

ANALISE DA SUSCEPTIBILIDADE À ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA APA DO RIO UBERABA

Joyce Cristina Tiago Pereira¹; Vinicius Américo Alves¹; Renato Carneiro Fernandes da Silva²; Leonardo Campos de Assis²; Francienne Gois Oliveira²

¹Escola Estadual Professora Corina de Oliveira; ²Universidade de Uberaba
E-mail do responsável: francienne.oliveira@uniube.br

RESUMO

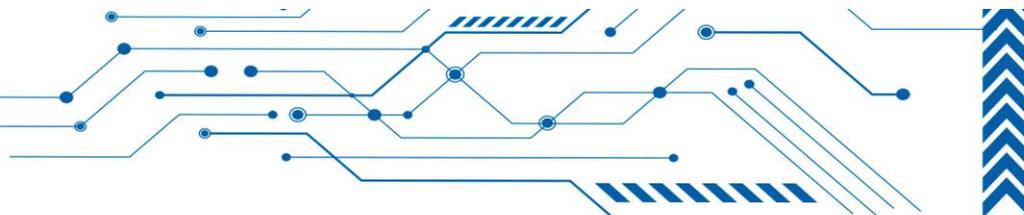
A Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Uberaba é uma unidade de conservação vital, cujos mananciais desempenham um papel crucial no abastecimento público de Uberaba. Localizada dentro dos limites urbanos da cidade e abrigando agricultores em sua área de influência, a APA busca harmonizar a preservação ambiental com o desenvolvimento econômico regional. Este estudo propõe uma pesquisa que requer diversos estudos para compreender a relação entre o homem e a natureza. Indicadores como índices de declividade, que mostram a inclinação do terreno, e índice de compacidade, que avalia a regularidade de uma bacia hidrográfica, são fundamentais para essa análise. O objetivo deste estudo é examinar as bacias hidrográficas dentro da área de influência, desde o ponto de captação de água até a identificação das bacias suscetíveis a escoamento superficial ou inundações, por meio de modelagem de terreno. Essa abordagem visa fornecer informações essenciais para o planejamento e gestão ambiental, visando a mitigação de desastres naturais e a conservação dos recursos hídricos na região.

Palavras-chave: Enxurrada; Drenagem; Compacidade; Declividade.

ABSTRACT

The Environmental Protection Area (APA) of the Uberaba River is a vital conservation unit, whose springs play a crucial role in the public supply of Uberaba. Located within the urban limits of the city and housing farmers in its area of influence, APA seeks to harmonize environmental preservation with regional economic development. This study proposes research that requires several studies to understand the relationship between man and nature. Indicators such as slope indices, which show the slope of the terrain, and compactness index, which evaluates the regularity of a river basin, are fundamental for this analysis. The objective of this study is to examine the river





basins within the area of influence, from the point of water capture to the identification of basins susceptible to flash floods or floods, through terrain modeling. This approach aims to provide essential information for environmental planning and management, aiming to mitigate natural disasters and conserve water resources in the region.

Keywords: Flood; Drainage; Compactness; Slope.

1. INTRODUÇÃO

O principal objetivo da Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Uberaba é garantir a preservação de seus mananciais hídricos, buscando a qualidade destas águas, bem como o uso múltiplo e racional deste bem (Uberaba, 2006).

Se por um lado a cidade e seus habitantes necessitam da água do rio para seu abastecimento em quantidade e qualidade viáveis, por outro os produtores da bacia também necessitam, seja para a agricultura, seja para a dessedentação de suas criações ou para o próprio consumo. Portanto é necessário preservar, conservar e garantir a disponibilidade hídrica dos mananciais.

Um olhar crítico a montante da captação, buscando preservação integrar a e o desenvolvimento econômico da região, poderá futuramente evitar crises e disputas territoriais.

Um exemplo é a criação do selo de qualidade APA Rio Uberaba (Uberaba, 2002). São várias as recomendações, mas a principal delas é a criação deste programa que torna viável a gestão participativa e interativa em prol do uso racional (SRTM) contém falhas em áreas do globo, originadas, da água, minimizando os conflitos, viabilizando a qualidade de vida e garantindo o desenvolvimento equilibrado, ou seja, desenvolvimento sustentável proporcionando à comunidade o crescimento socioambiental na medida certa (Uberaba, 2002).

Por se tratar de uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável (UCUS), a APA possui um Conselho Gestor e um instrumento normativo para ocupação, o Plano de Manejo. Estes instrumentos de gestão dos recursos hídricos devem ser empregados para regular a ocupação da área, bem como para definir restrições ou adequações, eventualmente necessárias.

