santa Maria da Vitória, do qual deriva o nome da bacia, nasce no município de Santa Maria de Jetibá, e deságua na Baía de Vitória. Ao longo de seu percurso, fomenta diversas atividades, conforme pontuado por Fest (2014):

Drenando uma região fortemente antropizada pelo uso agrícola e urbanização, as águas do rio Santa Maria são utilizadas para irrigação, produção de energia e abastecimento público. Enquanto seus afluentes cortam vários povoados com atividades econômicas voltadas para a agricultura, principalmente produção de hortigranjeiros, seu curso principal recebe os efluentes domésticos da cidade de Santa Maria de Jetibá através do córrego São Luiz e sofre dois barramentos, responsáveis pela formação dos reservatórios de rio Bonito e Suíça (FEST, 2004).

Apesar de sua importância ecológica e socioeconômica, a bacia hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória sofre com desmatamentos em áreas de preservação permanente, assoreamento de suas margens, utilização indiscriminada de agroquímicos [...] (MARTINS; FERNANDES, 2011).

De acordo com a Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH), a BHSMV é dividida em três Unidades de Planejamento (UPs): Alto Santa Maria da Vitória; Médio Santa Maria da Vitória e Baixo Santa Maria da Vitória (AGERH, 2022).

O presente estudo teve por objetivo estimar a perda de solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória, responsável pelo abastecimento de boa parte da região metropolitana do estado, região com poucos trabalhos e estudos voltados para esta área. Através deste trabalho, espera-se contribuir com informações importantes as quais poderão ser utilizadas para implementação de ações governamentais dentro da bacia, identificação dos fatores e áreas de maior correlação aos processos erosivos da bacia, que por consequência necessitem de maior atenção.

Os objetivos a serem alcançados com a realização deste estudo fundamentam-se em utilizar o Sistema de Informação Geográfica (SIG) para obtenção das características físicas da Bacia Hidrográfica Do Rio Santa Maria de Vitoria; estimar a perda de solo anual da bacia em estudo, identificando os fatores de maior influência em seus processos erosivos e elaborar um mapa representativo das perdas de solo da bacia hidrográfica em estudo.

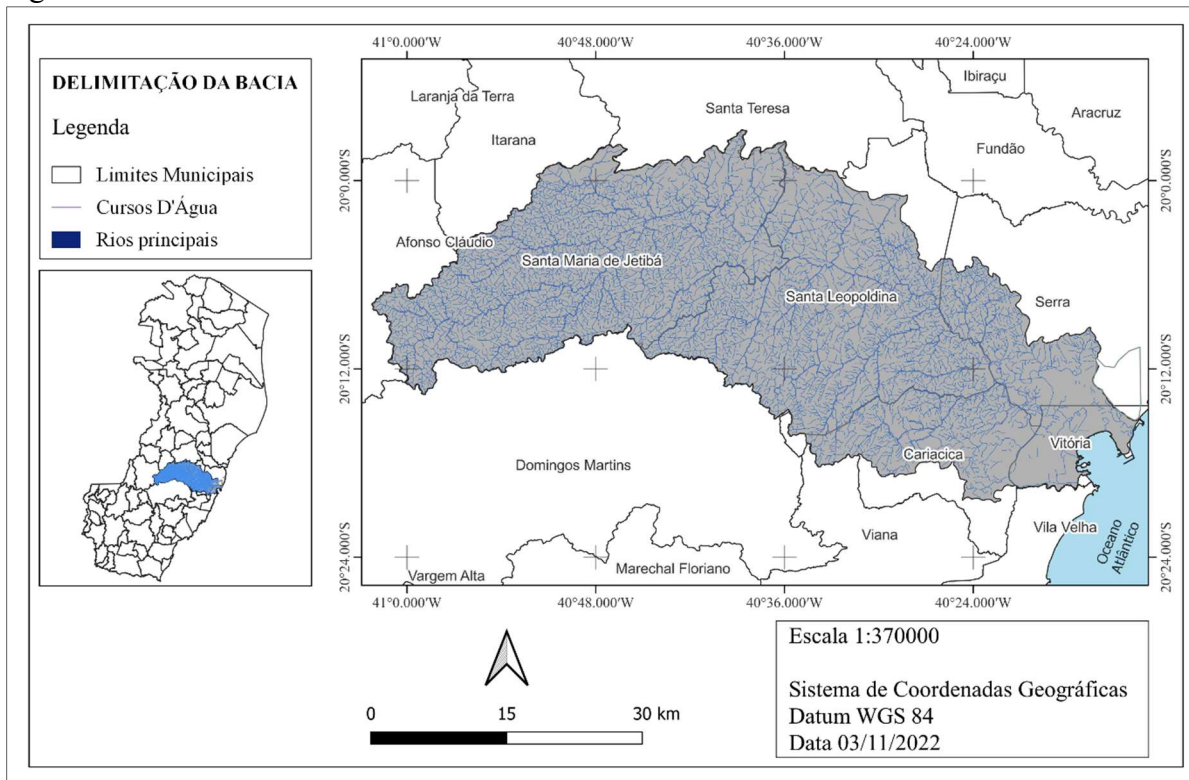
MATERIAL E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória (BHSMV), localiza-se na região central do estado do Espírito Santo, entre os paralelos 19°56' e 20°20' de Latitude Sul e meridianos 40°11' e 41°02' de Longitude Oeste (SOMA, 2003). Possui área de drenagem de

aproximadamente 1.876 km², abrangendo cinco municípios capixabas: Santa Maria de Jetibá e parte dos municípios de Cariacica, Santa Leopoldina, Serra e Vitória (AGERH,2022), conforme Figura 1.

Figura 1: Bacia do Rio Santa Maria da Vitória.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A precipitação pluviométrica anual da BHSMV varia de 1100 a 1300 mm nas proximidades do litoral e crescem em direção à cabeceira até a ordem de 1800 mm (SALDANHA,2007). Baseando-se na classificação de Köppen (KÖPPEN, 1900), o clima predominante na região é o tropical úmido (Aw), com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A temperatura média varia entre 19 °C e 28 °C (KOELHERT *et al.*, 2017).

O rio Santa Maria da Vitória desenvolve-se nos sentidos SO-NE/NO-SE com um comprimento total de aproximadamente 126 km, contribuindo diretamente para o Atlântico, tendo sua foz localizada na baía de Vitória, e nascentes no município de Santa Maria de Jetibá (SOMA, 2003). O relevo é fortemente ondulado e montanhoso, variando de 400 a 1462 metros (INCAPER 2011).

Os municípios que compreendem a BHSMV desenvolvem diversas atividades econômicas, como agricultura, pecuária, mineração, indústrias e prestação de atividades comerciais (KOELHERT *et al.*, 2017). Sobre o solo na referida bacia, o autor o descreve: normalmente ácido, de fertilidade natural baixa, predominando a classe latossolo vermelho amarelo.

