



## Delimitação do potencial erosivo em áreas urbanas, estudo de caso da ocupação Vitória, Belo Horizonte - MG

Pedro Almeida de Souza<sup>1</sup>, Eliane Maria Vieira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Itajubá, Rua Irmã Ivone Drumond, 200, CEP 35903-087, Itabira, Minas Gerais. (31)99875-7985, e-mail: almeidapedro969@gmail.com.. <sup>2</sup>Dr<sup>a</sup> em Engenharia Civil/Geotecnia Ambiental, Professora Associada, Universidade Federal de Itajubá, Rua Irmã Ivone Drumond, 200, CEP 35903-087, Itabira, Minas Gerais. (31) 3839 0855, e-mail: elianevieira@unifei.edu.br.

Artigo recebido em 02/12/2022 e aceito em 25/03/2023

### RESUMO

O objetivo deste trabalho é determinar o potencial erosivo da ocupação Vitória -localizada na zona norte da cidade de Belo Horizonte/MG- por meio da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS). A região em questão vem sofrendo com o assoreamento acelerado dos recursos hídricos e do solo. Como forma de atenuar o problema a região contará com a intervenção do projeto "RECUPERAÇÃO DO CÓRREGO IZIDORO, BELO HORIZONTE - MG" selecionado no edital promovido pelo Ministério do Desenvolvimento Regional - MDR - "Águas Brasileiras" (março de 2021) e coordenado pela Ricardo Motta Pinto-Coelho - Meio Ambiente (RMPC- Meio Ambiente). Para a realização desse trabalho, o projeto contará com a participação de uma equipe que reúne um time de especialistas de universidades privadas e federais (UFMG, UNIFEI, UNIFUNCESI), trabalhando com centenas de famílias que vivem na Ocupação Vitória, uma das maiores áreas verdes urbanas do mundo, situada na porção norte do município de Belo Horizonte (MG). A erosão é uma grandeza sujeita a diversos tipos de variações que tornam o seu cálculo singular quanto ao espaço, por esse motivo, ignorar ou aplicar metodologias que desconsideram parâmetros regionais pode culminar na predição incorreta da perda de solo do local. Dito isso, vale ressaltar que a EUPS, além de considerar dados regionais, considera outros critérios capazes de interferir na perda de solo. Para obter os resultados esperados, foram calculados todos os 5 fatores da equação universal (R - erosividade, K - erodibilidade, LS - comprimento e declividade da encosta, C - fator de uso e ocupação do solo, P - práticas conservacionistas). As ferramentas SIG e Excel foram utilizadas para auxiliar nos cálculos dos fatores e na construção dos mapas. Como resultado, foi possível constatar que as maiores taxas de perda de solo ocorrem em regiões urbanas da área de interesse, esse comportamento se deve à falta de infraestrutura urbana, tal como pavimentação das ruas e estruturas de drenagem.

Palavras-chave: Erosão, perda de solo, geoprocessamento.

## Delimitation of erosive potential in urban areas, case study of the Vitória occupation, Belo Horizonte - MG

### ABSTRACT

The objective of this work is to determine the erosion potential of the Vitória occupation -located in the north zone of the city of Belo Horizonte/MG- through the Universal Soil Loss Equation (USLE). The region in question has been suffering from the accelerated silting up of water and soil resources. As a way of mitigating the problem, the region will have the intervention of the project "RECUPERAÇÃO DO CÓRREGO IZIDORO, BELO HORIZONTE - MG" selected in the public notice promoted by the Ministério do Desenvolvimento Regional -MDR- "Águas Brasileiras" (March 2021) and coordinated by the Ricardo Motta Pinto-Coelho - Meio Ambiente (RMPC- Meio Ambiente). To carry out this work, the project will have the participation of a team that brings together specialists from private and federal universities (UFMG, UNIFEI, UNIFUNCESI), working with hundreds of families who live in Ocupação Vitória, one of the greatest green urban areas in the world, located in the northern portion of the city of Belo Horizonte (MG). Erosion is a quantity subject to several types of variations that make its calculation unique in terms of space, for this reason, ignoring or applying methodologies that disregard regional parameters can lead to incorrect prediction of soil loss at the site. That said, it is worth mentioning that the EUPS, in addition to considering regional data, considers other criteria capable of interfering with soil loss. To obtain the expected results, all 5 factors of the universal equation will be calculated (R - erosivity, K - erodibility, LS - slope length and slope, C - land use and occupation factor, P - conservation practices). The GIS and Excel tools will be used to assist in factor calculations and in the elaboration of maps. As a result, it was possible to verify that

the highest rates of soil loss occur in urban regions of the area of interest, this behavior is due to the lack of urban infrastructure, such as street paving and drainage structures.

Keywords: Erosion, soil loss, geoprocessing.

## Introdução

Em decorrências do crescimento populacional acelerado, diversas mudanças espaciais e ambientais ocorrem, em grande parte, devido à atividade humana. Frente a esse crescimento e a necessidade de suprir maiores demandas de transporte, alimentação e outras necessidades da população, diversas modificações socioambientais são realizadas no meio ambiente.

Dentre essas mudanças é possível elencar a extração de madeira, a mineração, a construção de estradas, a criação das usinas hidrelétricas e o desenvolvimento da produção agrícola. Essas intervenções no espaço geográfico, quando realizadas de maneira inadequada, levam ao uso descontrolado dos recursos naturais, causando a destruição de áreas verdes, a extinção da fauna e da flora, além de alterações significativas nos fluxos de água (Ferreira e Lopes, 2020; Machado e Garrafa, 2020; Passos et al., 2021).

Segundo Fiorese (2020), a degradação do solo impacta diversas atividades humanas, tais como a agricultura, transporte fluvial, pesca e geração de energia elétrica. O aumento da intensidade desse fenômeno em uma bacia hidrográfica pode ser responsável por gerar o assoreamento de corpos d'água.

O processo de sedimentação inclui erosão, transporte e deposição de sedimentos. Salienta-se que esse fenômeno ocorre naturalmente no meio ambiente, mas a atividade humana é responsável por sua intensificação e aceleração, visto que a erosão hídrica pode remover o solo de forma superficial ou subterrânea de forma acelerada, quando as ações antrópicas desenvolvidas sobre estes são incompatíveis com as características naturais do solo e da paisagem (Arantes, 2022).

Em nível urbano, a falta de planejamento municipal afeta diretamente a dinâmica sedimentar das bacias, o que promove a erosão do solo e aumenta a carga de sedimentos nos rios (já que após a degradação do solo, esses sedimentos acabam em corpos d'água, onde são transportados em suspensão ou ao longo do fundo do canal).

A erosão pode levar à destruição de áreas agrícolas, compactação do solo, remoção de nutrientes da camada superficial e, finalmente, ao assoreamento de corpos d'água (Sousa et al., 2017; Furtado et al., 2020; Peixoto et al., 2020; Duarte et al., 2021).

A ocorrência desse processo na superfície da terra, também promove interferências no desenvolvimento econômico e cultural, ou seja, as condições ambientais em determinada área, podem ser precursoras a perda de bens e elementos socioculturais; por meio da alteração da morfologia da paisagem, da ocorrência de eventos extremos (como movimentações de massa e inundações), da formação de voçorocas, do assoreamento de cursos d'água e da redução da produtividade do solo. Todas essas consequências impactam a natureza, o patrimônio e a vida, sendo fatores que sucedem a partir da ocupação desordenada do solo (Mandal e Mandal, 2018; Moraes e Sales, 2017; Xavier et al., 2019; Chalise, Kumar e Kristiansen, 2019).

Nas últimas décadas, as atividades humanas têm potencializado os processos erosivos através da adesão de modelos não sustentáveis de uso e ocupação do solo (Sousa e Paula, 2019; Vansan e Tomazoni, 2020).

Além disso, dentre os problemas que podem ser gerados a partir desse processo de degradação há a eutrofização (que consiste na poluição da água por excesso de nutrientes) e contaminação tóxica por metais pesados e agrotóxicos em geral (Jesus e Cabral, 2019).

Segundo a Embrapa (2017), o solo é um dos recursos naturais mais degradados do planeta. A baixa utilização de técnicas de preservação se destaca como fator determinante para o problema descrito. Destaca-se que nem sempre a atenuação natural pode ser considerada viável na recuperação dessas áreas, sendo, portanto, necessária a intervenção humana para estabilizá-las e recuperá-las.

O ato de conter processos erosivos implica em identificar a sua origem e em certas situações, compreender o seu avanço no tempo bem como a abrangência de seus impactos. A compreensão desses aspectos está sujeita a diversas características físicas, químicas, biológicas, meteorológicas e antrópicas de uma determinada área.

Ao identificar as áreas mais sensíveis, seu nível de fragilidade e suas causas, medidas podem ser tomadas para prevenir, controlar ou mitigar novas erosões (Pereira e Cabral, 2021).

