

O reconhecimento da suscetibilidade às inundações e alagamentos na Bacia do Ribeirão Vermelho, Lavras/MG, Brasil

Recognition of flooding and inundation susceptibility in Ribeirão Vermelho Basin, Lavras/MG, Brazil

Thiago Gonçalves Santos

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil

thiaguim.13@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-5720-0260>

Sílvia Elena Ventorini

Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, MG, Brasil

sventorini@ufsj.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0003-3783-3164>

Andréa Aparecida Zacharias

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ourinhos, SP, Brasil

andrea.zacharias@unesp.br

 <https://orcid.org/0000-0002-9992-7927>

RESUMO

A representação do ambiente por intermédio de mapas, cartas topográficas, imagens de satélites dentre outros tem demonstrado ser um recurso cada vez mais presente na Geografia devido à possibilidade de integração sistêmica das informações de uma determinada área. Em um Sistema de Informação Geográfica, os mapas possibilitam estruturar, orientar e integrar os elementos de modo hierárquico, viabilizando a elaboração de modelos sínteses que indicam parte da complexidade de um determinado fenômeno. Desta forma, este artigo tem como objetivo apresentar o mapeamento da Bacia do Ribeirão Vermelho, Lavras/MG, Brasil, voltado para o reconhecimento das áreas suscetíveis às inundações e alagamentos. A fundamentação teórico-metodológica teve como base a Teoria Geral dos Sistemas aplicada à Geografia Física que direciona as análises dos fenômenos considerando a integração das partes com o todo. Os materiais são compostos por dados cartográficos e secundários dos quais foram elaborados uma série de mapas temáticos voltados para a identificação dos atributos que contribuem de modo mais significativo para a investigação. Para isso, foram adotados os procedimentos da Análise Multicritério de Decisão e Análise Hierárquica de Processos como parâmetros para integração entre as variáveis. As informações apontam que a Bacia do Ribeirão Vermelho, no geral, possui uma baixa suscetibilidade às inundações e alagamentos (50,26%), entretanto, as classes de alto (12,85%) e muito alto (0,34%) contemplam grande parte dos eventos registrados e validados a partir dos dados da Defesa Civil.

Palavras-chave: Análise Multicritério de Decisão; Análise Hierárquica de Processos; Modelagem; Abordagem Sistêmica.

ABSTRACT

The environment representation through maps and topographical maps, satellite images, among others, has shown to be an increasingly present resource in Geography due to the possibility of systemic integration of information from a specific area. In a Geographic Information System, maps makes possible to structure, guide and integrate the elements in a hierarchical way, enabling the elaboration of synthetic models that indicate part of the complexity of a determined phenomenon. Thus, this article aims to present the mapping of Ribeirão Vermelho Basin, in the city of Lavras/MG, Brazil, aiming the recognition of flooding susceptible areas. The theoretical-methodological foundation was based on the General Theory of Systems applied to Physical Geography, which directs the analysis of phenomena considering the integration of the parts with the whole. The materials are composed of cartographic and secondary data from which a series of thematic maps were prepared aiming to identify the attributes that contributed most significantly to the investigation. For this, the procedures of Multicriteria Decision Analysis and Hierarchical Process Analysis were adopted as parameters for integration between the variables. The information suggests that the Red River basin, as a whole, has a low susceptibility to flooding (50.26%); however, high-level class (12.85%) and higher-level class (0.34%) comprise a large part of the reported events, and validated based on data from "Defesa Civil" (Civil Defense department).

Keywords: Multicriteria Decision Analysis; Hierarchical Process Analysis; Modeling; Systemic Approach.

1. INTRODUÇÃO

Pela perspectiva sistêmica, constata-se o potencial integrador da Geografia com diferentes campos do conhecimento, além de possibilitar uma série de aplicações fundamentadas teoricamente cujas metodologias são capazes de traduzir a realidade de um determinado ambiente (VICENTE; PEREZ FILHO, 2003). Como apontam Vicente e Perez Filho (2003), a representação do ambiente por intermédio de mapas, cartas topográficas, imagens de satélites, dentre outros tem demonstrado ser um recurso cada vez mais presente na Geografia pela possibilidade de integração sistêmica das informações de uma determinada área.

Essa integração faz parte de um conjunto de visões interdisciplinares dos fenômenos analisados, orientada a partir dos pressupostos sistêmicos como a Teoria Geral dos Sistemas (TGS) que considera as análises não somente das partes e dos processos isoladamente (individualizado), mas também dos problemas e particularidades oriundos da interação entre as variáveis com o todo de modo indissociável (BERTALANFFY, 1975; LIMBERGER, 2006; TINÉ; PEREZ; MOLOWNY-HORAS, 2019).