DADOS

Para a realização do presente trabalho foi utilizado aplicativo computacional livre Qgis® 3.22.12. A delimitação da bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória e sua rede de

drenagem foi realizada por meio do pacote de ferramentas IPH-Hydro Tools (SIQUEIRA et al., 2016) com auxílio do manual disponibilizado por Medeiros et al. (2018). Partiu-se inicialmente de um Modelo Digital de Elevação – MDE elaborado a partir de imagens raster obtidas pela Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Ao longo do trabalho utilizou-se o aplicativo computacional netErosividade (MOREIRA et al., 2012). Também foram utilizados arquivos vetoriais, como a malha do estado do Espírito Santo e municípios, dados de uso e ocupação do solo, bem como as classes de solo presentes no estado, todos disponibilizados de forma gratuita nos endereços eletrônicos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE e Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo - GEOBASES, respectivamente.

EQUAÇÃO REVISADA UNIVERSAL DA PERDA DE SOLO – RUSLE

O modelo selecionado para estimar a perda de solo da bacia em estudo é a equação desenvolvida por Wischmeier e Smith em 1965, cujo propósito é servir como guia sistemático no planejamento da conservação do solo (TOMAZ, 2013). A equação é descrita da seguinte forma:

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

Em que: A – Estimativa de perda de solo média por unidade de área e tempo ($\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$); R – Fator Erosividade da chuva ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$); K – Fator erodibilidade do solo ($\text{t.ha}^{-1}.\text{MJ.mm}^{-1}$); LS – Fator topográfico, adimensional; C – Fator preparo e cobertura do solo, adimensional; P – Fator práticas conservacionistas, adimensional.

O fator erosividade (R), representa a força motriz da erosão, levando em consideração o total da precipitação pluvial a intensidade e distribuição sazonal da chuva (BRADY, 2013), através da seguinte equação:

$$R = \sum_{j=1}^n (EI_{30})_j \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: E - energia cinética de um evento de chuva j ; I_{30} - intensidade de chuva ocorrida em 30 minutos do evento de chuva j ; e n - quantitativo de eventos de chuva de um período avaliado ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$).

O fator R foi especializado utilizando o método de interpolação pelo inverso da distância de dados de erosividade anual, obtidos através do software netErosividade, estimados segundo Foster *et al.* (1981). Os dados foram obtidos de 10 pontos localizados nos municípios da bacia e circunvizinhos.

O fator de erodibilidade do solo (K) é um indicador da suscetibilidade intrínseca de um solo à erosão. O valor atribuído representa a quantidade de solo perdida por unidade de energia erosiva da chuva (BRADY, 2013). É necessário a percentagem de areia, silte e matéria orgânica para se achar o valor de K .

Para espacialização do fator K , utilizou-se o cálculo proposto por Wischmeier e Smith (1978), descrito na equação 3 que considera as porcentagens de tamanho dos grãos do solo:

$$K = \left(\frac{\%areia + \%silte}{\%argila} \right) .0,01 \quad (\text{Equação 3})$$

Um mapa com os tipos de solos da bacia foi adquirido do Navegador GEOBASES, em escala 1:400000 do mapa original do Projeto Radambrasil (1:250000). Adicionou-se os valores de erodibilidade do solo descritos na Tabela 1. Entretanto, classes tiveram o valor de K adaptado, uma vez que nenhuma referência pesquisada continha o valor K para o solo descrito de modo análogo ao advindo do Navegador GEOBASES.

Tabela 1: Fator erodibilidade por classe de solo e referência utilizada

Sigla	Valor K	Referência
CXbd4	0,0341	Pereira <i>et al.</i> (2009)*
GJo1	0.0361	Silva; Alvares (2005)*
GXbd	0,0274	Morais;Sales (2017)
LAd1	0.0107	Junior <i>et al.</i> (2013)
	67	
LAd10	0,0169	Trindade (2018)*
LAd7	0.0165	Junior <i>et al.</i> (2013)
	85	
LVAd2	0,0311	Trindade (2018)
Nve	0,0068	Morais;Silva, (2020)
PAd	0,0692	Morais;Silva, (2020)
PAdx6	0,0692	Morais;Silva, (2020)*
PVAd3	0.0192	Junior <i>et al.</i> (2013)
	23	
PVe5	0,0292	Pereira <i>et al.</i> (2009)*
RLde1	0,049	Pereira; Cabral (2021)*

*Em virtude da falta de referência de valores de K para este solo, adotou-se o valor de K de solo com menor detalhamento, mais próximo possível da descrição do tipo de solo.

Fonte: Adaptações realizadas pela autora.

O fator LS reflete a influência do comprimento e declividade da encosta na erosão do solo. É expresso como a razão entre a perda de solo da área em questão e a perda de solo em uma parcela padrão de 9% de declividade e 22 metros de comprimento.

Para espacialização do fator LS utilizou-se o algoritmo “Slope length” do Sistema de Análises Geocientíficas Automatizado-SAGA, integrante do QGIS, que modela o fator LS a partir da área de contribuição. A equação utilizada foi desenvolvida por Desmet e Govers (1996):

$$L_{i,j} = \left(\frac{(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - (A_{i,j-in})^{m+1}}{D^{m+2} x_{i,j}^m (22,13)^m} \right) \quad (\text{Equação 4})$$

$$S = 0,00654s^2 + 0,0456s + 0,065 \quad (\text{Equação 5})$$

Em que: $L_{i,j}$ - fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i,j) (adimensional); $A_{i,j-in}$ - área de contribuição de uma célula com coordenadas (i,j) (m^2); D - tamanho da grade de células (m); $x_{i,j}$ - valor da direção do fluxo; m - coeficiente que assume os valores: 0,5, se $s \geq 5\%$; 0,4, se $3\% \leq s < 5\%$; 0,3, se $1\% \leq s < 3\%$; e 0,2, se $s < 1\%$; S - fator de declividade (adimensional); e s - declividade média da vertente (%).

O fator *C* é a taxa de perda de solo, nas condições em questão, em relação ao que seria perdido com o solo continuamente descoberto. Seu valor é próximo de 1,0 onde há pouca cobertura do solo, sendo baixo em locais onde há muito resíduo vegetal cobrindo o solo, ou mesmo em áreas de vegetação perene e densa (BRADY,2013).

Para espacialização desse fator utilizou-se dados de uso e cobertura do solo disponibilizados pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA, realizado em 2012-2015. Ao longo da bacia, estão presentes 22 classes de uso e cobertura do solo, descritos na Tabela 2.