Para Peixoto (2020) e Lima et al. (2021), a análise eficiente e o entendimento do transporte de sedimentos juntamente com a descarga líquida de corpos hídricos são fundamentais para o bom

planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas, ou seja, compreender melhor o comportamento hidrossedimentológico e as características do transporte de sedimento em uma bacia, permitem a adoção de medidas para a gestão e uso dos recursos hídricos.

Desta maneira, por meio de modelagens é possível realizar análises da produção de sedimentos, com o objetivo de minimizar os custos altíssimos de monitoramento em campo, sendo também possível prever cenários ambientais alternativos (Sirqueira et al., 2022).

Ademais, uma avaliação quantitativa de processos erosivos torna-se importante na gestão e monitoramento desses fenômenos para orientar a tomada de decisão e determinar áreas importantes para o controle desse fenômeno.

Dada a importância de mensurar processos erosivos, é conveniente destacar a aplicação de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para a tomada de decisão no contexto da gestão territorial e ambiental para apoiar o planejamento urbano sustentável. (Agra e Andrade, 2021; Pavanin, Chuerubim e Lázaro, 2017).

Cuevas, Campos e Zújar (2020) enfatizam o emprego de modelos com técnicas de geoprocessamento como um indicador reprodutível de áreas de interesse para todos os planejadores e gestores de bacias hidrográficas, pois permitem a identificação de áreas mais vulneráveis à erosão.

Todavia, deve-se destacar que o geoprocessamento e os softwares utilizados para esse fim são apenas ferramentas empregadas para espacializar lógicas científicas e matemáticas; sendo, portanto, necessário e primordial a entrada com dados e fórmulas capazes de representar de maneira adequada as variáveis que se pretende calcular.

Nesse artigo, a equação universal de perda de solo (EUPS) foi incorporada às ferramentas de geoprocessamento com o objetivo de se identificar as áreas com maiores potenciais erosivos na microbacia onde se insere a ocupação Vitória em Belo Horizonte, MG.

Esse é um dos modelos mais utilizados na comunidade científica para prever perdas de solo, pois sua implementação é relativamente simples devido à disponibilidade de dados de entrada, precisão na quantificação de corpos hídricos e baixos custos operacionais. Portanto, a EUPS é frequentemente utilizada por pesquisadores

interessados no tema e por equipes interdisciplinares de órgãos governamentais para apoiar a tomada de decisões. (Ketema e Dwarakish, 2021).

Conforme Tanago (1991), a Equação Universal de Perdas de Solo - EUPS, foi idealizada nos anos 60 por Wischmeier e Smith (1987) e posteriormente publicada em sua forma original no Manual 534 do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. Essa expressão considera as principais variáveis capazes de interferir na perda de solo, além disso, frente a outras metodologias, ela se destaca pela simplicidade, sem declinar da confiabilidade estatística e da robustez, já que segundo Hession et al. (1996) após testes realizados utilizando o modelo de Montecarlo o limite de confiança obtido com a EUPS foi de cerca de 90 %.

A equação em questão é uma expressão relativamente simples que retorna o fator A, que corresponde à perda de solo média anual ( $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$ ) a partir do produto de outras seis grandezas, conforme mostrado na equação 1.

$$A = R\ K\ L\ S\ C\ P \quad [1]$$

O fator R, diz respeito à erosividade da chuva e da enxurrada, o fator K se refere a erodibilidade do solo, o L corresponde ao comprimento da vertente o S é a declividade da vertente o C diz respeito ao uso e ocupação do solo e o P às práticas conservacionistas.

#### Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada na região norte de Belo Horizonte MG, a qual faz divisa com o município de Santa Luzia. Possui dimensão de 950 hectares e é conhecida como a Mata do Izidoro (local também conhecido como Granja Werneck) e possuindo uma das maiores áreas nativas do município com grande potencial hídrico – as macribacias do Onça e do Izidoro, além de ser considerada uma das últimas fronteiras de expansão urbana de Belo Horizonte.

Historicamente, a região começou a ser adquirida em 1919 pelo médico Hugo Werneck para servir de local propício a atendimentos clínicos. Com o passar dos anos sofreu forte pressão por ocupações populares. Atualmente o território abriga mais de 20 mil pessoas (Haikal, 2021).

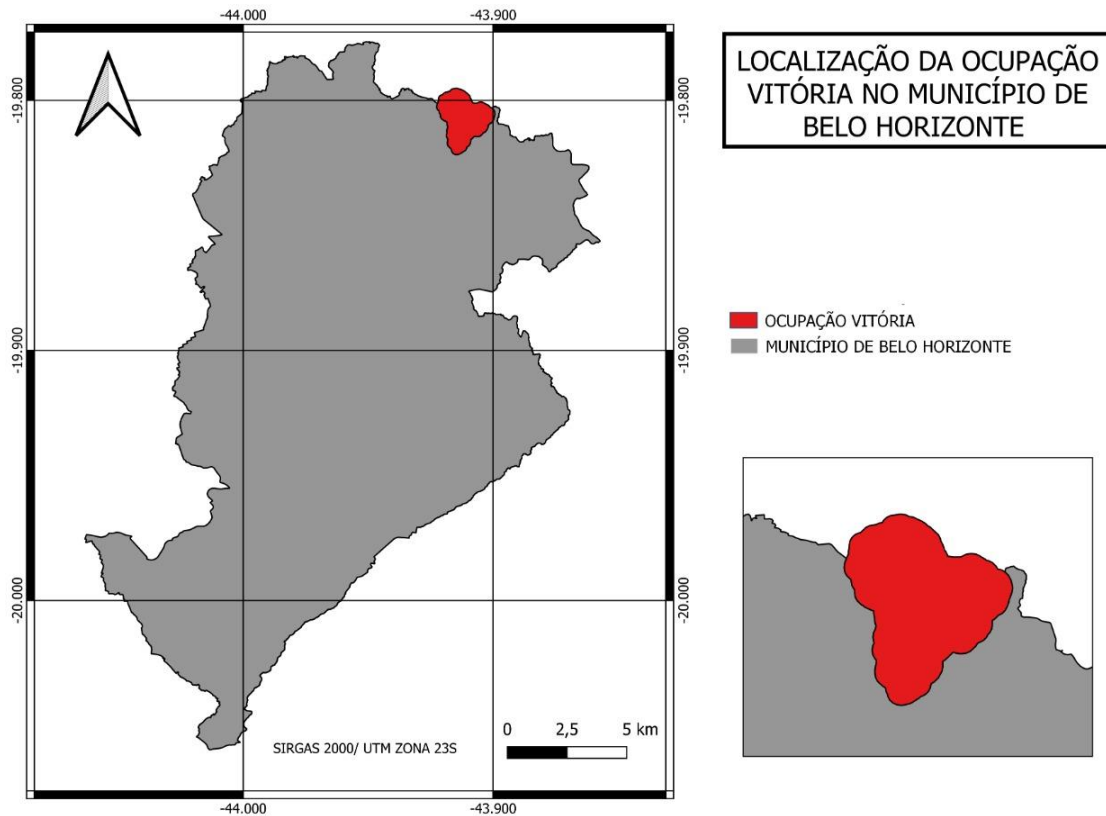


Figura 1. Localização da área de estudo no município de Belo Horizonte.

O uso predominante agrícola no passado, cedeu espaço a uma urbanização não planejada, caracterizada pelo rápido aumento das ocupações e vilas e hoje possui em seu interior as ocupações Esperança, Vitória, Rosa Leão e Helena Greco e continua enfrentando séria ameaça e pressão por ocupações imobiliárias irregulares e sem planejamento, comprometendo sua integridade ambiental apresentando, assim, graves problemas incluindo processos erosivos, assoreamento de cursos d'água, aterro de nascentes, poluição dos recursos hídricos, desmatamento acentuado de encostas e remoção de vegetação ciliar. (Coelho, 2022).

As tipologias floresta estacional semidecidual, cerrado, matas ciliares e as áreas brejosas estão presentes no local, porém, muito alteradas em face da forte pressão antrópica na região apresentando diferentes estágios de regeneração ou de degradação. A floresta estacional sofre influência do cerrado nas regiões dos interflúvios. Essa influência pode ser constatada na composição florística, uma vez que espécies comuns do cerrado são encontradas junto àquelas típicas da floresta. (Coelho, 2022).

Os brejos e as matas ciliares ocupam (ou ocupavam) um espaço significativo da extensão

estudada. Segundo levantamento feito pela PBH (2010), as matas ciliares têm o porte mais expressivo entre todas as tipologias presentes.