A abordagem sistêmica aplicada à Geografia fornece aos estudos integrados uma gama de metodologias de análises espaciais com aplicações voltadas à espacialização de parte da complexidade de um determinado fenômeno. Segundo Önden (2018), o método da Análise Multicritério de Decisão (AMD) contribui para os estudos associados à modelagem cartográfica de ambientes sistêmicos e permite ao pesquisador realizar a análise entre as variáveis e suas interações; a definição de prioridades considerando-se um determinado problema; a avaliação dos cenários incertos e a proposição de soluções que auxiliam na tomada de decisão assente no ponto de vista das partes interessadas.

Esse método, ao ser integrado à Análise Hierárquica de Processos (AHP), possibilita a estruturação de álgebras de mapas orientadas por critérios quantitativos e qualitativos nos quais a integração de diversos campos do conhecimento contribui para a visão geral das relações que formam um sistema e que contribuem de modo mais ou menos significativo para o fenômeno analisado (SAATY, 2005, 2006; SENA, 2008; RIBEIRO; ALVES, 2016; MATERANO; BRITO, 2020; SOARES JÚNIOR, 2020).

No ambiente de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), a AMD e a AHP são utilizadas para modelar um fenômeno baseado em informações disponibilizadas em mapas temáticos (BATHRELLOS *et al.*, 2011; WANG *et al.*, 2011; CHOWDARY *et al.*, 2013, GUO *et al.*, 2014, OGATO *et al.*, 2020). A integração metodológica para a identificação de áreas suscetíveis aos riscos de inundações possibilita a análise entre as variáveis adotadas e pode ser aplicada em escala local, regional e nacional (WANG *et al.*, 2011; OGATO *et al.*, 2020).

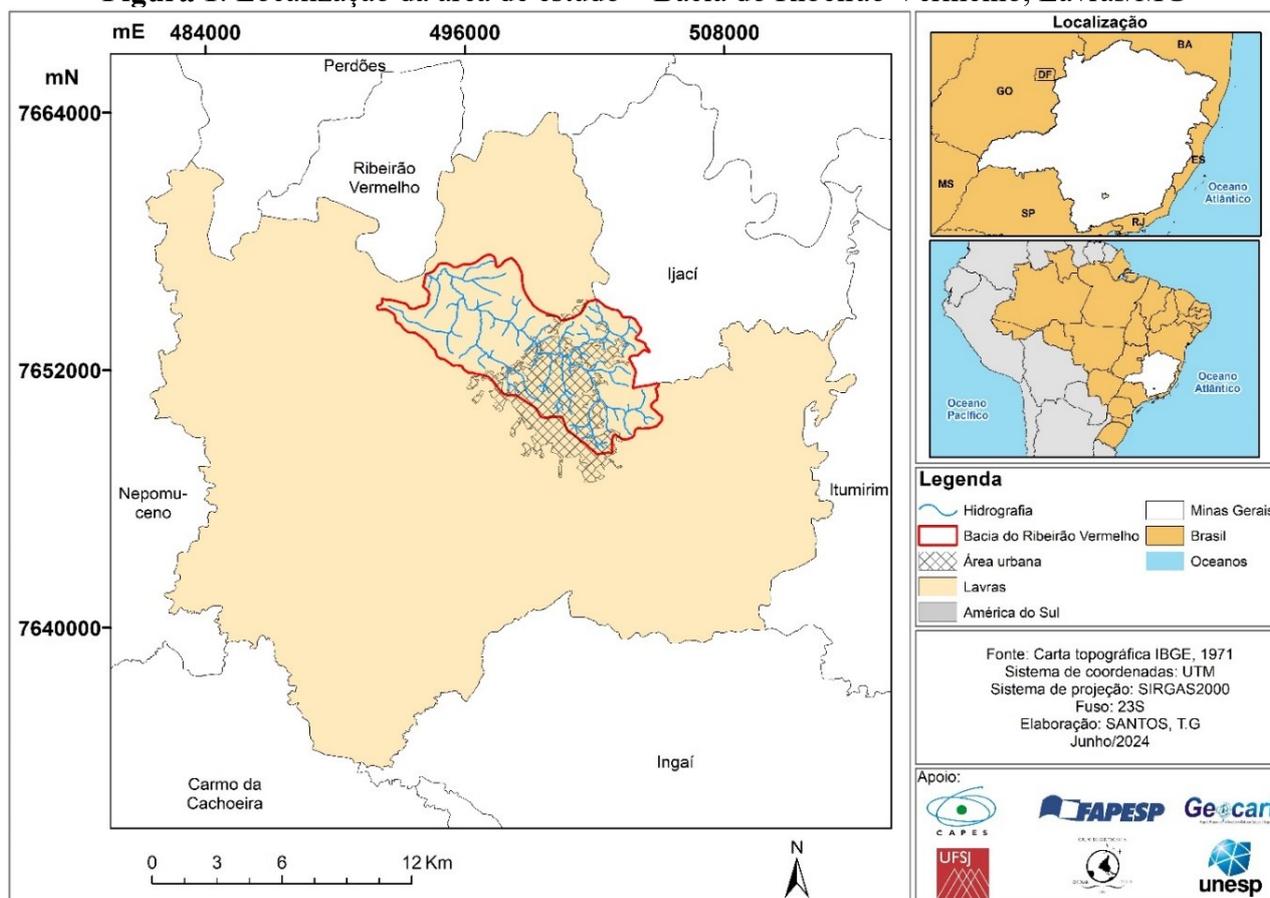
Os procedimentos práticos que envolvem a AMD e AHP fornecem uma confiabilidade nos resultados devido à validação matemático-estatística da matriz de julgamento (SAATY, 1991, 2006, 2008). No SIG, mediante procedimentos operacionais citados por Moura (2007, 2012, 2014), a modelagem de um cenário gráfico permite reconhecer e espacializar os fenômenos oriundos da relação entre sociedade e natureza. Os resultados fornecidos auxiliam na identificação de áreas de maior e/ou menor potencial aquilo que se pretende representar, além de contribuir para a tomada de decisão em diversos setores da sociedade.