Tabela 2: Fator preparo e cobertura do solo por classe de solo e referência utilizada

Classe delimitada	C	Referência
Afloramento Rochoso	0,00100	Bertoni e Lombardi Neto (2012)
Área Edificada	0,00100	Silva (2004)
Brejo	0,00040	Oliveira; Pinto; Neto (2012)
Campo Rupestre/Altitude	0,01940	Fundação (2000)
Cultivo Agrícola - Banana	0,25000	Bertoni e Lombardi Neto (2012)
Cultivo Agrícola - Café	0,13500	Silva et al. (2010)
Cultivo Agrícola - Cana-De-Açúcar	0,29000	Ruhoff et al., 2006.
Cultivo Agrícola - Coco-Da-Baía	0,25000	Bertoni e Lombardi Neto (2012)
Cultivo Agrícola - Outros Cultivos Permanentes	0,25000	Bertoni e Lombardi Neto (2012)
Cultivo Agrícola - Outros Cultivos Temporários	0,65000	Bertoni e Lombardi Neto (2012)
Extração Mineração	1,00000	Silva (2004)
Capoeira/Macega	0,00100	Dutra; Teixeira; Mendonça (1997)
Mangue	0,00500	Fundação (2000)
Massa D'Água	0,00000	Silva (2004)
Mata Nativa	0,00040	Silva et al. (2010)
Mata Nativa em Estágio Inicial de Regeneração	0,00300	Fujihara (2002)
Outros	0,00000	-
Pastagem	0,01000	Tomazoni et al (2005)
Reflorestamento - Eucalipto	0,03241	Silva (2007)
Reflorestamento - Seringueira	0,03241	Silva (2007)
Restinga	0,00070	Fundação (2000)
Solo Exposto	1,00000	Farinasso et al (2006)

Fonte: Adaptado de NUNES (2013), MOREIRA (2017); QUINTO, 2018 e FERREIRA (2022).

O fator *P* é a proporção de perda de solo com uma prática de apoio (conservacionista) em relação à perda correspondente sem esta prática. Se não há práticas de apoio, o fator *P* é de 1,0 (BRADY,2013). Para elaboração do mapa *P*, também foram utilizados dados de uso e cobertura do solo disponibilizados pelo IEMA. Os valores de *P* adotados para cada classe delimitada estão descritos na tabela 3.

Tabela 3: Fator práticas conservacionistas por classe de solo e referência utilizada

Classe delimitada	P	Referência
Afloramento Rochoso	1.00	Nunes (2013)
Área Edificada	1.00	Prado (2005)
Brejo	0.00	-
Campo Rupestre/Altitude	0.40	Ruhoff (2006)
Cultivo Agrícola - Banana / café/ cana-de açúcar/ coco-da-Baía/ Outros cultivos permanentes/ Outros cultivos temporários	0.70	Ruhoff (2006)
Extração Mineração	1.00	
Capoeira/Macega	0.20	Souza (2010)
Mangue	1.00	-
Massa D'Água	0.00	Ruhoff (2006)
Mata Nativa / Estágio Inicial de Regeneração	0.10	Ruhoff (2006)
Outros	0.20	-
Pastagem	0.30	Domingos (2006)
Reflorestamento - Eucalipto/Seringueira	0.20	Souza (2010)
Restinga	1.00	Ruhoff (2006)
Solo Exposto	1.00	Ruhoff (2006)

Fonte: Adaptado de NUNES (2013).

Caracterizar o ambiente de pesquisa explicitando-o ou se for o caso de descaracterizar o objeto de estudo, por não ter a permissão de divulgar os envolvidos ou organizações estudadas, apresentar o contexto que o objeto de estudo está inserido. Descrever a ordem e como foram empregados os métodos e/ou as técnicas de pesquisa, entre estes: Tipo de pesquisa; Escopo de pesquisa; Técnica de coleta e análise de dados.

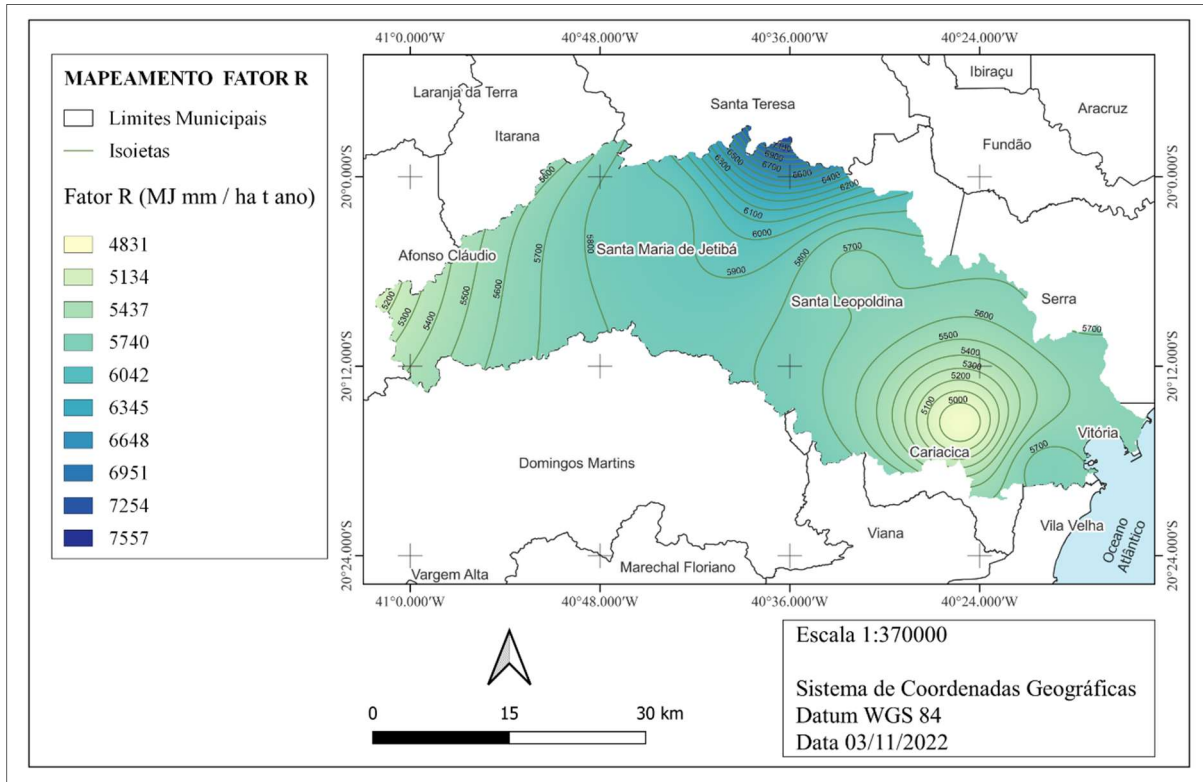
Sugere-se que os métodos e técnicas de pesquisa sejam suportados por obras especializadas em metodologia científicas e/ou outros estudos publicados que apresentem tais metodologias. Esta seção poderá ser fracionada em subseções, conforme a seção anterior, pontuando-a em subtítulos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os cursos hídricos foram delimitados com um limiar de área de 5 km². A ferramenta delimitou os cursos hídricos até a foz do Rio Santa Maria da Vitória localizada na baía de Vitória. Em virtude disso, uma malha hidrográfica disponibilizada pela Agerh, foi utilizada para complementar o mapa, a fim de apresentar cursos d'água presentes nas laterais posteriores a foz do rio.