Considerando que a região tem histórico de eventos extremos de precipitação causadores de escoamento superficial, especialmente comuns na zona urbana central da cidade de Uberaba e pelo fato da APA se tratar de uma área cuja ocupação, de modo racional, é de interesse para o desenvolvimento da cidade, objetivou-se com este estudo avaliar a susceptibilidade à escoamento superficial nas sub-bacias hidrográficas que compõem a APA, de modo a



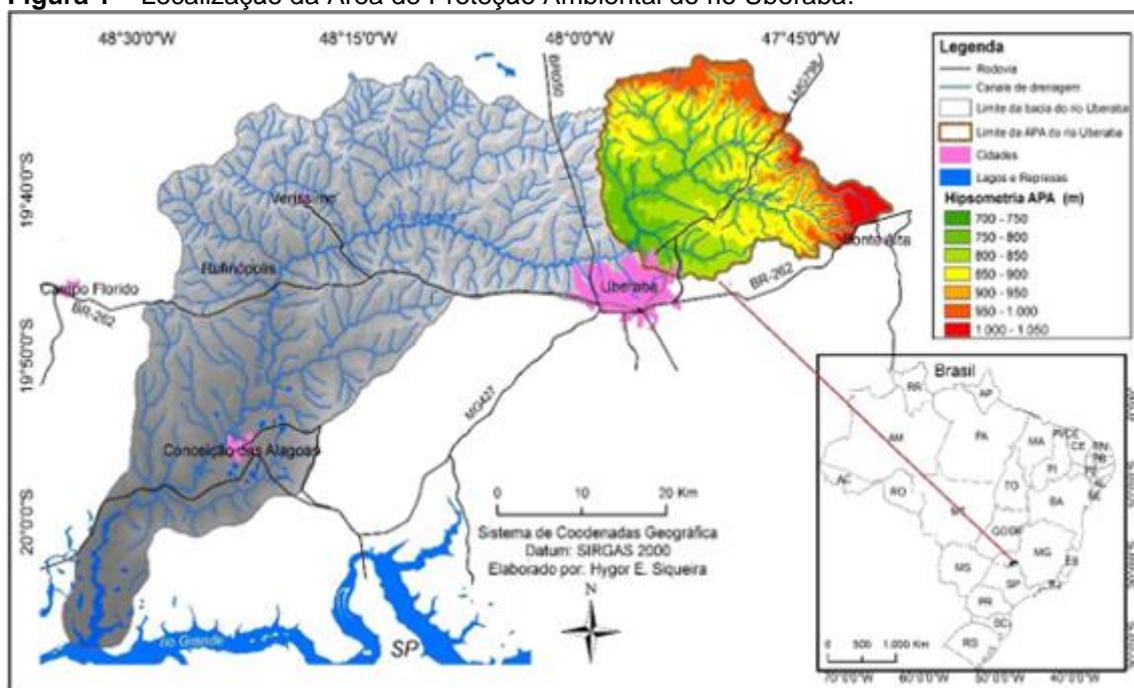
fornecer subsídios técnicos para estabelecimento de políticas públicas para orientação quanto à sua ocupação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Caracterização da área de estudo

A Área de Proteção Ambiental (APA) do rio Uberaba localiza-se entre as coordenadas geográficas 19.51° e 19.74° sul e 47.64° e 47.98° oeste, no município de Uberaba, Minas Gerais, Brasil. A área estimada da APA do Rio Uberaba é de 528,1 km², foi constituída legalmente pela Lei Municipal nº 9.892/2005 (Figura 1). Está delimitada geograficamente pelas sub-bacias com foz no curso principal do rio Uberaba, situadas a montante do ponto de captação para posterior tratamento e abastecimento público. É uma importante Unidade de Conservação de Uso Sustentável, e seus principais objetivos de criação são garantir o uso racional dos recursos naturais aliados à preservação da quantidade e da qualidade dos recursos hídricos que abastece a cidade de Uberaba - MG.

Figura 1 – Localização da Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba.



Fonte: Siqueira et al., 2022.

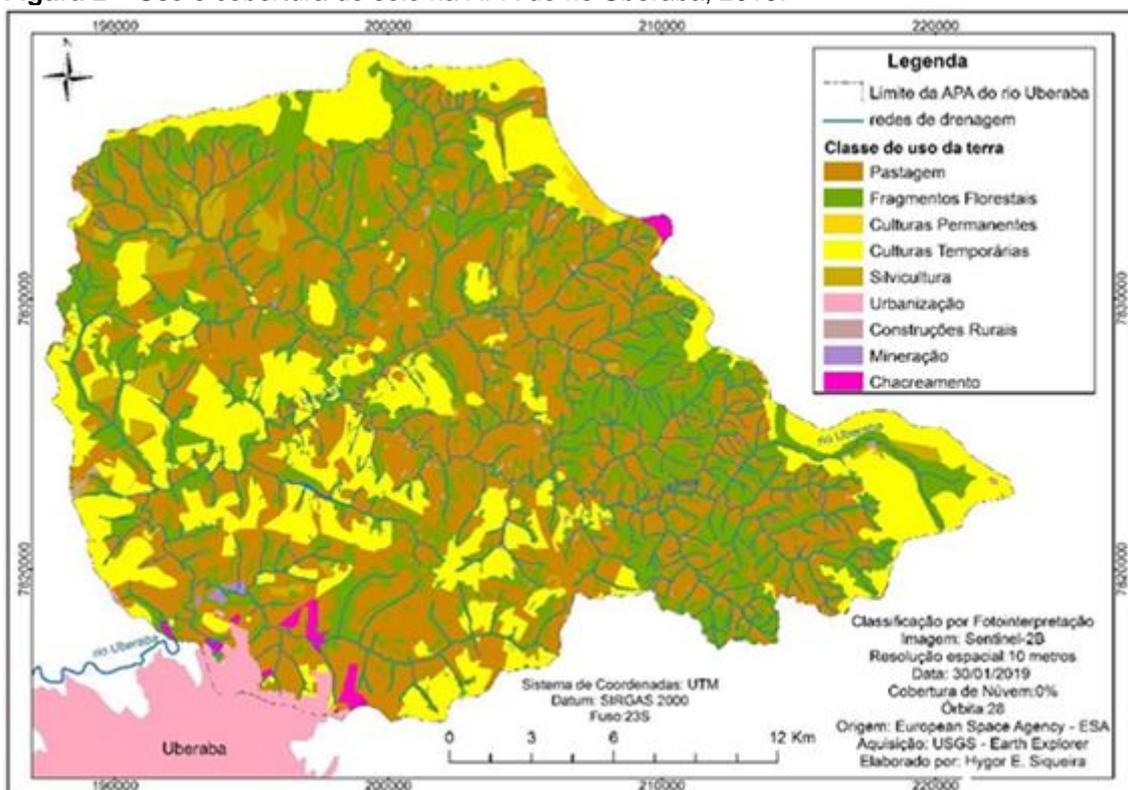
A APA do rio Uberaba está inserida em uma região, em que o clima está classificado como Tropical semissecos meridional dos patamares do chapadão Uberlândia/Uberaba e do planalto de Araxá, no clima zonal quente de domínio Tropical, com influência da Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Possui um período chuvoso