Assim, considerando o potencial dos métodos da AMD e AHP na Geografia, este artigo tem como objetivo apresentar o mapeamento da Bacia do Ribeirão Vermelho, Lavras/MG, Brasil, voltado para o reconhecimento das áreas suscetíveis às inundações e alagamentos. Acredita-se que os resultados apresentados através de um modelo de síntese podem servir de complemento às informações oficiais já existentes no município, bem como auxiliar a subsidiar políticas públicas municipais com vistas à gestão urbana e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que envidam esforços para que as cidades se tornem mais inclusivas, sustentáveis e resilientes.

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia do Ribeirão Vermelho (**Figura 1**) está localizada entre as coordenadas 7640000 a 76640000 mN e 484000 a 508000 mE, no sistema de coordenadas *Universal Transversa de Mercator* (UTM), Datum SIRGAS2000, Fuso 23S, meridiano central 45°WGr no município de Lavras/MG, Brasil. Sua extensão é de 56,61 km² e compreende a Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) Vertentes do Rio Grande (GD2 – Rio Grande), com hierarquia fluvial de 5ª ordem, segundo a classificação de Strahler na escala de 1:50.000. As condições geológicas indicam o embasamento de rochas gnáissicas e graníticas com a presença de micaxistos e quartzitos e o desenvolvimento de solos classificados como Latossolos e Cambissolos (CHRISTOFOLETTI, 1980; SEMAD, 2022).

Figura 1: Localização da área de estudo – Bacia do Ribeirão Vermelho, Lavras/MG



Fonte: Adaptado de Santos (2022).

O clima regional é classificado como Tropical Brasil Central (IBGE, 2022; SEMAD, 2022), e apresenta dois regimes hídricos caracterizados por estiagem entre os meses de junho a agosto e período chuvoso, de outubro a março, o que representa 80% do índice anual pluviométrico. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia, a média anual de precipitação para o período compreendido entre 2006 a 2019 foi de 110,2 mm de chuva, volume que pode provocar problemas na infraestrutura de drenagem urbana em diversos municípios brasileiros (SEMAD, 2022).

Em relação à área urbana inserida na Bacia, essa conta com 15,06 km² de extensão, o equivalente a 67,05% do total (22,46 km²). Segundo Fest (2005), desde meados da década de 1950 a expansão do núcleo urbano do município condicionou ambientes favoráveis às ocorrências de inundações e alagamentos, sobretudo devido a ocupação das planícies do Ribeirão Vermelho e de seus afluentes.

3. METODOLOGIA

3.1. Fundamentação teórico-metodológica

A fundamentação teórico-metodológica teve como base o olhar sistêmico proposto pela TGS à Geografia Física que direciona as análises dos fenômenos, considerando a integração entre as partes com o todo (BERTALANFFY, 1975; HAGGETT; CHORLEY, 1967; CHRISTOFOLETTI, 1999; BERTRAND, 2004; ZACHARIAS; VENTORINI, 2021).

Na Geografia, a aplicação da TGS foi introduzida por Strahler (1950, 1954) na classificação dos sistemas de drenagem como um sistema aberto devido à entrada e saída de matéria, energia e interação entre seus componentes. Posteriormente, na proposta de Chorley (1964), destaca-se a hierarquização quantitativa dos elementos sistêmicos, cujos resultados representam modelos e análises mais específicas de um determinado sistema. As visões sistêmicas dos autores foram importantes vetores de difusão da aplicação da TGS em pesquisas no campo da Geografia Física que consideram a dinâmica de sistemas abertos e sua organização (LIMBERGER, 2006).