Recentemente o projeto de recuperação de áreas degradadas do córrego Izidoro que contempla a ocupação Vitória foi selecionado no edital promovido pelo Ministério de Desenvolvimento Regional - MDR - "Águas Brasileiras". A Ricardo Motta Pinto-Coelho - Meio Ambiente (RMPC-Meio Ambiente) reuniu uma equipe de especialistas de reconhecida competência atuando em duas universidades federais (UFMG e UNIFEI) para trabalharem junto a 4.500 famílias que residem no local no âmbito da recuperação ambiental da área.

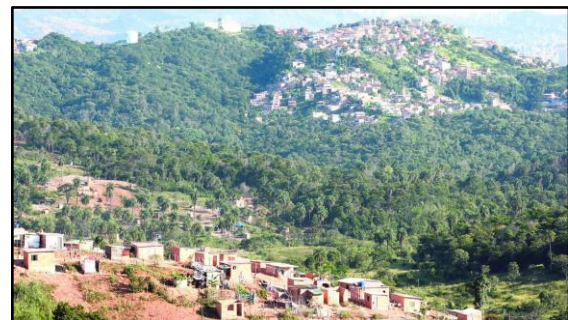


Figura 2. Ocupação Izidoro (localizada dentro da área de estudo). Fonte. Haikal (2021).

Além do impacto social, o projeto em questão visa contribuir para a preservação dos recursos hídricos da região e impedir que os processos erosivos ali presentes suprimam nascentes e provoquem assoreamento de cursos d'água. Apesar dessas consequências não serem exclusivamente locais, entende-se que os impactos

tendem a ser maiores e mais rapidamente percebidos quanto mais próxima é a fonte do sedimento. Em contrapartida, os recursos hídricos da área são os primeiros a serem beneficiados por obras e intervenções para remediar o problema em questão. A figura 3 mostra os recursos hídricos sujeitos a esse impacto direto.

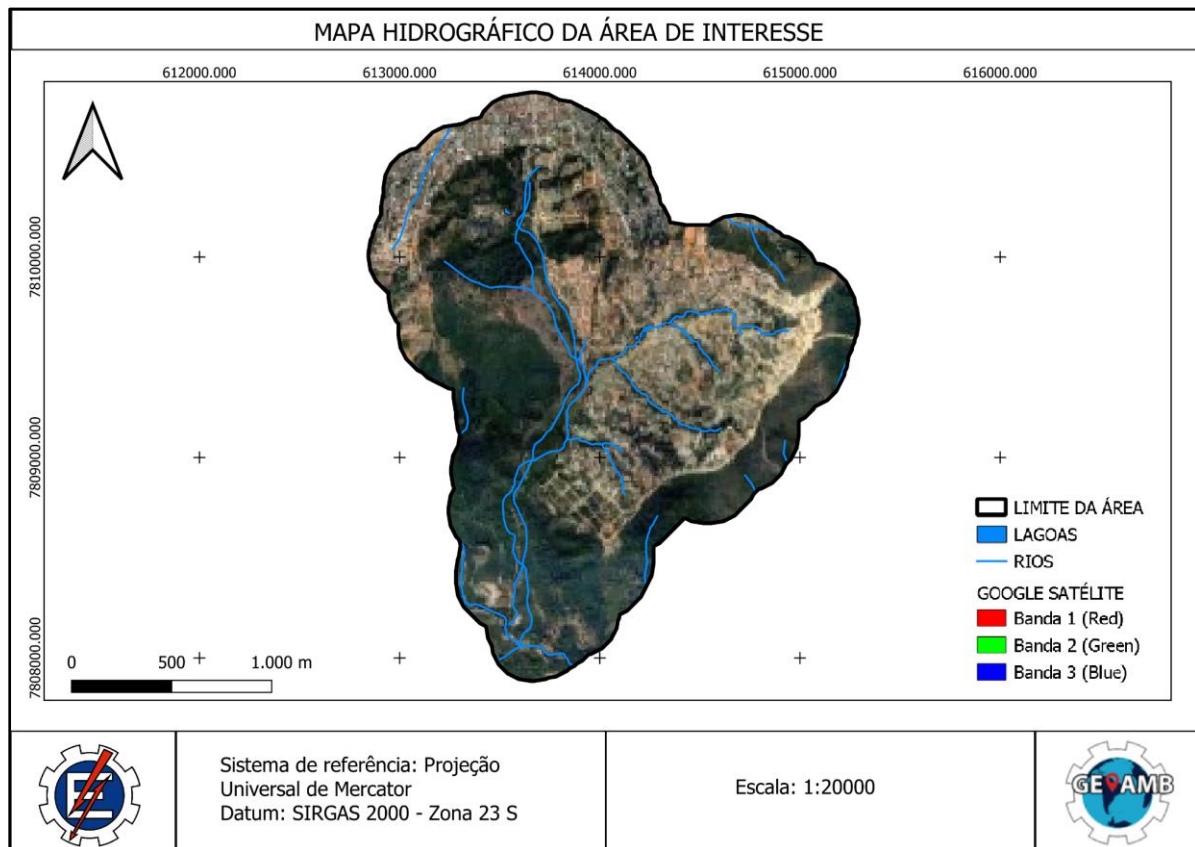


Figura 3. Mapa hidrográfico da área de interesse.

### Material e métodos

O presente trabalho emprega a EUPS a partir do cálculo de cada um dos seis fatores que a compõem. As ferramentas utilizadas para subsidiar os cálculos e a confecção de mapas são o Excel e o QGIS. A descrição da metodologia para a obtenção de cada um dos fatores, bem como dos dados meteorológicos se encontram nos tópicos a seguir.

#### Levantamento de dados pluviométricos

A base do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) foi a fonte para os dados apresentados na pesquisa. O intervalo utilizado para os cálculos foi de 1 de janeiro de 2007 a 8 de abril de 2022, considerando a precipitação mensal. Duas das estações apresentaram dados diários nulos no intervalo requerido, diante disso, esses dados foram substituídos pelos de estações próximas. Desse modo, foi possível garantir um espaço amostral que cumpre o requisito de

representar a precipitação média do local, com pouca interferência na robustez da técnica utilizada para quantificar o impacto da erosão na região em questão. Por meio da tabela 1 é possível conhecer a localização e a identificação das estações utilizadas.

**Tabela 1.** Estações meteorológicas empregadas para o cálculo da erosividade da chuva.

ID	LAT	LONG	ESTAÇÃO
1	-19.88	-43.97	A521
2	-19.93	-43.95	83587
3	-19.02	-43.43	83589



4	-19.57	-42.62	A511
5	-19.46	-44.17	A569
6	-19.89	-44.42	A535

#### Erosividade da chuva (fator R)

Dentre os diversos fatores que causam a deterioração do solo, tem-se como um dos principais o efeito da precipitação. Embora a erosão hídrica seja um processo natural e de essencial importância para manter os sistemas fluviais, quando agravada pelas alterações antrópicas, é a principal causadora da degradação física, química e biológica do solo, o que resulta em degradação ambiental, tornando os solos menos produtivos e o ambiente desequilibrado (Chalise, Kumar e Kristiansen, 2019).

A deterioração por precipitação, figurada pelo fator R, consiste na capacidade que a chuva tem de erodir o solo.

A equação em questão é expressa como a energia cinética da chuva multiplicada pela intensidade máxima desta em 30 minutos. (Sousa e Paula, 2019).

O cálculo do fator de erosividade do solo permite conhecer, ao longo dos meses, o potencial erosivo causado pela chuva, sendo possível a partir disso, entender a perda de solo ao longo do tempo. Outra aplicação para o cálculo desse fator é utilizar essa informação em conjunto com outras análises em virtude de obter um resultado mais abrangente; conforme proposto neste estudo.

A equação utilizada para obter a erosividade foi obtida a partir do trabalho de Marques, Alvarenga e Curi (1998), que realizaram esse cálculo para a região Sete Lagoas, município vizinho à região estudada. Esse fator é comumente representado como uma expressão em função da precipitação. A equação 2 mostra a função utilizada para o local estudado.

$$R = 13,37 + 0,39p + 0,04p^2 - (7,920 * 10^{-5}) - p^3 \quad [2]$$

Em que:

R: Resultado do produto da energia cinética da chuva pela sua intensidade máxima em qualquer período de 30 minutos consecutivos.

p: precipitação média mensal.

Vale ressaltar que a precipitação média é tida como variável na equação 2 pelo fato de ela ser

a única grandeza que pode sofrer flutuações ao longo do tempo. Portanto, no que diz respeito a erosividade, obter uma série histórica de dados coerente com o período estudado tem grande importância na obtenção de resultados.

Sendo assim, como fundamento para os cálculos foram consideradas estações meteorológicas da base de dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Estas são apresentadas na tabela 1. A fim de obter uma representação gráfica do comportamento da perda de solo do local, os dados de erosividade foram interpolados. Desse modo, foi possível perceber a variação dessa grandeza ao longo do espaço. Esse processo foi realizado no software QGIS.