definido de novembro a março com precipitações mensais variando de 100 mm a 300 mm e com seis meses secos correspondendo aos meses de abril a setembro com precipitações abaixo de 100 mm, totalizando uma precipitação pluviométrica anual de 1350 a 1600 mm (Novais et al., 2018).

De acordo com Siqueira et al. (2022), a Geomorfologia da APA do rio Uberaba é caracterizada por relevos suavemente planos localizados no Pediplano, em altitudes variando de 1000 m a 1050 m com declividade inferior a 3%; Dissecado homogêneo de topo convexo nas rupturas do Pediplano, no qual se localizam as nascentes em anfiteatros Alveolares com altitudes entre 950 a 1000 m e declividades entre 20% e 45%; Rampa de colúvio com altitudes variando de 900 a 950 m com declive entre 8% e 20%; e Dissecado homogêneo de topo tabular com altitudes inferiores a 900 m e com declividades entre 3% e 8%.

O uso e cobertura da terra é variado, sendo a pecuária predominante na região do Triângulo Mineiro. Na APA do rio Uberaba, o uso da terra caracteriza-se por atividades agrícolas, como o cultivo de grãos (soja, milho e café), pastagens naturais e cultivadas para a criação de gado de leite e de corte, silvicultura e mineração de cascalhos, basalto e de solo para construção civil, como pode ser observado na Figura 2 (Siqueira et al., 2022).

Figura 2 – Uso e cobertura do solo na APA do rio Uberaba, 2019.

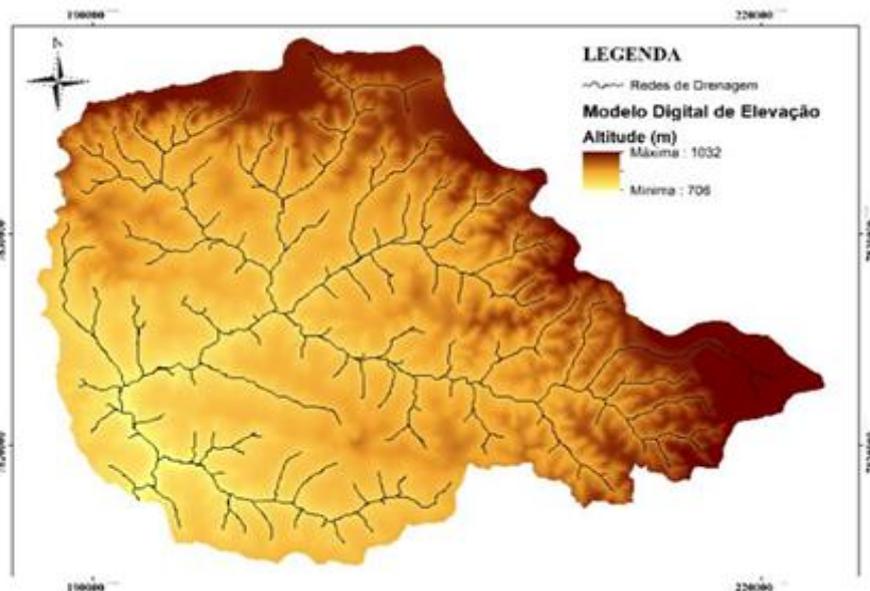


Fonte: Siqueira et al., 2022.