A espacialização do fator erosividade (*R*) está representada na Figura 2. Os maiores valores estão localizados na porção central da bacia, principalmente na região de Santa Teresa. Dados semelhantes foram encontrados por Baldoto; Buarque; Oliveira (2020) em estudos realizados na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce, confrontante à presente área de estudo, onde verificou-se que a energia cinética de chuvas é mais intensa na região pertencente ao município de Santa Teresa.

Figura 2: Mapeamento do fator erosividade (R).



Fonte: Elaborado pelos autores.

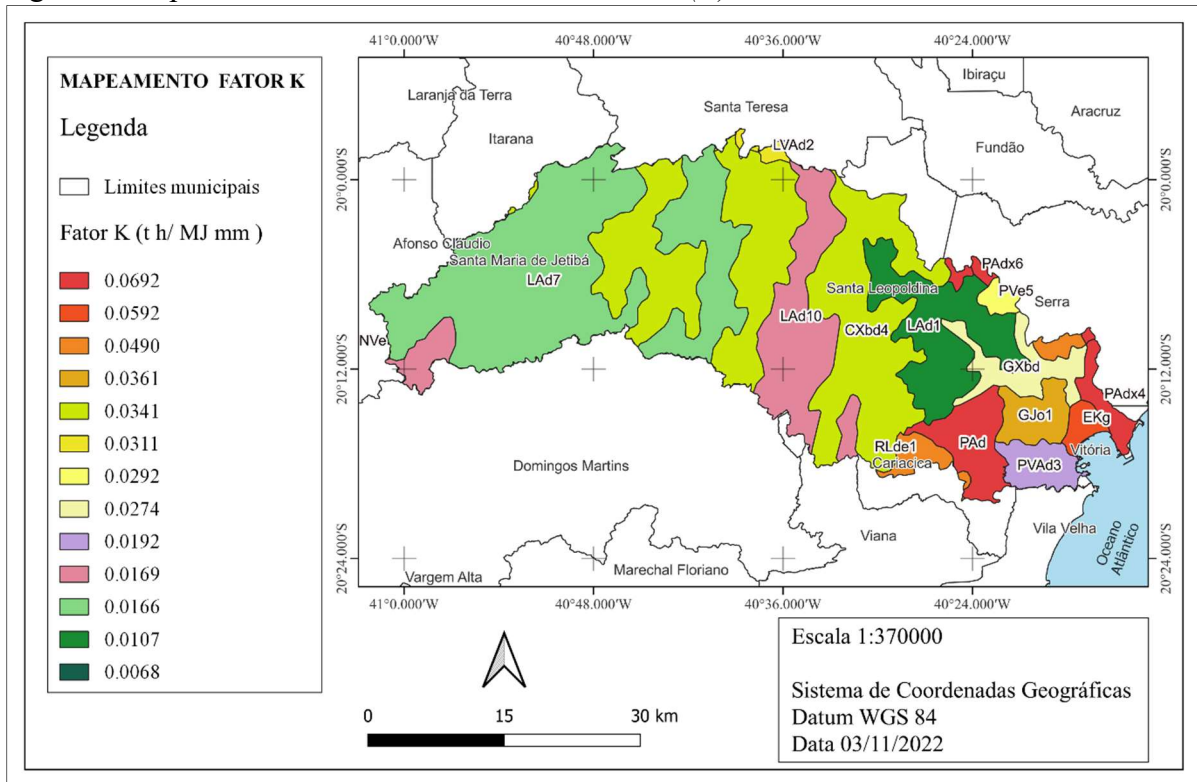
A representação do fator erodibilidade do solo (K) encontra-se na Figura 3. Verifica-se que o maior valor para este fator, na ordem de $0,0692 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm}^{-1}$ foi encontrado em algumas regiões dos municípios de Cariacica, Serra e Vitória, onde os solos são do tipo Argissolo Amarelo distrófico (PAD). Segundo Santos; Zaroni; Almeida (2021), estes solos têm maior risco de erosão causada pela diferença de textura superficial e subsuperficial. Apresentam também boas condições físicas de retenção de umidade e boa permeabilidade, embora com baixa fertilidade sendo intensivamente utilizados para culturas de cana-de-açúcar e pastagens ao longo de todo o país.

As regiões mais altas da bacia apresentaram baixos valores de erodibilidade do solo em sua maior parte. O tipo de solo predominante nestas regiões é Latossolo Amarelo distrófico. Estes solos apresentam normalmente baixa fertilidade, boas condições físicas para o uso agrícola, associadas a uma boa permeabilidade por serem solos bem estruturados e muito porosos. Porém, devido aos mesmos aspectos físicos, possuem baixa retenção de umidade (SANTOS; ZARONI; ALMEIDA, 2021).

O fator topográfico (LS) encontra-se especializado na Figura 4. Este fator tem a função de contribuir em maior ou menor grau para o aumento da energia potencial no carreamento das partículas do solo. Dessa forma, quanto maior a inclinação do terreno, maior será a velocidade de escoamento (MOREIRA, 2017).

Estudos realizados demonstram que a região da UP Médio SMV se apresenta com maior potencial natural (sem considerar o uso do solo) de erodibilidade e perda de solos, notadamente por sua maior declividade (CSMJ/HABTEC, 1997) corroborando com os resultados obtidos para o fator LS .

Figura 3: Mapeamento do fator erodibilidade do solo (*K*).



Fonte: Elaborado pelos autores.