Antes de iniciar o geoprocessamento das informações obtidas, foi necessário estruturar uma tabela no Excel com as coordenadas das estações e a erosividade calculada para cada uma delas. Este documento foi salvo no formato “Texto separado por tabulação”, em seguida ele foi inserido no “QGIS” e seu conteúdo convertido para pontos por meio da função “Adicionar camada de texto delimitada”. Por fim, por meio da ferramenta “interpolação IDW” os dados de erosividade foram interpolados empregado o método de interpolação linear ponderado pelo inverso da distância.

#### Erodibilidade do solo (fator K)

Enquanto a erosividade considera principalmente parâmetros pluviais para o cálculo de um fator diretamente proporcional à perda de solo, a erodibilidade considera as propriedades do solo para a definição de um fator que se comporta de modo semelhante.

Segundo Rosa et al. (2023), a erodibilidade do solo pode ser definida como sua vulnerabilidade ou suscetibilidade à erosão, representando a resistência intrínseca das características físicas, químicas, mineralógicas e biológicas ao destacamento e transporte de partículas.

Alguns solos são mais propensos a esse fenômeno do que outros, mesmo quando a precipitação, declividade, vegetação e práticas de manejo são as mesmas. Essa diferença está relacionada às propriedades do próprio solo.

A erodibilidade do solo depende de suas características, em especial de seus parâmetros físicos e químicos. (Wischmeier e Smith, 1978). As propriedades físicas do solo modificam a sua suscetibilidade à degradação de várias maneiras, sendo possível citar parâmetros como estrutura e textura - que dizem respeito ao agrupamento das partículas em classes de acordo com o tamanho, a

taxa de infiltração, permeabilidade, porosidade e densidade (Silva et al., 2003).

Quanto às propriedades químicas, o teor de matéria orgânica é mais significativo, entretanto sua proporção exerce mais influência em solos com textura mais arenosa (Wischmeier e Mannering, 1969).

Para a obtenção do fator K foi realizada uma pesquisa bibliográfica identificando os valores adotados nestas para a classe de solo da área de estudo.

Comprimento da vertente (fator S) e declividade da vertente (fator L)

O comprimento da vertente e a declividade tem grande influência na velocidade de escoamento da água da chuva e na quantidade de material carreado. Conforme Aslan et al. (2021) e Queiroz et al. (2021) os fatores de declividade e altura são mais importantes para a erosão do solo quando em áreas montanhosas, ou seja, áreas muito altas e íngremes.

Hembram et al. (2021) explicam que a declividade é um fator que desempenha um papel importante nos estudos de suscetibilidade à perda de solo e processos de risco natural, haja vista que esse fator controla a umidade do solo, o intemperismo físico e o crescimento da vegetação; que afetam indiretamente na umidade da área. Segundo os autores, a combinação de encostas altas e íngremes promove os riscos de processos erosivos em bacias hidrográficas.

O comprimento da encosta é uma característica topográfica que tem um grande impacto na degradação do solo. Embora as perdas de água diminuam com o comprimento da rampa, graças a maior distância percorrida pelo escoamento superficial e, por consequência, uma maior área de infiltração, a velocidade aumenta devido ao movimento uniformemente acelerado. Consequentemente, há também um aumento da capacidade de transporte de sedimentos que por sua vez resulta em uma maior perda de solo.

Desse modo, a inclinação da vertente afeta o volume de perda de solo, já que essa variável está diretamente ligada ao volume e a velocidade das enxurradas.

Quando a equação geral de perda de solo foi formada, foram analisados dois fatores denotados por L e S. Porém, na aplicação prática da equação, esses dois fatores foram considerados como um único fator, o fator topográfico ou LS (Wischmeier e Smith, 1978).

Apesar de se tratar de dados aparentemente simples, algumas variantes como as morfologias do

declive (reto, côncavo, convexo ou uma combinação de ambos) devem ser consideradas para uma implementação mais robusta da EUPS no que diz respeito aos fatores L e S. Diante disso, foram criados métodos matemáticos que consideram essas variáveis.

Um desses novos meios de descrição foi a incorporação do conceito de área de contribuição, resultando em uma nova forma de se estimar o comprimento da rampa. Assim, não apenas o comprimento da vertente é considerado, mas toda a sua área de contribuição, a montante que drena para um determinado ponto, ou pixel.

O procedimento realizado para se obter os fatores em questão se inicia com a geração de um modelo digital de elevação para a área. O mapa em questão foi gerado a partir de curvas de nível de equidistância de 5 metros, disponibilizadas pela Prefeitura de Belo Horizonte em seu site.

Foi aplicada a equação proposta por Bertoni (1959), equação 3, com o objetivo de obter os fatores descritos. A equação foi aplicada para a cidade de Campinas, mas possui a capacidade de representar de maneira satisfatória o comportamento do relevo brasileiro, partindo da relação experimental de perda de solo com diversos graus de declividade.

$$LS = 0,00984 \times C^{0,63} \times S^{1,18} \quad [3]$$

Em que:

L = fator topográfico

C = comprimento da rampa em metros

S = declividade (%)

O cálculo do fator começa com a definição do comprimento da rampa (L), denotado na equação 3 pela letra C.

Desmet e Goovers (1996) propuseram um algoritmo para cálculo automático do fator de terreno baseado no conceito de área contribuinte. Esta metodologia foi projetada para ser aplicada em um ambiente de Sistema de Informação Geográfica (GIS) usando o Modelo Digital de Elevação (MDE) e é representada pela equação 4:

$$L_{ij} = \frac{[(A_{ij-in} + D^2)^{m+1} - (A_{ij-in})^{m+1}]}{[D^{m+2} \cdot x_{ij}^m (22,13)^m]} \quad [4]$$

Em que:

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;

$x$  = 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)

Quinn et al. (1991) desenvolveram um algoritmo para calcular a área de contribuição. conforme Desmet e Goovers (1996), este algoritmo considera as 'vazões múltiplas', levando em conta a convergência e divergência das vazões, não apenas em um único plano, e assim oferece uma vantagem significativa sobre o 'fluxo único'. O resultado é uma propagação de água mais realista em superfícies topograficamente complexas.

Os coeficientes de inclinação foram calculados usando a relação desenvolvida por McCool et al (1987), representadas pelas equações 5 e 6.

$$S = 10,8 \times \sin \theta + 0,03; \text{ quando declividade} < 9\% \quad [5]$$

$$S = 16,8 \times \sin \theta - 0,5; \text{ quando declividade} \geq 9\% \quad [6]$$

Em que:

$\theta$  é o ângulo de declividade.

Quanto à aplicação dessa metodologia no QGis, foi essencialmente utilizada a calculadora de raster. A calculadora em questão foi empregada em duas etapas: a Calculadora Raster do complemento GDAL (que permite a realização de operações aritméticas com base em uma camada de entrada) e a Raster Calculator do complemento SAGA (que auxiliou no cálculo da área de contribuição, já que a primeira calculadora citada não possui a opção de calcular estruturas condicionais).

Uso e ocupação do solo (fator C) e práticas conservacionistas (fator P)

O uso e ocupação do solo têm um impacto significativo no potencial natural e na perda de solo. Duarte et al. (2021) em seu estudo da bacia do rio Juma, no sul do Estado do Amazonas, encontrou que a perda de solo foi acentuada em áreas mais vulneráveis, enquanto o cenário de perda muda significativamente em áreas vegetadas, sendo que em algumas regiões esse índice se aproxima de zero. Giovanini Júnior et al. (2022) também concluíram em todos os seus métodos de pesquisa que tanto a “terra cultivada” quanto o “solo exposto” tendem a ter maior perda de solo.

A vegetação é a proteção natural do solo contra a erosão hídrica. Os principais efeitos relacionados à ação da vegetação em face desse

fenômeno podem ser classificados da seguinte forma: Proteção direta contra os efeitos das gotas de chuva, dispersão da chuva (interceptação e evaporação das gotas antes que elas atinjam o solo), decomposição das raízes das plantas (que aumentam a infiltração de água, a partir da formação de acessos causados pela penetração dessas raízes no solo), aumento da retenção de água (melhorando a estrutura do solo pela adição de matéria orgânica), redução da velocidade da corrente superficial devido ao aumento do atrito (Bertoni e Lombardi Neto, 2012).

A perda de solo na área descoberta corresponde ao produto dos fatores R, K, L, S (haja vista que a ausência de variáveis relacionadas ao uso, ocupação e fatores conservacionistas fazem com que a interferência desses fatores tenda a zero); entretanto, se houver algum tipo de vegetação na área, as perdas são reduzidas devido à proteção proporcionada pelas plantas ao solo (Wischmeier e Smith, 1978).

O fator de uso e ocupação do solo (C) é resultado da relação entre a perda de solo de uma área com certo tipo cobertura, e esse mesmo terreno completamente descoberto (Silva, Schulz e Camargo, 2007).