3. METODOLOGIA

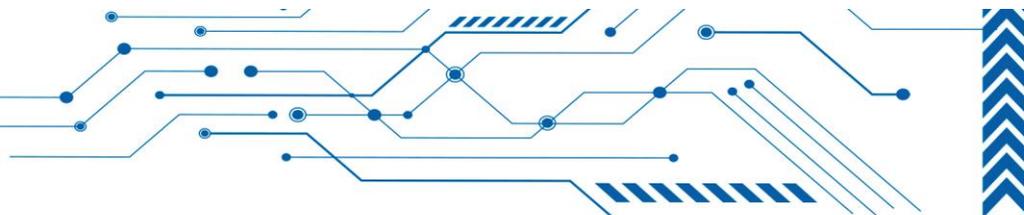
Para execução do estudo, por meio de um SIG, produziu-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) da APA (Área de Proteção Ambiental) do Rio Uberaba, disponível no site da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) utilizou-se a imagem de SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). A resolução espacial da imagem é de 30 metros e representa a APA do Rio Uberaba. Infelizmente, o Modelo Numérico de Terreno (MNT) que acompanha os dados do SRTM contém falhas em áreas do globo, originadas, principalmente, de duas maneiras: ocorrência de corpos hídricos e relevo acidentado. Nessa última, a frequência de falhas é maior em superfícies com inclinação acima de 20°, devido ao sombreamento ocasionado no radar (Luedeling et al., 2007). Para corrigir esse problema, antes de iniciar o processamento dos fisiográficos parâmetros indicadores da susceptibilidade à inundações, utilizou-se o módulo fill sinks (preenchimento de depressões), para corrigir o MDE garantindo-lhe consistência hidrológica, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente (MDEHC) da Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba.



Fonte: Laboratório de Geoprocessamento Uniube (LABGEO)

A partir do Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC) determinaram-se as direções de escoamento utilizado para obtenção do Modelo Digital Fluxo Acumulado (MDFA), que contabiliza o número de pixels que drenam para cada pixel adjacente no sentido de montante à jusante na bacia hidrográfica (Machado et al., 2016). Esse modelo foi então utilizado para determinar a rede de drenagem da área a partir de procedimento de avaliação condicional sobre a capacidade de acumulação de fluxo, operada pixel a pixel, que resultou na rede de drenagem compatível com área de menor acúmulo equivalente a 1000 pixels, ou seja, 90 hectares. Esse valor foi estabelecido



empiricamente de modo a retratar número expressivo de canais de drenagem, 146 no total. A avaliação condicional atribui valor por operação tipo zonal, determinou-se as estatísticas da média, desvio padrão, amplitude, máximo e mínimo para cada área de drenagem (sub-bacia) da área empregando-se o mapa de áreas de drenagem como imagem zonal e o mapa de declividades como imagem valorada. Conforme figura 2. nulo caso a expressão seja verdadeira e 1 caso seja falsa (ex.: se o valor do pixel que representa o fluxo acumulado for menor ou igual a 1000, o valor desse pixel é anulado, caso contrário é rotulado com valor 1).

A rede de drenagem obtida foi então convertida para o formato vetorial para obtenção automática das confluências dos cursos d'água, resultando em um arquivo de pontos que representam suas localizações. De posse das localizações das confluências, utilizou-se o módulo Watershed para gerar as respectivas áreas de drenagem para cada canal de drenagem. As áreas de drenagem geradas foram utilizadas em operação para determinação de características geométricas, notadamente área (m²) e perímetro (m).

Aplicou-se então a Equação (1) para o cálculo do Índice de Compacidade (IC).

$$IC = 0,28 x \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

em que P é o perímetro e A é a área.

O IC compara a forma da área de drenagem à forma geométrica de um círculo, quanto mais próximo da unidade, maior a propensão à escoamento superficial. Utilizou-se também as declividades do terreno como indicador de susceptibilidade à enxurradas por estar diretamente relacionado à velocidade de escoamento (i.e., quanto maior a declividade, maior a velocidade de escoamento). Calculou-se então o Modelo Digital de Declividades (MDD) a partir do MDEHC, com valores expressos em porcentagem (%). De forma automática, por operação tipo zonal, determinou-se as estatísticas da média, desvio padrão, amplitude, máximo e mínimo para cada área de drenagem (sub-bacia) da área empregando-se o mapa de áreas de drenagem como imagem zonal e o mapa de declividades como imagem valorada, conforme Figura 4.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

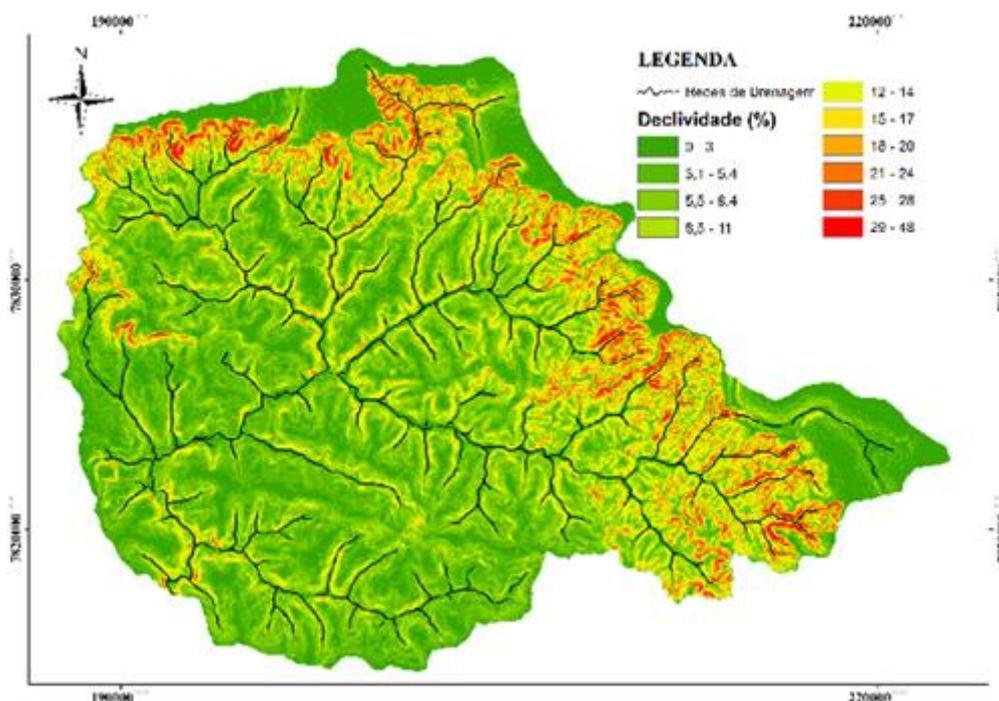
A partir dos canais de drenagem foram geradas as respectivas sub-bacias, em um total de 146 unidades. Para cada uma delas determinou-se área e perímetro que foram utilizados na Equação 1. Adicionalmente obteve-se as estatísticas da média e amplitude da declividade das mesmas.