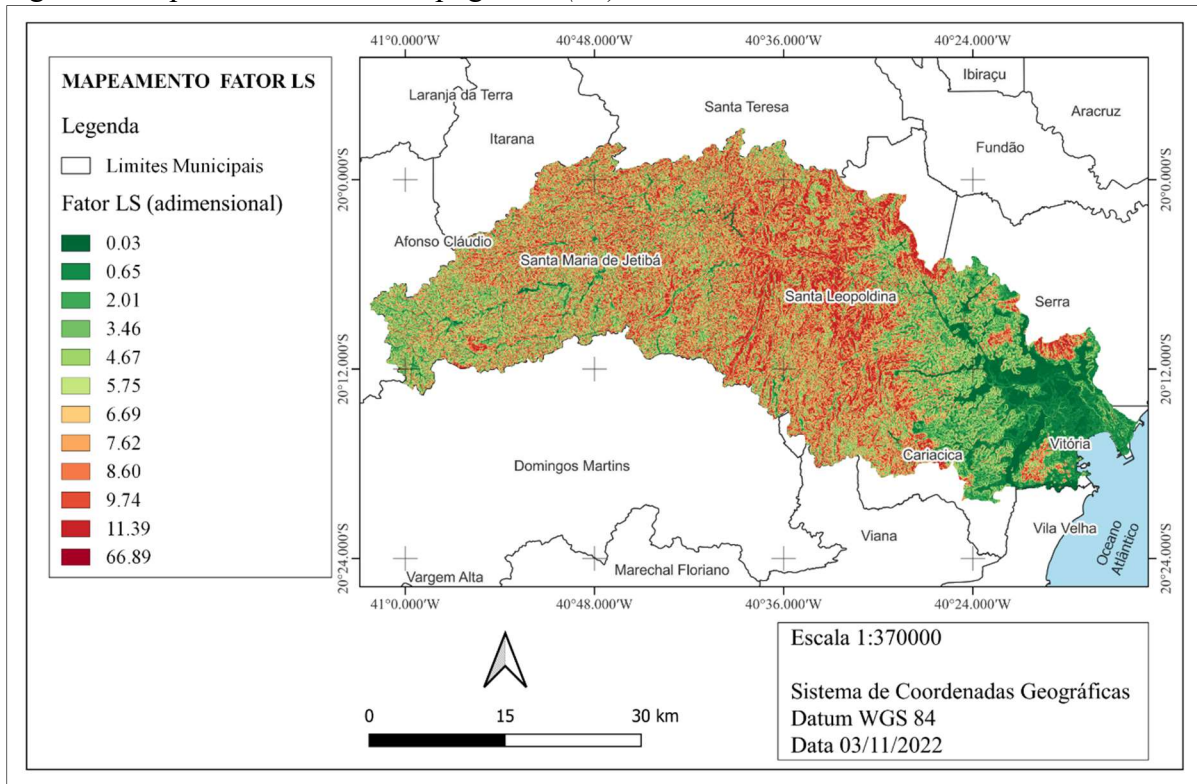
A Figura 5 apresenta o mapeamento do fator uso e cobertura do solo (*C*). Observa-se que em grande parte da área de estudo este fator é baixo, indicando que o solo apresenta algum tipo de cobertura. Em trabalhos realizados pelo IEMA (2015), verificou-se que a Região Hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória se apresenta coberta por aproximadamente 45% de mata nativa em estágios inicial, médio e avançado, o que colabora com os valores do mapa.

Na região compreendida entre os municípios de Cariacica, Serra e Vitória, observa-se valores mais altos para o fator *C*. Entretanto, valores próximos de 1 podem ser encontrados em pontos alternados ao longo de toda a sua extensão, o que é um indicativo de solos descobertos, consequentemente, altas taxas de perda de solo, conforme pontuado por (BRADY, 2013).

Estudos realizados demonstram que a região da UP Médio SMV se apresenta com maior potencial natural (sem considerar o uso do solo) de erodibilidade e perda de solos, notadamente por sua maior declividade (CSMJ/HABTEC, 1997) corroborando com os resultados obtidos para o fator *LS*.

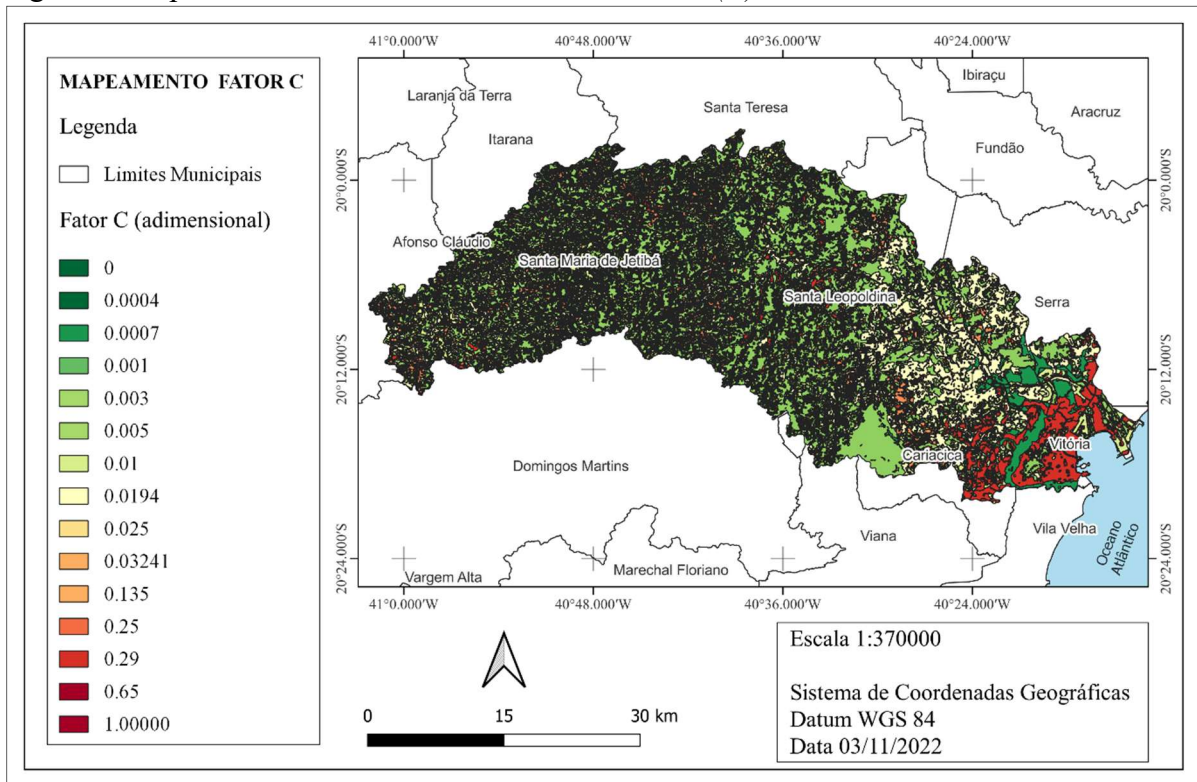
A espacialização do fator práticas conservacionistas também foi realizada a partir do mapeamento do uso e cobertura do solo, e encontra-se representado na Figura 6. Os maiores valores são encontrados em sua maior parte na região baixa da bacia, onde há maior percentual de áreas urbanizadas. Entretanto, são encontrados também em áreas alternadas ao longo de toda a extensão da bacia de estudo.

Figura 4: Mapeamento do fator topográfico (*LS*).