O fator de prática conservacionista (P) é a razão entre a intensidade de perda esperada para uma determinada prática de conservação e a intensidade de perda esperada para essa mesma área na ausência dessas práticas (tais como terraceamento, subsolagem, cordões de vegetação permanente, plantio em nível etc.) (Bertoni e Lombardi Neto, 2012).

Convém salientar que os fatores C e P são representados em conjunto na maior parte da literatura voltada à Equação Universal de Perda de Solo. Essa união se deve a semelhança entre as duas variáveis (ambas representam a redução da erosividade frente a uma situação extrema- solo totalmente exposto e ausência de práticas intervencionistas)

O mapa de uso e ocupação do solo utilizado para essa classificação foi gerado a partir do complemento DZetsaka Classification Tool (presente no software QGis), em que permite a classificação automática da superfície de interesse com base na amostragem de regiões conhecidas e previamente identificadas pelo usuário.

Cálculo da Equação universal de perda de solo (fator A)

Após a obtenção dos fatores descritos, foi utilizada a calculadora raster do QGis para multiplicar os parâmetros, gerando então a perda



de solo para a área. Com o objetivo de atingir um resultado espacializado para o fator, esse dado foi reclassificado com base na metodologia aplicada por Guimarães (2011). O autor aplica a mesma classificação utilizada pelo departamento de agricultura dos Estados Unidos.

**Resultados e discussão**

Após a aplicação dos procedimentos citados na metodologia, foram gerados 5 mapas parciais que ao serem multiplicados originaram o fator A (perda de solo média anual). Esses mapas parciais podem ser observados na figura 4.

Quanto ao levantamento meteorológico apresentado, é de referir que, apesar das estações estarem distribuídas de maneira irregular, fora da área de interesse, elas permitiram a espacialização da erosividade calculada para cada estação (tabela 2) e sua interpolação, chegando-se à erosividade para toda a extensão da área de estudos, como apresentado na figura 4, mapa 2.

**Tabela 2.** Erosividade da chuva calculada para a localização das estações meteorológicas (dados de entrada no QGIS)

ID	LAT	LONG	ESTAÇÃO	EI <sub>30</sub>
1	-19.88	-43.97	A521	218.59
2	-19.93	-43.95	83587	214.28
3	-19.02	-43.43	83589	206.76
4	-19.57	-42.62	A511	283.65
5	-19.46	-44.17	A569	204.85
6	-19.89	-44.42	A535	212.63

A equação utilizada para mensurar esse dado foi de grande importância para o procedimento metodológico, isso porque o uso de uma equação idealizada para uma região próxima à área minimiza as variações regionais de modo a promover uma maior confiabilidade nos dados apresentados.

Vale ressaltar que conforme a classificação apresentada por Carvalho (1994) (tabela 3), a erosividade da chuva para o terreno em questão é considerada muito baixa, já que os valores identificados, após a interpolação, oscilaram entre

216,993 MJ mm (ha.h)<sup>-1</sup> e 216,716 MJ mm (ha.h)<sup>-1</sup>, contudo, embora baixa esta é o principal agente no processo erosivo na bacia e responsável pelo carreamento de sedimentos para os corpos hídricos nesta presente.

**Tabela 3.** Classificação da erosividade da chuva. Fonte: Carvalho (1994) adaptado.

CLASSIFI CAÇÃO	EROSIVIDADE MENSAL (MJ mm (ha.h) <sup>-1</sup> )
Muito alta	R > 1000
Alta	750 < R < 1000
Média	500 < R < 750
Baixa	250 < R < 500
Muito baixa	R < 250

Ainda diante dessa informação, é pertinente ressaltar que as maiores taxas de erosividade se concentram na região sul, entretanto, como o perímetro estudado é relativamente curto, a variação percebida não tem grande impacto no resultado (fator A).

O “fator K” foi obtido a partir do levantamento de mapas de solo disponíveis para a região em que são consideradas as classes de solos. Esses mapas indicaram apenas um tipo de solo para toda a área em questão, o Podzólico Vermelho-Amarelo.

Conforme Cavedon e Shinzato (2000) essa classe de solos compreende “solos minerais, não hidromórficos, com seqüência de horizontes A, BA ou A/B ou B/A sobre B textural não plúntico, com sub horizontes Bt1, Bt2 e Bt3, seguidos de um B/C e C, sem horizonte eluvial E”. Essa classe de solos possui “cores avermelhadas nos horizontes subsuperficiais, de matizes 7,5YR, 5YR e 2,5YR e uma distinta individualização em todo o perfil. São álicos ou distróficos, apresentam textura média/argilosa, às vezes cascalhenta, argilosa ou muito argilosa, sempre com atividade de argila baixa (Tb)”.

Ainda conforme os autores, a estrutura dos horizontes A é, normalmente, fraca a moderada e granular, enquanto os horizontes B, é moderadamente desenvolvida, em blocos angulares e sub-angulares. Situam-se nos terços médio e inferior dos vales encaixados em “V” e nas encostas mais íngremes dos vales de fundo chato, quando derivados de sedimentos do grupo

Barreiras e exposto por processos erosivos têm cores mais avermelhadas do que nos terços superiores. As cores vermelhas e alaranjadas dos solos têm sua origem também ligada à herança do material originário.

Conforme Vaz et al. (2021), o Podzólico vermelho amarelo é um dos tipos de solo com maior propensão a processos erosivos dentre os citados no estudo realizado por eles. Ainda com base nessa fonte os autores analisaram a erodibilidade de diversos tipos de solo encontrados no Estado de São Paulo com o objetivo de determinar a erodibilidade destes para diversos horizontes.

O valor empregado para esta variável neste estudo foi de  $0,33 \text{ MJ mm (ha.h)}^{-1}$ , obtido a partir do trabalho realizado por Sá (2004). O autor apresenta a grandeza em questão para um podzólico vermelho amarelo localizado na cidade

de Sete Lagoas- relativamente próxima a Belo Horizonte.

Com base na escala apresentada por Freire e Pessotti (1974) (tabela 4), a erodibilidade obtida para a área é considerada média.

Já quanto à erodibilidade do solo, salienta-se que o fato de haver apenas um tipo de solo faz com que ao comparar diferentes regiões dentro do limite analisado, o parâmetro em questão tenha pouca significância, entretanto, sua utilidade permanece ao atribuir peso ao resultado, já que se trata de um valor mediano de erodibilidade.

Além disso, notabiliza-se o fato do pódizólico vermelho amarelo ser um solo intemperizado, essa especificidade faz com que o dado levantado tenha uma importância considerável no resultado, ainda que sua distribuição seja igualitária para toda a área de estudo, como apresentado na figura 4.

**Tabela 4.** Classificação da erodibilidade do solo. Fonte Freire e Pessotti (1974).

CLASSIFICAÇÃO	FATOR K
Muito alta	$K > 0,50$
Alta	$0,35 < K < 0,50$
Média	$0,25 < K < 0,35$
Baixa	$0,10 < K < 0,25$
Muito baixa	$K < 0,10$