A análise espacial permitiu verificar que o maior valor médio de declividade é 15,6% e a maior amplitude é de 47,5% indicando regiões suscetíveis à inundações. Também se verificou áreas de baixa propensão à escoamento superficial, com valores de declividade média em torno de 2,3% e amplitude de apenas 8,4%.



Na Figura 5 é apresentado o mapa do índice de compacidade para cada sub-bacia. Não é possível definir um ponto específico onde pode se encontrar o maior e o menor índice de compacidade pelo fato dos valores heterogeneamente distribuídos.

Figura 4 - Modelo Digital de Declividade.



Fonte: Laboratório de Geoprocessamento Uniube (LABGEO).

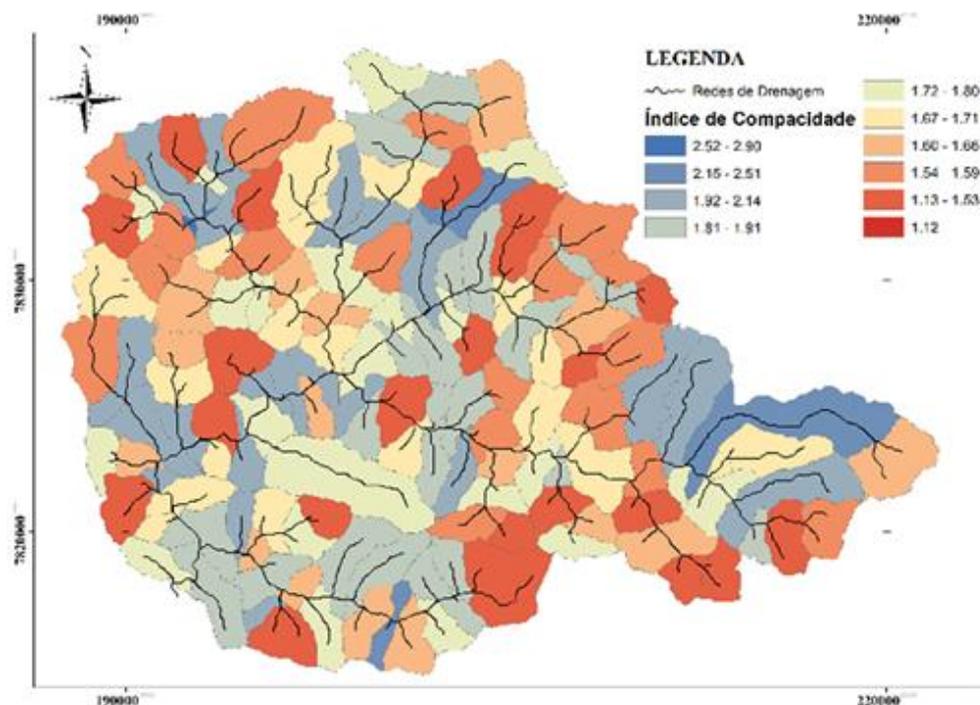
Por meio de análises de mapas e tabelas geradas com os dados do índice de compacidade, declividade e do Modelo Digital de Elevação (MDE) foi possível perceber que na área analisada, a APA do Rio Uberaba, existem 146 sub-bacias, com diversos níveis de suscetibilidade à escoamento superficial, isto porque eles ocorrem dispersos sobre as mesmas. Ou seja, não há uma determinada região privilegiada, tanto no alto curso quanto no baixo curso da área de captação foram verificadas condições que favorecem a enxurradas. Portanto, cada bacia a ser ocupada deve ser analisada individualmente em relação à sua propensão à escoamento superficial.

Os parâmetros fisiográficos utilizados, a declividade média e o índice de compacidade são relacionados à velocidade do escoamento e o tempo de concentração. Estes indicadores quando associados à impermeabilização do solo são agravantes severos à ocorrência de inundações.