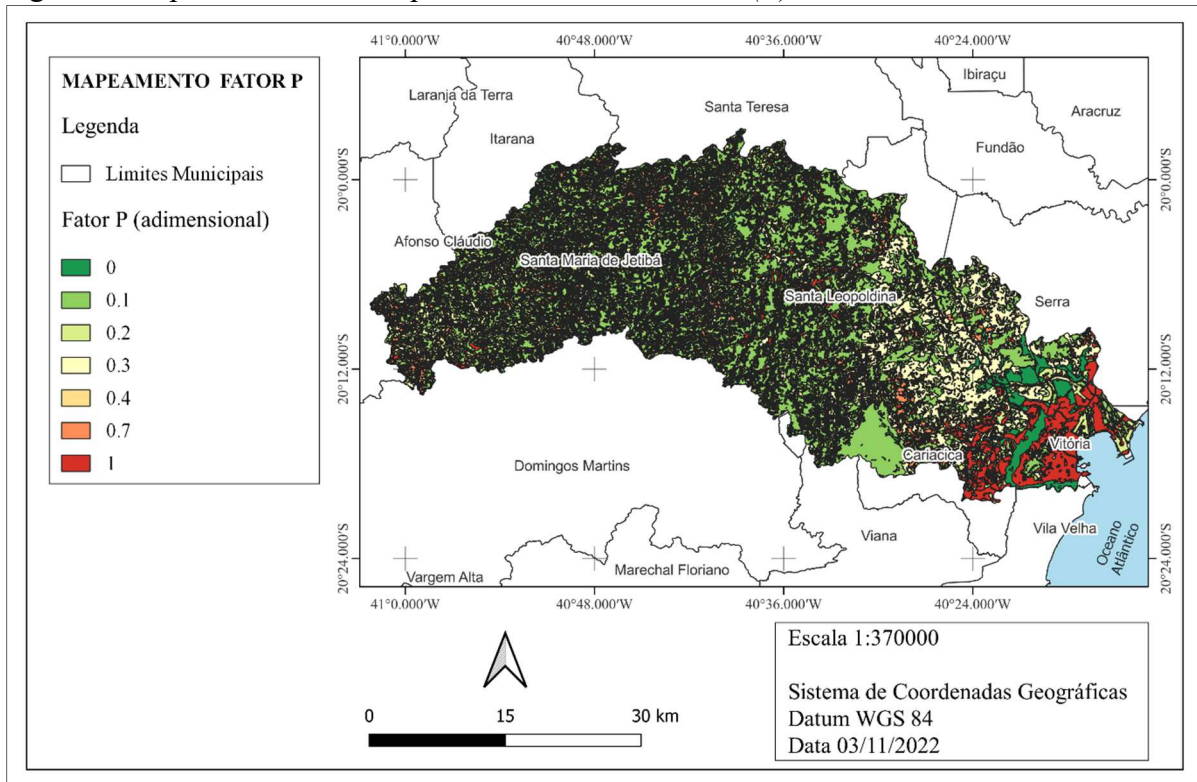
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 5: Mapeamento do fator uso e cobertura do solo (*C*).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 6: Mapeamento do fator práticas conservacionistas (*P*).



Fonte: Elaborado pelos autores.

A perda de solo estimada para a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória é descrita na Figura 7. Os valores de perda de solo estão abaixo de $50 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ em mais de 88% da extensão da bacia hidrográfica, sendo que o valor médio dessa perda e desvio padrão é de $35,31 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e $146,18 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, respectivamente.

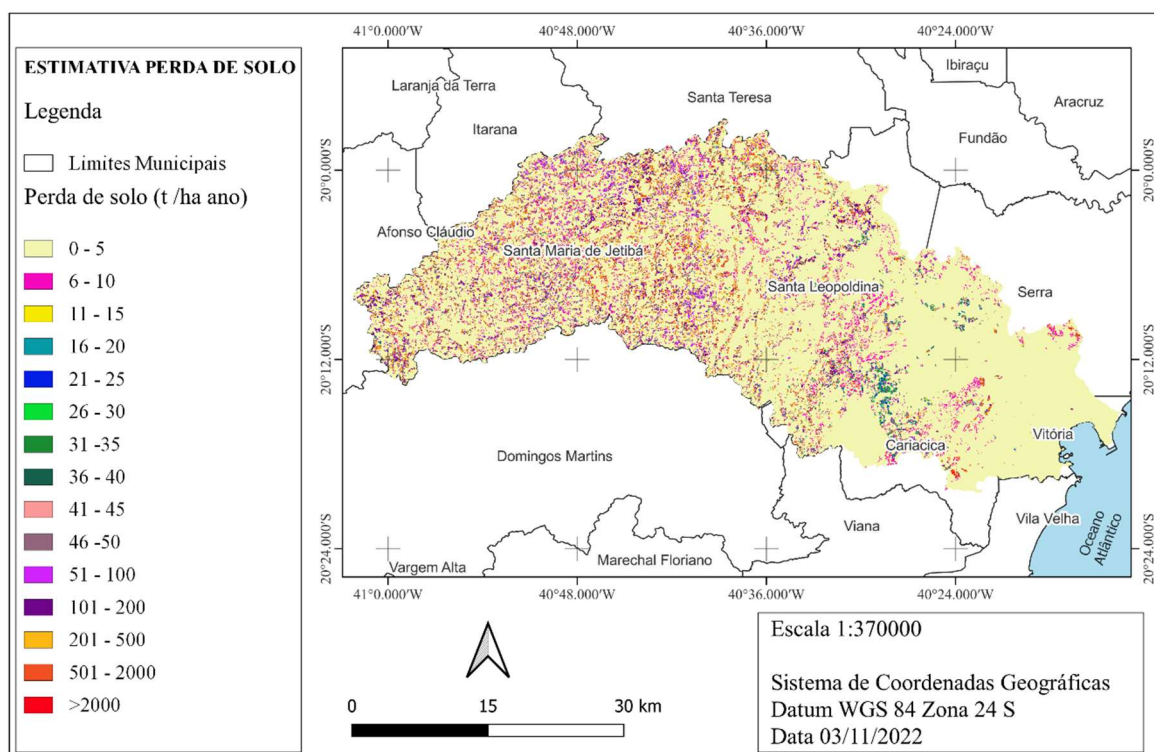
Os valores mais altos de perda de solo, embora distribuídos ao longo de toda extensão da bacia, concentram-se nas áreas correspondentes as Unidade de Planejamento de Alto Santa Maria da Vitória e médio Santa Maria da Vitória. Contribuem para este diagnóstico os resultados obtidos em trabalhos realizados por (CSMJ/HABTEC, 1997), onde, após análise de características naturais e antrópicas quanto ao uso do solo, relacionou a sub-bacia do rio São Sebastião de Cima, afluente do rio Santa Maria da Vitória, como área crítica com propensão à erosão.

Tabela 4: Classificação de perda de solo e porcentagem de área da bacia

Classes de perda de solo (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Área da bacia (%)
0 - 5	80,68
6 - 10	4,30
11 - 15	1,20
16 - 20	0,57
21 - 25	0,41
26 - 30	0,39
31 - 35	0,35
36 - 40	0,32
41 - 45	0,29
46 - 50	0,28
51 - 100	2,73
101 - 200	3,14
201 - 500	3,55
501 - 2000	1,71
> 2000	0,06

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 7: Mapeamento da perda de solo na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória.