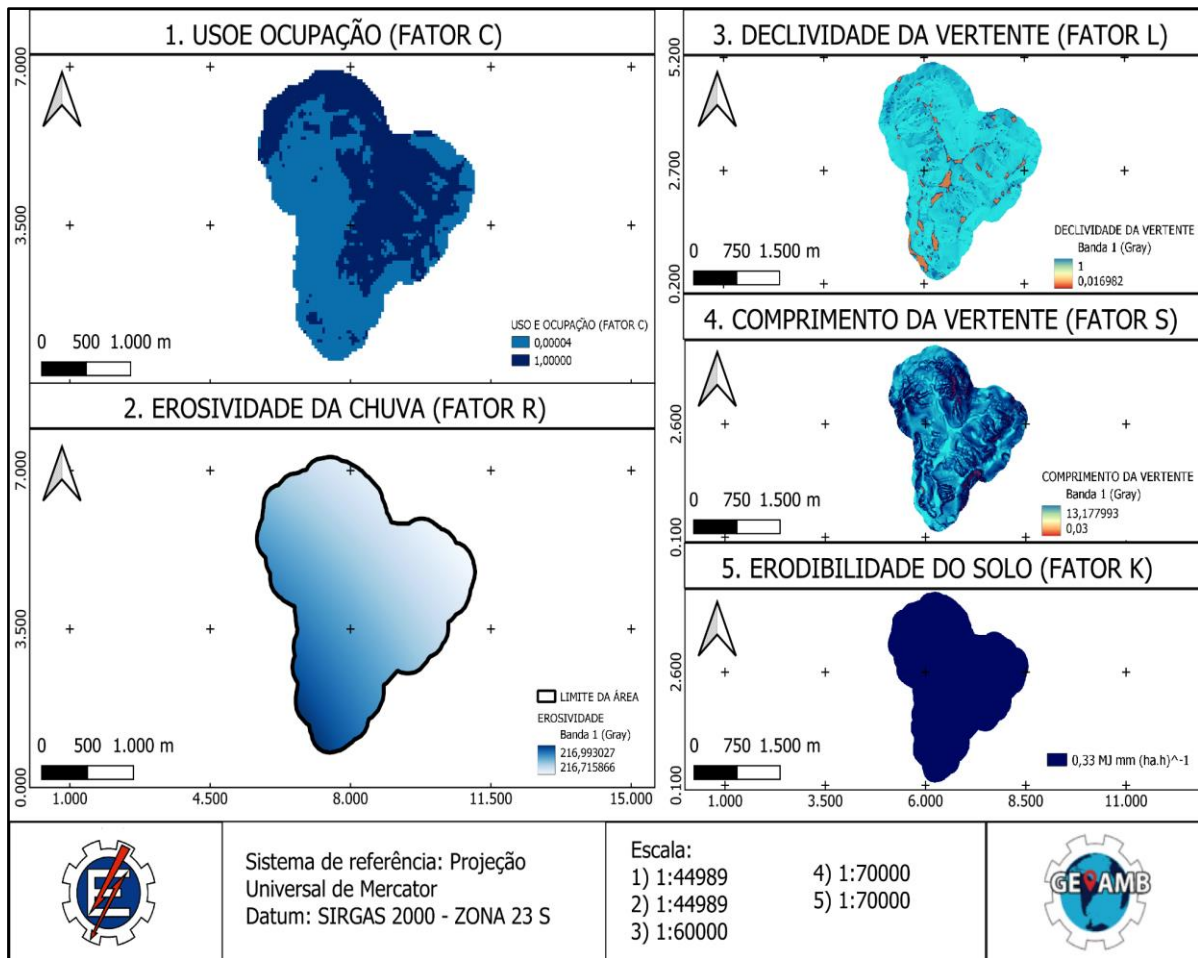


Figura 4. Fatores que compuseram a determinação da perda de solo neste artigo. Fonte. Autores (2022).

No que tange aos fatores de Comprimento e declividade da vertente, a priori, é importante enfatizar que a área está localizada em um ambiente de relevo acidentado, tipicamente conhecido como "mares de morros". Esse comportamento topográfico predomina no Estado de Minas Gerais e pode ser reconhecido por variações recorrentes no relevo, por vezes abruptas e de comprimento de vertente curto. O local em que esse estudo foi realizado possui essas características, oscilando entre topos e vales.

Quanto à declividade do terreno foi possível observar um resultado bastante plural, com regiões de declive acentuado (em sua maioria localizadas entre o topo dos morros e próximo aos rios) e outras que se aproximam de zero (especialmente encontradas em regiões de vale). Essa grandeza possui uma escala que varia entre 0 e 1, sendo que sua interpretação atribui o valor zero a menor declividade e o valor 1 a maior. Essa variação pode ser visualmente percebida observando a figura 4, mapa 3. No terreno em

questão, o resultado oscila entre 0,016 e 1 sendo que os índices mais altos dessa escala foram predominantes.

Quanto ao comprimento de rampa, destaca-se a predominância de regiões com comprimento relativamente alto. A incidência dos menores índices ocorreu em regiões de vale, de maneira semelhante ao comportamento observado na espacialização da declividade. O valor desse parâmetro oscilou entre 0,03 e 13,18, conforme pode ser percebido por meio da figura 4 no mapa 4.

Dentre os parâmetros descritos na USLE, o uso e ocupação possui grande importância, já que ele é responsável por definir a incidência ou não do potencial erosivo dos demais fatores com base no uso da área considerada. Por exemplo, em um caso em que existe uma declividade alta somada a um solo muito intemperizado e com a incidência de chuvas, é esperado uma perda de solo alta. Entretanto, como a Equação Universal de Perda de Solo consiste na multiplicação de 6 fatores, a ocorrência dessas condições atrelada a uma região

de mata fechada, faz com que a degradação do solo neste local tenda a zero. Desse modo, destaca -se a importância do fator C neste cálculo.

Quanto à superfície da área deste estudo, não existem práticas conservacionistas implantadas no local. Como descrito, a maior parte da região é formada de ocupações irregulares com baixa infraestrutura, diante disso, para este trabalho, foi desconsiderada a existência do fator P.

No que diz respeito ao fator A, após integração de todos os fatores e sua reclassificação foi possível identificar intensidades de perda de solo que variam entre “nenhuma ou ligeira” a “alta”. A perda é mais intensa na região onde estão localizadas as residências. Em contrapartida, as regiões em que foi atribuído um valor baixo ao fator “C” resultaram em uma baixa perda de solo no resultado, demonstrando a importância da cobertura vegetal nestas áreas. Esse comportamento pode ser observado na figura 5, que representa o resultado deste trabalho.

Neste trabalho foram identificadas 3 classes: áreas urbanas, solo exposto e áreas vegetadas. O fator C foi obtido a partir de análises realizadas nas publicações de Uema et al (2023) e Oliveira et al. (2023). Vale ressaltar que a área de interesse deste trabalho possui certas particularidades que resultaram na necessidade de adaptar a classificação deste fator. Essa adaptação se justificou pelo fato de as referências encontradas classificarem áreas antrópicas (ou urbanas) com valor de “C” igual a zero.

Em contrapartida, ao observar a superfície de interesse e o mapa de uso e ocupação, é possível perceber que a área urbana é composta basicamente por ruas sem pavimentação e os lotes onde se encontram as edificações são, também, sem impermeabilização em sua quase totalidade, atribuindo a estas regiões características que levam a um fator C semelhante ao de regiões de solo exposto. Esse fato se justifica por problemas de infraestrutura, a exemplo da ausência de pavimentação, estruturas de drenagem e planejamento urbano.

Desse modo, a área residencial é majoritariamente composta por solo exposto, portanto, para fins de cálculo, também foi atribuída à classificação de solo exposto à região urbana.

Diante dos problemas de infraestrutura já citados e da presença abundante de solo exposto, grande parte da superfície de interesse foi

classificada com o valor 1 (tabela 5), valor máximo para essa grandeza. Em contrapartida, uma área de dimensões aproximadas recebeu a classificação de  $4 \times 10^{-5}$  (tabela 5) que continha como cobertura a vegetação, ainda presente no entorno da ocupação. Esse resultado pode ser visualizado a partir da figura 4, mapa 1.

**Tabela 5.** Usos e ocupação do solo identificados na área de estudo. (dados de entrada no QGis)

ID	USO E OCUPAÇÃO	FATOR C
1	VEGETAÇÃO	0,00004
2	ÁREA URBANA	1,00000
3	SOLO EXPOSTO	1,00000

Com a integração de todos estes fatores, obteve-se a espacialização da perda de solo média anual para a área de estudo. Percebe-se pela figura 5, que as regiões que apresentaram maiores perda do solo são as regiões da ocupação, principalmente ao longo da hidrografia, locais onde somam-se as declividades acentuadas, maiores comprimentos de vertente e a presença da área urbana somada à presença de solo exposto. Resultado semelhante ao encontrado por Andrade et al. (2022), em seu trabalho o autor resalta que os processos erosivos ainda podem colocar em risco a estrutura das casas, rede elétrica e a população residentes, quando em alto estágio de evolução em um local de ocupação residencial mal planejada.

Resultado também semelhante foi encontrado por Weis et al. (2022), em seu estudo empregando imagens de alta resolução espacial e modelos hidrológicos para uma região em Rondonópolis, sudeste de Mato Grosso. Neste trabalho os autores observaram que as áreas com maiores incidência de erosão se concentravam próximas aos cursos hídricos, visto que a direção de fluxo simula o caminho que a água e os sedimentos percorrem através da topografia da área de estudo, e esse processo associado a declividade do terreno, aos tipos de usos da terra e a intensidade pluviométrica, caracterizam-se como os principais fatores condicionantes dos processos erosivos.