Além do Índice de compacidade o potencial natural de erosão também contribui com os processos de escoamento. Siqueira et al., (2022) relata que os potenciais riscos de erosão classificados como baixo ocorrem na APA em 38,72% da área, seguidos de médio potencial em 31,29% e alto, muito alto e extremamente alto em 29,99%, indicando a necessidade de se obter cuidados especiais no manejo e práticas de conservação do solo adequadas (Figura 6 e

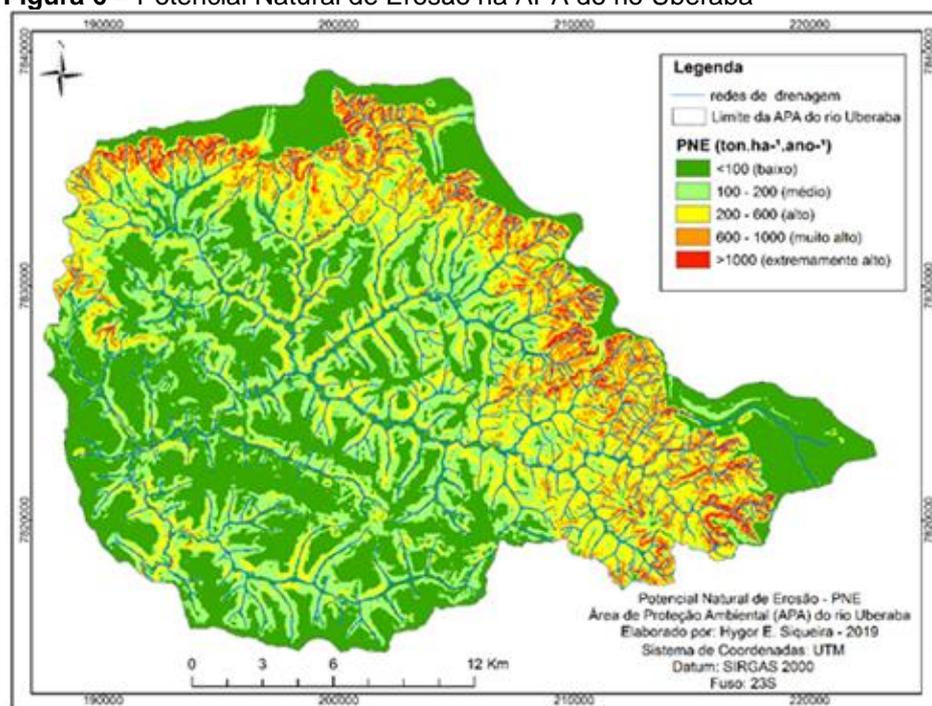
Tabela 1). No uso agrícola, torna-se necessário o emprego de técnicas de preparo e manejo do solo que mantenham a cobertura do solo com vegetação e cobertura durante todo o ano.

Figura 5 - Índice de compacidade.



Fonte: Laboratório de Geoprocessamento Uniube (LABGEO).

Figura 6 – Potencial Natural de Erosão na APA do rio Uberaba



Fonte: Siqueira et al., 2022.

Tabela 1 – Potencial Natural de Erosão calculado na APA do rio Uberaba.

Classificação	Potencial Natural de Erosão (t ha⁻¹ ano⁻¹)	Área (hectares)	Área (%)
Baixo	<100	22.174,76	41,99
Médio	100 – 200	13.539,04	25,64
Alto	200 – 600	11.847,68	22,43
Muito Alto	600 – 1000	4.124, 48	7,81
Extremamente alto	>1000	1.124,04	2,13
TOTAL		22.174,76	41,99

Adaptado de Valle Junior, (2008); Bertoni e Lombardi Neto (1999).

Siqueira et al, (2022) discute que nas áreas em que o solo está exposto, como em estradas rurais, é imprescindível atentar-se quanto à construção, manejo e recuperação das estradas principalmente as localizadas nas áreas de médio a alto potencial erosivo, necessitando assim mecanismos de contenção do escoamento e de infiltração de modo a reduzir os processos erosivos. Dadas às estimativas e levando-se em consideração a preservação da paisagem, a redução dos processos erosivos é altamente recomendada, nas áreas com alto potencial natural à erosão (PNE > 200 t ha⁻¹ ano⁻¹), a destinação destas áreas para o reflorestamento e preservação ambiental, com a possibilidade de implantar mecanismos de compensação e de pagamento por serviços ambientais aos produtores com recursos de fundos municipais e estaduais relacionados ao meio ambiente e preservação.