Fonte: Elaborado pelos autores.

CONCLUSÃO

A partir da realização do presente estudo foi possível produzir dados representando a distribuição espacial da erosão do solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória, assim como os fatores a ela relacionados.

Verificou-se que o valor médio de perda de solo na bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória é de 35,31 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Os valores mais altos de perda de solo concentram-se nas áreas correspondentes as Unidade de Planejamento de Alto Santa Maria da Vitória e médio Santa Maria da Vitória. Tendo em vista que nestas regiões da bacia predominam atividades agropecuárias, sugere-se o desenvolvimento de trabalhos ressaltando a importância do manejo correto do solo, a fim de conscientizar a população e proporcionar a preservação e exploração sustentável dos recursos naturais.

A metodologia adotada apresentou resultados satisfatórios na estimativa da perda de solo para a bacia hidrográfica em questão, viabilizando sua aplicação em trabalhos direcionados a outras localidades, bem como estudos direcionados a extensões menores dentro da própria bacia.

Os resultados obtidos contribuem como ferramentas para órgãos gestores e regulamentadores na discussão de medidas de gestão e manejo de solos na região de estudo, além de poder subsidiar estudos futuros na área de manejo de solos em localidades diversas.

Sugere-se para trabalhos futuros a ampliação desta espacialização, levando em conta as Unidades de Planejamento e sub-bacias que compõem a área de estudo. Também é importante a realização de estudos visando complementar as informações já existentes quanto aos valores de erodibilidade dos solos e seus respectivos usos/coberturas na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória.

REFERÊNCIAS

AGERH. Agência Estadual de Recursos Hídricos. 2022. Disponível em: <https://agerh.es.gov.br/cbh-smv>. Acesso em: 04 de ago. 2022.

AGER, Agência Estadual de Recursos Hídricos. De olho no rio: Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória. **Manual Operativo dos Planos de Recursos Hídricos Capixabas**. Agerh. Disponível em: <https://agerh.es.gov.br/Media/agerh>. Acesso em 31 out. 2022

BALDOTTO, J.B.; BUARQUE, D. C.; OLIVEIRA, E.D. Levantamento da perda de solo e produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria do Doce (Espírito Santo) por modelagem matemática. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.9, n.3. p. 2-23, 2021. Disponível em: <https://www.revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/831/305>. Acesso em: 26 abr. 2022.

BARROS, E. N. S. et al. Modelagem da erosão hídrica nas bacias hidrográficas dos rios Lontra e Manoel Alves Pequeno, Tocantins. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, n.1, v.13, 2018. Disponível em: http://www.agraria.pro.br/ojs-2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=agraria_v13i1a5509. Acesso em 30 mar.2022.

BRADY, N. C. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3ª Ed, Bookman, 2013.

CARVALHO, A. P. et. al. Determinação espacial e temporal do IQA do açude Soledade em Soledade-Paraíba. **Engenharia Ambiental**, v. 8, n. 2, p. 138 -147, 2011. Disponível em : <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=700>. Acesso em 15 set. 2022.

CARVALHO, A. P.; SCHLITTLER, F. H. M.; TORNISIELO, V. L. Relação da atividade agropecuária com parâmetros físico-químicos da água. **Química Nova**, v. 23, n. 5, 2000. Disponível em : <https://www.scielo.br/j/qn/a/XBFqRSKyh6sffqN7KKKBKND/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 15 set. 2022.

CASARIN, R.; NEVES, S. M. A. S.; NEVES, R. J. Uso da terra e qualidade da água da bacia hidrográfica Paraguai / Jauquara-MT. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 2, n. 1, p. 33-42, 2008.

CSMJ. CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL DAS BACIAS DOS RIOS SANTA MARIA DA VITÓRIA E JUCU. Diagnóstico e Plano Diretor das Bacias dos Rios Santa Maria da Vitória e Jucu. Volume I – **Ecosistemas Aquáticos Interiores e Recursos Hídricos**. Rio de Janeiro, Habtec Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997.

DINIZ, Mariana dos Santos. Estudo da vulnerabilidade e modelagem ambiental para previsão de processos erosivos no entorno de reservatórios: O Estudo de Caso do Ribeirão Sarandi-UHE. Corumbá IV, GO. 2016. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/16977>. Acesso em 07 out. 2022.

Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo Centro de Ciências Agrárias Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Jerônimo Monteiro, 2013.

FERREIRA, A. D. S. Análise da influência de fatores ambientais e físicos na qualidade da água dos mananciais em pontos de captação da CESAN no estado do Espírito Santo. 2022. Monografia (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2022. Disponível em: https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/2158/TCC_An%C3%A1lise_influ%C3%Aancia_fatores_qualidade_%C3%A1gua.pdf?sequence=1.pdf. Acesso em: 08 nov. 2022.

FEST, Fundação Espírito Santense de Tecnologia . Enquadramento de corpos d'água como instrumento de planejamento para o Desenvolvimento sustentável regional. Chamada Pública Mct/Finep/Ct-Hidro-Grh – 01/2004. Disponível em : <https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7499/desenvolvimento-de-metodologias-de-enquadramento-ifesp-2008.pdf>. Acesso em 19 set. 2022

FOSTER, George R. et al. Conversion of the universal soil loss equation to SI units. **Journal of Soil and Water Conservation**, Baltimore, v.36, p.355-359, 1981

IEMA, Instituto e Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Enquadramento dos Corpos de Água em Classes e Plano de Bacia para os Rios Santa Maria da Vitória e Jucu. IEMA, 2015, 284 p.

Disponível em:

https://agerh.es.gov.br/Media/agerh/Documenta%C3%A7%C3%A3o%20CBHs/CBH%20Jucu%20-%20RT2_Diagn%C3%B3stico%20das%20Bacias_Vol-I.pdf. Acesso em 01 nov. 2022.

INCAPER. Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência Técnica e Extensão Rural. 2020. Programa de assistência técnica e extensão rural PROATER 2011-2013. Santa Maria de Jetibá. Disponível em:

https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Centro_cerrano/Santa_Maria.pdf. Acesso em: 05 ago 2022.

JUNIOR, B. S. G. et al. Perda de solo por erosão hídrica em Áreas de Preservação Permanente na microbacia hidrográfica córrego do Horizonte, Alegre, Espírito Santo. **Engenharia Ambiental** - Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n. 2, p. 021-034, 2012. Disponível em: <https://www.mundogeomatica.com/Publicacoes/Artigo41.pdf>. Acesso em 01 nov. 2022

JUNIOR, W. D. et al. Zoneamento Agroecológico do Município de Bom Jardim, Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro, 230, dez. 2013. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/145016/1/BPD-230-Zon-Agroecologico-Bom-Jardim.pdf>. Acesso em: 10 set. 2022.