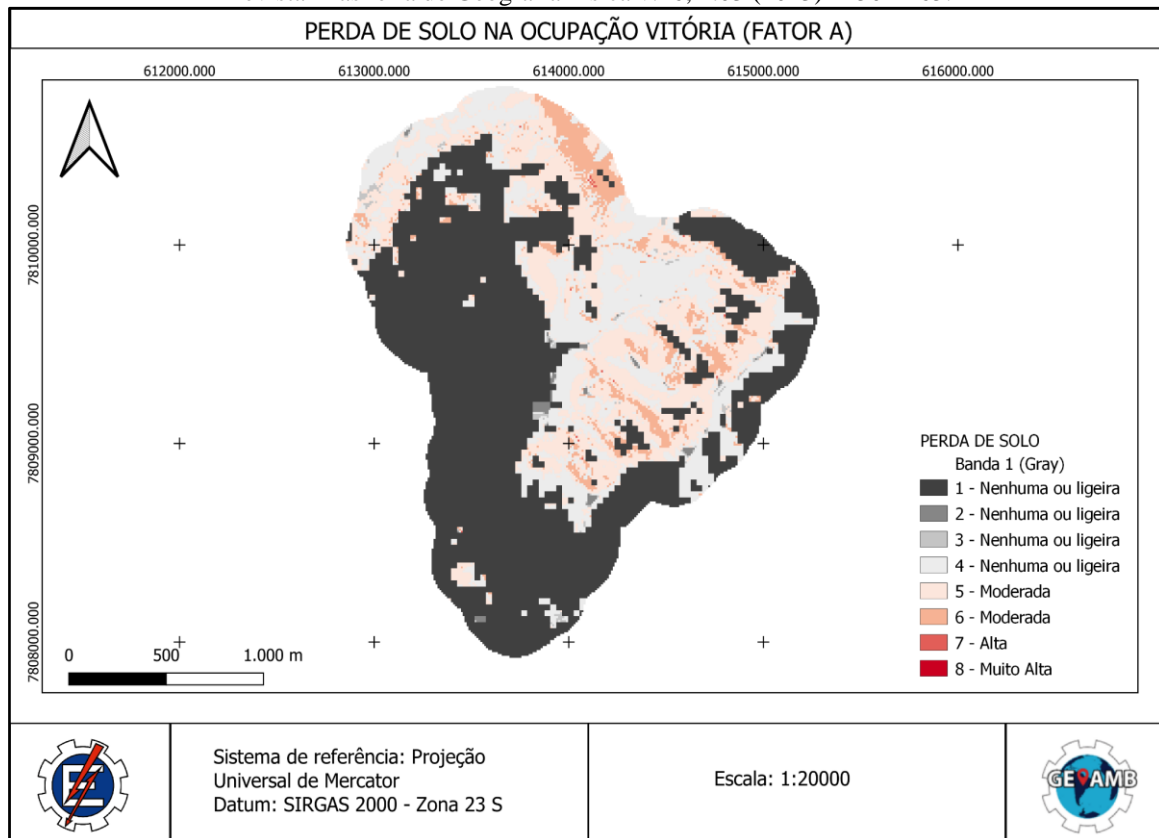


Figura 5. Espacialização da perda de solo (fator A) na Região do Izidoro. Autores (2022)

## Conclusões

Os resultados obtidos a partir desse trabalho permitiram identificar e quantificar as áreas de maior vulnerabilidade à erosão na bacia do Izidoro e conseqüentemente na ocupação Vitória. Para alcançar esses resultados, foram considerados os principais fatores capazes de interferir na perda de solo, tais quais, a precipitação, o tipo de solo, sua cobertura, a declividade e o comprimento de vertentes.

Por meio da integração desses fatores foi possível perceber um espectro erosivo bastante amplo, ou seja, foram identificadas áreas em que a perda de solo é desprezível e outras em que essa grandeza é considerada alta. Ao analisar esses valores e relacioná-los aos elementos presentes na região ficou claro que a erosão existente na área é quase totalmente causada por atividades antrópicas.

A falta de planejamento e infraestrutura urbana é a principal fonte do acelerado processo erosivo que pode ser percebido na região. Como forma de atenuar os problemas observados na área, vale considerar a implementação de práticas conservacionistas, associadas a recuperação de

áreas degradadas e a implementação de obras de drenagem e pavimentação das ruas.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à equipe do projeto “Recuperação de Áreas Degradadas do Córrego Izidoro, Belo Horizonte - MG”, projeto selecionado no edital promovido pelo Ministério de Desenvolvimento Regional – MDR- “Águas Brasileiras” (março de 2021), e coordenado pela A RMPC - Meio Ambiente, reunindo uma equipe de especialistas de universidades federais e privadas (UFMG, UNIFEI, FUNCESI) para trabalharem junto a centenas de famílias que residem na Ocupação Vitória.

## Referências

Andrade, L.A., Bezerra, J.F.R., Morais, M.S., Lisboa, G.S., Guedes Pinto, E.J., Matos, M.V.C., 2022. Análise Geomorfológica e processos erosivos acelerados na bacia hidrográfica do Rio Tibiri, Ilha do Maranhão. Revista Formação, 29, n54, 593-618. Disponível: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/formac>



- ao/article/view/8172/6829. Acesso: 30 mar 2023.
- Agra, R.M.R.T., Andrade, C.D., 2001. Análise Multicritério da Suscetibilidade à Erosão na Bacia Hidrográfica do Rio da Batateira, CE. *Revista Brasileira de Cartografia*, 73, n. 1, 119-133. Disponível: <https://doi.org/10.14393/revbrascartogr>. Acesso em: 03 Out. 2022.
- Antunes, H., 2017. Degradação do solo pode prejudicar milhões de brasileiros, EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/29735319/degradacao-do-solopode-prejudicar-milhoes-de-brasileiros>. Acesso: 03 Out. 2022.
- Arantes, A. E., 2022. Suscetibilidade à Erosão Laminar da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho e a sua Relação com o Uso e Cobertura da Terra em 2012. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15, n. 06, 3032-3046. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/download/253618/42874>. Acesso: 30 mar 2023.
- Aslam, B., Maqsoom, A., Alloul, W.S., Musarat, M.A., Jabbar, T., Zafar, A., 2021. Soil erosion susceptibility mapping using a GIS-based multi-criteria decision approach: Case of district Chitral, Pakistan. *Ain Shams Engineering Journal*, 12, n. 2, 1637-1649.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F., 2012. *Conservação do solo*. 8. ed. São Paulo: Ícone Editora, 355 p.
- Bertoni, J., 1959. O espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. *Bragantia*, 18, 113-140.
- Carvalho, N., 1994. Erosão Crescente na Bacia do São Francisco. *Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Recursos Hídricos*. 13, 5-19.
- Cavedon, A.D., Shinzato, E., 2000. *Levantamento de Reconhecimento de Solos. Projeto Porto Seguro/Santa Cruz Cabralia*. Salvador: CPRM-SUREG/AS.
- Chalise, D., Kumar, L., Kristiansen, P., 2019. Land degradation by soil erosion in Nepal: A review. *Soil Systems*, 3, n. 1, 12.
- Chaves, H., 2010. Incertezas na predição da erosão com a Usle: *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 34, 2021-2029.
- Coelho, R.M.P., 2022. Recuperação de áreas degradadas no córrego Isidoro, Belo Horizonte, Área de estudos, Rmpc Ecologia, s.d. Disponível: [http://www.rmpcecologia.com/isidoro/area\\_est\\_est.htm](http://www.rmpcecologia.com/isidoro/area_est_est.htm). Acesso: 03 Out. 2022.
- Colodro, G., Carvalho, M.P., Roque, C.G., Prado, R.M., 2002. Erosividade da chuva: Distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26, n. 1, 809-818.
- Desmet, P. J. J., Govers, G., 1996. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of soil and water conservation*, v. 51, n. 5, p. 427-433.
- Cuevas, P. D., Campos, A. P., Zújar, J. O., 2020. Developing a beach erosion sensitivity indicator using relational spatial databases and Analytic Hierarchy Process. *Ocean & Coastal Management*, v. 189, p. 105-146.
- Duarte, M. L., Filho, E. P. S., Costa, H. S., Silva, T. A., 2021. Soil Erosion Assessment Using RUSLE Model and GIS in Juma Watershed, Southern Amazonas State. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.14, n.05, 2931-2945. ISSN:1984-2295. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/247843>. Acesso: 10 out. 2022.
- Ferreira, M. C.; Lopes, J. F., 2020. O Crescimento Populacional e os Impactos Ambientais. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. Ano 05, Ed. 06, Vol. 02, pp. 188-195. Junho de 2020. ISSN: 2448- 0959. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/meio-ambiente/crescimento-populacional>. Acesso: 10 out. 2022.
- Fiorese, C. H. U., 2020. Vulnerabilidade atual e natural à erosão do solo na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Floresta, no município de Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo, Brasil. *Labor & Eng.*, 14, 1-13. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/labore/article/view/8659873/25565>. Acesso: 18 de set. 2022.
- Freire, O., Pessotti, J. E. S., 1974. Erodibilidade dos solos do Estado de São Paulo. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, 31, 333-350.
- Furtado, L. G. et al., 2020. Transformações do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Murucupi, Barcarena, Pará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13, 2340-2354.
- Guimarães, R. Z. et al., 2011. Espacialização da perda de solo por erosão laminar na microbacia do rio Campinas, Joinville SC. *Raega-o espaço geográfico em análise*, 23.
- Haikal, F., 2021. Acordo regulariza parte da ocupação Izidora, em BH, e garante moradia para 5,6 mil famílias. *Hoje Em Dia*. Disponível