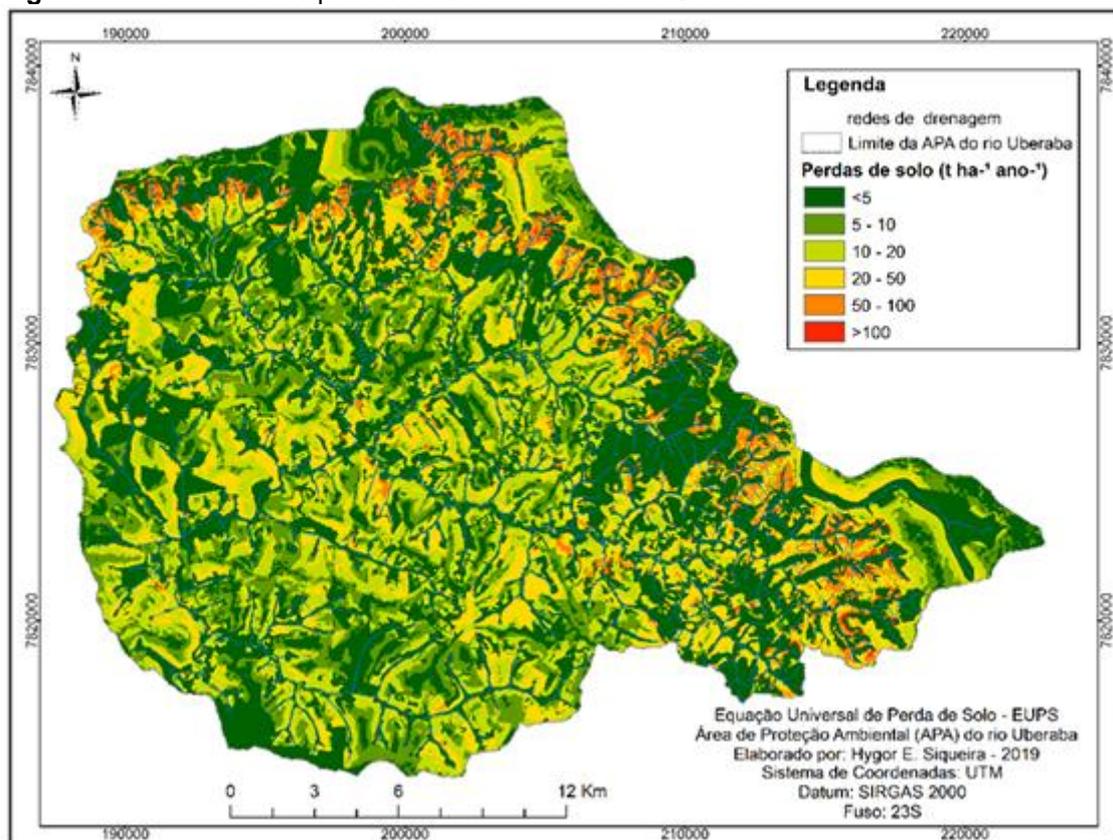
Na APA do rio Uberaba, os valores de perdas de solo estão apresentados na Tabela 2 e as áreas de perdas espacializadas na Figura 7. As estimativas de perdas menores que 5 t ha⁻¹ano⁻¹ correspondem a 43,81% da área ocupada por fragmentos florestais ao longo da bacia e nos terrenos suavemente planos com menos de 3% de declividade pela agricultura e silvicultura. As áreas com perdas de solo estimadas entre 5 a 10 t ha⁻¹ano⁻¹ correspondem a 12,22% da APA. Nas áreas ocupadas por agricultura e pastagens, são importantes os métodos e técnicas de conservação do solo de modo a reduzir os processos de perdas de solo pela erosão.

Tabela 2 – Estimativas de perdas de solo pela erosão hídrica na APA do rio Uberaba

Perda de solo (t ha⁻¹ ano⁻¹)	Área (hectares)	Área (%)
<5	23.136,37	43,81
5 - 10	6.455,06	12,22
10 - 20	11.524,04	21,82
20 - 50	9.446,43	17,89
50 - 100	2.070,57	3,92
>100	177,52	0,34
TOTAL	52.810,00	100,00

Fonte: Siqueira et al., 2022.

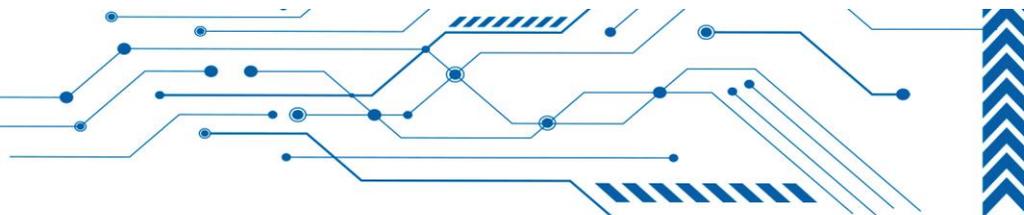
Figura 7 – Estimativa das perdas de solo na APA do rio Uberaba.



Fonte: Siqueira et al., 2022. Adaptado de Valle Junior, (2008); Bertoni e Lombardi Neto (1999).

Segundo Siqueira 2019, as áreas com perdas de solo estimadas entre 5 a 10 t ha⁻¹ano⁻¹ correspondem a 12,22% da APA, as quais são ocupadas por agricultura e pastagens. Nestas áreas as estimativas de perdas de solo por erosão, nas áreas com o uso da terra para agricultura e pastagem é importante que haja métodos e técnicas de conservação do solo de modo a reduzir os processos de perdas de solo pela erosão. Estes baixos valores de perda de solo se dão principalmente pela baixa capacidade de erosão em áreas com vegetação nativas preservadas. Já as estimativas de perda entre 10 e 20 t ha⁻¹ano⁻¹ correspondem a 21,82% da APA com usos destinados a pastagens e agricultura assim como nas perdas estimadas entre 20 e 50 t ha⁻¹ano⁻¹ que corresponde a 17,89% da APA. Nestas áreas devem ser adotadas práticas de conservação do solo de modo a minimizar as perdas de solo.

A erosão hídrica constitui um dos maiores problemas verificados na bacia do rio Uberaba, devido a ocorrências de desmatamentos para uso agrícola e o uso indevido de áreas legalmente destinadas à reserva, mata ciliar e de encosta (Cruz, 2003). As áreas com perdas superiores à tolerância tornam-se um importante indicativo de locais e serem definidas como prioritários para conservação. Segundo Valera et al. (2017), a erosão dos solos acima dos limites de tolerância promove a degradação do solo desencadeando danos ao meio ambiente e à sociedade, sendo os proprietários da terra responsáveis pelos danos causados, estando sujeitos ao princípio do Poluidor-Pagador.