KOELHERT, Suely et al. Avaliação de qualidade de água da Bacia Hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória, ES, Brasil. **Natureza online** 15 (2): 008-022. 2017.

KÖPPEN, W. Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. **Geographische Zeitschrift**, v. 6, n. 11. H, p. 593-611, 1900.

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

<https://pdfs.semanticscholar.org/e92b/8f8bef5fd9630e62d62b7784720238702169.pdf>. Acesso em 08 set. 2022.

MARTINS, F.C.O.; FERNANDES, V.O. Biomassa e composição elementar (C, N e P) da comunidade perifítica no alto Rio Santa Maria da Vitória, Espírito Santo, Brasil. **Brazilian Journal of aquatic Science and Technology**, v. 15, n. 1, p. 11-18, 2011. Disponível em: https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/42/ARTIGO_Biomassa_composicao_elementar.pdf?sequence=7&isAllowed=y. Acesso em 28 out. 2022.

MATOS, T. V. S. (2015). Determinação de áreas de vulnerabilidade à erosão hídrica com base na equação universal de perda de solo (USLE). 116 p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-A3FETB/1/disserta_o_thiago_corre_o_setembro.pdf. Acesso em 01 nov. 2022.

MEDEIROS, M. S. et al.. **Manual de exemplo de aplicação do modelo MGB 2018 utilizando o IPH-Hydro Tools**. 2018. Disponível em:

https://www.ufrgs.br/hge/wpcontent/uploads/2018/11/manual_MGB_2018_QGIS_FINAL_02-1.pdf. Acesso em: 19 mai. 2022.

MORAIS, R. C. de S.; SILVA, A. J. O. Estimativa do Potencial Natural de Erosão dos solos da bacia hidrográfica do rio Longá, Piauí, Brasil. **GEOTemas**, Pau dos Ferros, RN, v. 10, n. 2, p. 116-137, maio./ago. 2020. Disponível em: <http://periodicos.apps.uern.br/index.php/GEOTemas/article/view/2413>. Acesso em: 10 set. 2022.

MORAIS, R. C. de S; SALES, M. C. L. Estimativa do Potencial Natural de Erosão dos Solos da Bacia Hidrográfica do Alto Gurguéia, Piauí-Brasil, com uso de Sistema de Informação Geográfica. **Caderno de Geografia**, v.27, Número Especial 1, 2017, p.2318-2962, 2017. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3332/333253584006.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2022.

MOREIRA, G. L. Evolução comparativa do uso e ocupação da terra em bacia hidrográfica. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/handle/10/7650>. Acesso em: 08 set. 2022.

MOREIRA, Michel Castro; et al. Programa computacional para a estimativa da erosividade da chuva no Espírito Santo. **Revista Engenharia na Agricultura –REVENG**, v.20, p.350-356, 2012.

NUNES, Alisson Rodrigues. **Confronto do Uso e Ocupação da Terra em APP's e Estimativa de Perda de Solo na Bacia Hidrográfica do Rio Alegre**. 2013.

PEREIRA, M. D.; CABRAL, J. B. P. Perda de solo no alto curso das bacias hidrográficas dos ribeirões Taquaruçu Grande e Taquaruçuzinho, Palmas (TO). **Revista Brasileira de Geografia Física**. [Tocantins], v.14, n.01, p.332-339, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge/article/view/248035>. Acesso em: 10 set. 2022.

PEREIRA, N. R. et al. Zoneamento agroecológico do município de Bodoquena - MS. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro, 144, dez. 2009. Disponível em: [https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/664523/zoneamento-agroecologico-do-municipio-de-bodoquena---ms#:~:text=As%20%C3%A1reas%20identificadas%20como%20zonas,uso%20com%20pastagens%20\(100%25\)](https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/664523/zoneamento-agroecologico-do-municipio-de-bodoquena---ms#:~:text=As%20%C3%A1reas%20identificadas%20como%20zonas,uso%20com%20pastagens%20(100%25)). Acesso em: 10 set. 2022.

QUINTO, W. M. Pagamentos por serviços ambientais e índice de recuperação de áreas na bacia hidrográfica sob a influência da pequena central hidrelétrica de São Simão, Alegre, ES. 2018. Tese- doutorado (Ciências agrárias) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2018. Disponível em: <https://poscienciaflorestal.ufv.br/wp-content/uploads/2020/07/VAGNER-MAURI-QUINTO.pdf>. Acesso em: 08 set. 2022.

RENARD, K. G., et al. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)**. Washington, DC: USDA, 1997. 404p. (USDA. Agriculture Handbook, 703). Disponível em: https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/64080530/rusle/ah_703.pdf. Acesso em: 05 abr. 2022.

SALDANHA, Jeanne Cristine Schmidt. **Análise da influência do rio Santa Maria da Vitória na baía de Vitória, através da modelagem computacional: uma contribuição ao processo de enquadramento**. Dissertação (Mestrado Ciências em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória, 2007.

SANTOS, D. B. O; BLANCO, C.J. C; PESSOA, F. C. L. RUSLE para Determinação da Tolerância de Perda de Solo. **Biota Amazônia**, Macapá, v. 5, n. 4, p. 78-83, 2015 Disponível em <http://periodicos.unifap.br/index.php/biota>. Acesso em 05 out.2022.

SANTOS, H. G. ; ZARONI, M. J.; ALMEIDA, E. P. C. Solos Tropicais. In: **EMBRAPA SOLOS**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs>. Acesso em: 1 nov. 2022

SILVA, A. M.; ALVARES, C. A. Levantamento de informações e estruturação de um banco de dados sobre a erodibilidade de classes de solos no estado de São Paulo. **Geociências**, UNESP, São Paulo, v.24, n.1, p.33-41, 2005. Disponível em: <https://ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/9738>. Acesso em: 10 set. 2022.

SOMA- S. M. A. Estudo de Impacto Ambiental – EIA: PCH Timbuí Seco. 81p., [2003]. Disponível em: https://iema.es.gov.br/Media/iema/CQAI/EIA/2003/PCH%20Timbu%C3%AD%20Seco/G-IV-_Diagn%C3%B3stico%20Meio%20F%C3%ADsico.pdf. Acesso em: 15 jun. 2022.

TOMAZ, E. P. **Curso de Manejo de águas pluviais**: Capítulo 23- RUSLE – Equação revisada universal de perda de solo. 2013. Disponível em: http://docs.wixstatic.com/ugd/0573a5_bbdb89e097804778add2b6572ff125c8.pdf?index=true. Acesso em: 18 maio 2022.

TRINDADE, L. D. **Estimativa de perda de solo na bacia hidrográfica do Rio da Dona - BA**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Agrárias, ambientais e biológicas, Universidade Federal do Recôncavo Baiano, Cruz das Almas, 2018. Disponível em: <http://repositorioexterno.app.ufrb.edu.br/bitstream/123456789/1574/1/TCC.pdf>. Acesso em: 10 set. 2022.