- em:  
<https://www.hojeemdia.com.br/minas/acordo-regulariza-parte-da-ocupac-o-izidora-em-bh-e-garante-moradia-para-5-6-mil-familias-1.670362>. Acesso: 18, jun, 2022
- Hembram, T. K., Saha, S., Pradhan, B., Maulud, K.N.A., Alamri, A.M., 2021. Robustness analysis of machine learning classifiers in predicting spatial gully erosion susceptibility with altered training samples. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12, 794-828.
- Hession, W.C., Storm, D.E., Haan, C.T., 1996. Two-phase uncertainty analysis: An example using the universal soil loss equation. *Transactions of the ASAE*, 39, n. 4, 1309-1319.
- Giovanini Junior, N.G., Carvalho, M.B., Lima, C.G.R., Lollo, J.A., 2022. Cross assessment of erosive processes with methodologies for quantifying soil loss. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15, n. 02, 1142-1152. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/251798>. Acesso: 03 Out. 2022.
- Ketema, A., Dwarakish, G. S., 2021. Water erosion assessment methods: a review. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 27, n. 4, 434-441.
- Lima, J., Nunes, D.D., Checchia, T.E., 2021. Aplicação do modelo SWAT como ferramenta para análises hidrossedimentológicas na bacia hidrográfica do Rio Mutum Paraná-RO. *Geosul*, 36, 434-453.
- Machado, I.L.O., Garrafa, V., 2020. Proteção ao meio ambiente e às gerações futuras: desdobramentos e reflexões bioéticas. *Saúde em Debate*, 44, 263-274.
- Mandal, B., Mandal, S., 2018. Analytical hierarchy process (AHP) based landslide susceptibility mapping of Lish River basin of eastern Darjeeling Himalaya, India. *Advances in Space Research*, 62, n. 11, 3114-3132.
- Marques, J.J.G.S.M., Alvarenga, R.C., CURI, N., 1998. Erosividade das chuvas da região de Sete Lagoas, MG. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 33, 761-768.
- Mccool, D.K., Brown, L.C., Foster, G.R., Mutchler, C.K., Meyer, L.D. 1987. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE*, 30, 1387-1396.
- Morais, R.C., Sales, M.C.L., 2017. 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*, 27, 84-105. Disponível: <http://periodicos.pucminas.br/index.php/geogra>  
<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/254805/43158>. Acesso: 30 mar 2023.
- Nanzer, M.C., Ensinas, S.C., Barbosa, G.F., Barreta, P.G.V., Oliveira, T.P., Silva, J.R.M., Paulino, L.A., 2019. Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 18, 136-145.
- Oliveira, L.D., Alves, W.S., Castro, R.M., Pereira, M.A.B., Morais, W.A., Possa, E.M., 2023. Estimativa da erosão hídrica em uma bacia hidrográfica no estado de Goiás (Brasil) por meio de modelagem e inteligência geoespacial. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16, n01, 081-100. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/254805/43158>. Acesso: 30 mar 2023.
- Passos, F.O., Silva, B.C., Silva, F.G.B., 2021. Avaliação de Impactos de Mudanças no Uso e Manejo do Solo Sobre as Vazões da Bacia Hidrográfica do Ribeirão José Pereira, Utilizando o Modelo SWAT. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14, 619-633. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/244450>. Acesso: 30 mar 2023.
- Pavanin, E.V., Chuerubim, M.L., Lázaro, B., 2017. Geoprocessamento aplicado ao estudo de vulnerabilidade do solo da bacia hidrográfica do córrego Guaribas em Uberlândia-MG. *REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, 13, 17-31.
- Peixoto, R.A.O., Pereira, C.E., Salla, M.R., Alamy Filho, J.E., Nishimura, A., 2020. Determinação da relação entre vazões líquida e sólida e análise de fatores que influenciam a dinâmica do transporte de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Jordão (UPGRH-PN 1). *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 25, 921-931.
- Pereira, M.D.R., Cabral, J.B.P., 2021. Perda de solo no alto curso das bacias hidrográficas dos ribeirões Taquaruçu Grande e Taquaruçuzinho, Palmas (TO). *Revista Brasileira de Geografia Física* 14, 332-339. ISSN:1984-2295. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/248035>. Acesso: 10 out. 2022.
- Queiroz, K.B., Ribeiro, G N., Francisco, P.R.M., Silva, V.V., Santos, D., 2021. Potencial natural de erosão e limite de tolerância de perdas de solo na bacia hidrográfica do açude do Namorado, Paraíba. *Revista Geama* 7, n.3, 36-48. Disponível:

- <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/4365>. Acesso: 10 out. 2022.
- Quinn, P., Beven, K., Chevallier, P., Planchon, O., 1991. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. *Hydrological processes*, 5, n. 1, 59-79.
- Rosa, L.E., Cherem, L.F.S., Siame, L., 2023. O papel de fatores naturais e antrópicos na variabilidade da perda de solos no estado de Goiás entre 1985 e 2018. *Sociedade e Natureza*, 35, 1-16. Disponível: <https://www.scielo.br/j/sn/a/zZmQh5cpYLQYPgX8xFLdjBb/abstract/?lang=en>. Acesso: 30 mar 2023.
- Sá, M.A.C., Lima, J.M., Curi, N., Massaroto, J.A., Marques, J.J.G.S.M., 2004. Estimativa da erodibilidade pela desagregação por ultra-som e atributos de solos com horizonte B textural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39, 691-699.
- Sirqueira, E.S., Almeida, F.T., Souza, A.P., Araújo, H.B., Zolin, C.A., Paulista, R.S.D., 2022. Avaliação das perdas de solo pela MUSLE em uma microbacia hidrográfica no ecótono Cerrado-Amazônia. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15, 2430-2447. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/viewFile/253911/41854>. Acesso: 31 mar 2023.
- Silva, A.M., Schulz, H.E., Camargo, P.B., 2007. Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas. São Carlos, RiMa. 2ª edição.
- Silva, M.L.N., Curi, N., Lima, J.M., Ferreira, M.M., 2000. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de Latossolos brasileiros. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 35, 1207-1220. Disponível: <https://www.scielo.br/j/pab/a/mBFd6k55QcgJ6cpZFKSPccx/?lang=pt>. Acesso: 23 de set. 2022.
- Sousa, F.R.C., Paula, D.P., 2019. Análise de Perda do Solo por Erosão na Bacia Hidrográfica do Rio Coreau (Ceará-Brasil). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 20, n. 3. Disponível: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v20i3.1393>. Acesso: 23 de set. 2022.
- Sousa, L.M., Adami, M., Lima, A.M.M., Ramos, W.F., 2017. Avaliação do uso e cobertura da terra em Paragominas e Ulianópolis-PA, utilizando dados do projeto TerraClass. *Revista Brasileira de Cartografia*, 69, n. 3, 421-431.
- Tánago, M.G., 1991. La ecuación universal de pérdidas de suelo. Pasado, presente y futuro. *Ecología*, v. 133-150.
- Uema, D.Y., Santil, F.L.P., Bonifácio, C. M., 2023. Comparação da perda de solos em bacias hidrográficas de diferentes escalas por meio da EUPS no Noroeste do Paraná. *Geofronter*, 9, 01-20. Disponível: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/GEOF/article/view/7370/5313>. Acesso: 30 mar 2023.
- Vansan, A.P., Tomazoni, J.C., 2020. Uso de técnicas de geoprocessamento para estudo da erosão hídrica laminar em microbacia hidrográfica do sudoeste do Paraná. *Revista Brasileira de Geografia Física* 13, 1117-1131.
- Vaz, A.P.M.S., Ramos, S.M., Froehner, S.J., 2021. Bacia hidrográfica do rio balsas: diagnóstico físico e avaliação qualitativa de áreas suscetíveis à erosão. *Eng. Sanit. Ambient.*, 26, n.1, 77-87.
- Weis, M.G., Silva, N.M., Pessi, D.D., Barbosa, D.S., Moreira, R.M., Luiz, R.B., Paranhos Filho, A.C., 2022. Identificação de processos erosivos através de modelos hidrológicos e imagens aéreas de alta resolução. *Nativa*, Sinop, 10, 387-390. Disponível: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/13543/11446>. Acesso: 30 mar 2023.
- Wischmeier, W.H., Mannering, J.V., 1969. Relation of soil properties to its erodibility. *Soil science society of America journal*, 33, n. 1, 131-137.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Department of Agriculture, Science and Education Administration.
- Xavier, J.P.S., Barros, A.H.C., Webber, D.C., Accioly, L.J.O., Marques, F. A., Araújo Filho, J.C., Silva, A.B., 2019. Estimativa da erosividade da chuva por diferentes métodos e seu impacto na equação universal de perdas de solo, no semiárido pernambucano. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12, 859-875. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/236841/32642>. Acesso: 23 de set. 2022.