Para minimizar o escoamento superficial que pode desencadear os processos de enchentes e enxurradas é recomendado o florestamento nas margens dos cursos d'água, nos entornos de nascentes, em áreas com solos de baixa fertilidade e com declividade muito acentuada, devido à alta susceptibilidade à erosão.

Em concordância com Siqueira, 2019, a recuperação de pastagens degradadas é importante para garantir proteção ao solo. O superpastejo, a ausência de rotatividade dos pastos, o uso em áreas com altas declividades são grandes facilitadores da degradação da pastagem e do solo, contribuindo negativamente com os processos erosivos.

Para Pacheco et al. (2018), os níveis mais severos de erosão podem ocasionar a degradação da terra com consequências ambientais e econômicas negativas em funções da perda de serviços ecossistêmicos e na redução da produtividade e fertilidade do solo. Assim, a definição de áreas para conservação dos serviços ecossistêmicos é fundamental para minimizar os processos erosivos e as perdas de solo e nutrientes e reduzir o assoreamento dos canais de drenagem além de propiciar corredores ecológicos para a biodiversidade.

5. CONCLUSÕES

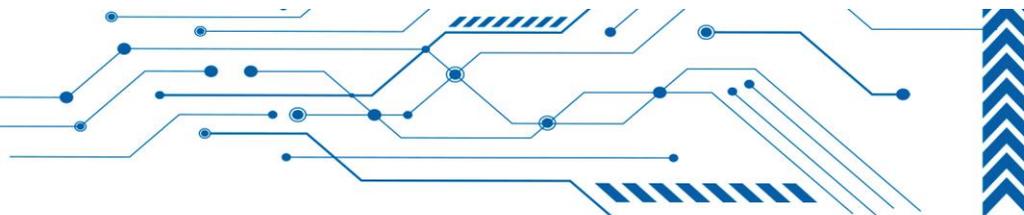
O estudo permite identificar a partir de técnicas de modelagem de terreno em ambientes de Sistemas de Informações Geográficas áreas sujeitas a ocupação sob o enfoque da suscetibilidade à escoamento superficial. Espera-se que os resultados forneçam subsídios aos tomadores de decisão e gestores públicos para o estabelecimento de critérios e políticas de ocupação com vistas à evitar inundações na APA do rio Uberaba. A perda de solo, um problema ambiental grave na APA, intensifica o escoamento superficial e o risco de inundações. A adoção de práticas agrícolas sustentáveis, como plantio em nível, rotação de culturas, cobertura morta e terraceamento, é fundamental para reduzir a erosão e proteger o solo. A preservação da vegetação nativa, especialmente nas margens dos cursos d'água e em áreas com declive acentuada, é crucial para a infiltração da água e a diminuição do escoamento superficial. A recuperação de áreas degradadas por meio do reflorestamento e da revegetação também contribui para a mitigação das inundações.

REFERÊNCIAS

BERTONI J, Lombardi Neto F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1999. 355p.

CRUZ LBS, Paterniani JES, Carvalho RMB **Caracterização e manejo sustentável do solo na Bacia do Rio Uberaba**. Caminhos de Geografia 4:31-49, 2003.





LUEDLING, Eike; SIEBERT, Stefan; BUERKERT, Andreas. **Filling the voids in the SRTM elevation model** - A TINbased delta surface approach. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, v.62, p.283-294, 2007.

MACHADO, Frederico Borges; Ferreira, Andreza Marques; Franchi, Tássio; Silva, Renato Carneiro Fernandes; Assis, Leonardo Campos. **Relação da qualidade da água e cobertura da terra em microbacia antropizada do cerrado mineiro**. Revista de Ciências Agroambientais. v14, n.1, p. 28-36, 2016.

NOVAIS, G. T.; BRITO, J. L. S.; SANCHES, F. O. **Unidades climáticas do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba**. Revista Brasileira de Climatologia, [s. l.], ano 14, v. 23, p. 223-243, 2018.

PACHECO FAL, Sanches Fernandes LF, Valle Junior RF, Valera CA, Pissarra TCT (2018) **Land degradation**: Multiple environmental consequences and routes to neutrality. Current Opinion in Environmental Science & Health 5:79-86.

SIQUEIRA, H. E.; PEREIRA, G. T.; PISSARRA, T. C. T.; MARTINS FILHO, M. V.; CAMPOS, C. A. A. Estimativa de perdas de solo na área de proteção ambiental do rio Uberaba. **CIÊNCIA FLORESTAL (ONLINE)**, v. 32, p. 1205-1226, 2022.

SIQUEIRA, Hygor Evangelista. **Identificação de áreas para conservação do solo e da água na área de proteção ambiental do rio Uberaba com geoprocessamento**. Tese – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. 2019.

UBERABA, Prefeitura Municipal de. PLANO DE MANEJO APA Rio Uberaba. 2002. Disponível em: http://www.uberaba.mg.gov.br/portal/acervo/meio_ambiente/arquivos/agenda_branca/plano_manejo.pdf.

UBERABA, Prefeitura Municipal de. APA Rio Uberaba: Plano de manejo Apa Rio Uberaba. 2006. Disponível em: www.uberaba.mg.gov.br/portal/acervo/meio_ambiente/.../plano_manejo.pdf.

VALLE JUNIOR RF (2008) **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. 222 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia (produção Vegetal), Unesp, Jaboticabal.