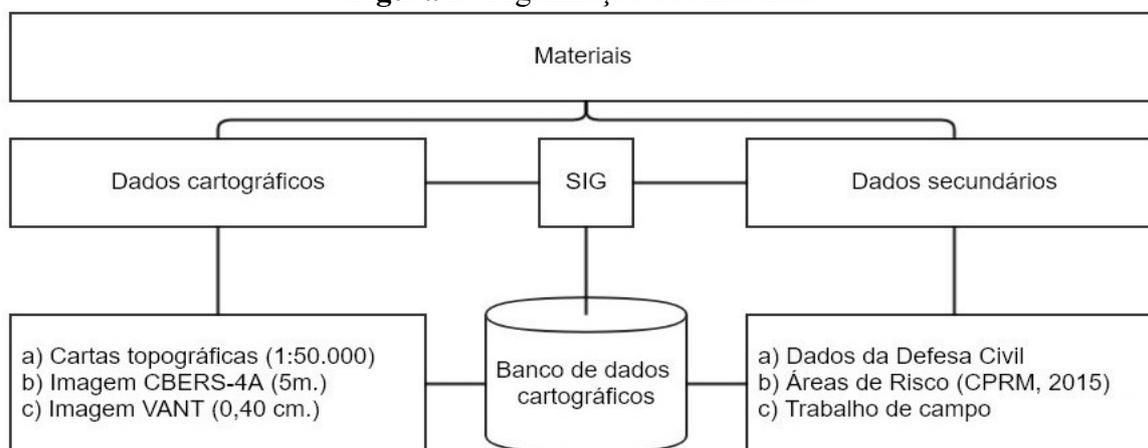
Os estudos sistêmicos na Geografia possibilitam a compreensão de conflitos oriundos da relação entre sociedade e natureza, de modo integrado, a partir de diferentes perspectivas multidisciplinares. Em aplicações para a identificação de áreas suscetíveis aos desastres hidrológicos em Bacias Hidrográficas, a TGS fornece parâmetros importantes para a definição de quais variáveis serão mapeadas e os principais atributos que potencializam as ocorrências do fenômeno investigado.

Os resultados levam em consideração os pressupostos da Cartografia Ambiental e as interações sistêmicas são representadas a partir dos níveis de raciocínio analíticos (cenários gráficos individualizados) e de síntese, de modo que os resultados apresentam um cenário mais próximo da realidade mediante o reconhecimento das áreas de interesse e sua organização em nível hierárquico (MARTINELLI, 1994, 2005; 2018; SOUSA, 2009; ZACHARIAS; VENTORINI, 2021).

3.2. Materiais

Os materiais são compostos por dados cartográficos e secundários (**Figura 2**) que foram organizados e trabalhados no *ArcGis®* 10.7 e suas extensões (módulos *ArcMap*, *ArcCatalog* e *ArcToolbox*). O banco de dados cartográfico é composto por: **a) cartas topográficas** elaboradas pelo IBGE, ano de 1971, escala de 1:50.000, equidistância entre curvas de 20 metros, folhas Nepomuceno (SF-23-V-D-III-2), Carmo da Cachoeira (SF-23-V-D-III-4), Lavras (SF-23-X-C-I-1) e Itumirim (SF-23-X-C-I-3); **b) imagem do satélite** CBERS-4A, ano de 2020, resolução espacial de 5 metros e **c) imagem obtida por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT)**, do ano de 2019, resolução espacial de 40 cm.

Figura 2: Organização dos materiais



Fonte: Elaborado pelos autores (ano).

O banco de dados secundário conta com: **a) levantamento das ocorrências de inundações** entre os anos de 2006 a 2020 e das áreas indicadas pelo Painel de Controle¹, ambas as informações levantadas junto à Defesa Civil Municipal; **b) Mapeamento** elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2015) com informações sobre a localização das áreas de risco as inundações na área urbana de Lavras e; **c) trabalho de campo**. Dessa forma, o banco de dados secundários corresponde a uma importante ferramenta de análise e validação que possibilitou atribuir maior veracidade às informações mapeadas.

3.3. Elaboração da base digital de dados cartográficos

A etapa inicial consistiu no georreferenciamento das cartas topográficas para o Sistema de Coordenadas *UTM* e Sistema de Projeção *Datum* Córrego Alegre, conforme a referência original dos materiais e, após, na reprojeção para o *Datum* SIRGAS2000. Posteriormente, foi delimitado o limite da Bacia do Ribeirão Vermelho, conforme as exigências da Lei 12.680/12 que prevê a adoção destas áreas como unidade de estudo e gestão de riscos hidrológicos (BRASIL, 2012).

O mapa hipsométrico foi criado a partir da vetorização e interpolação das curvas de nível e pontos cotados das cartas topográficas onde as informações altimétricas passaram a representar um conjunto importante e essencial capaz de descrever as condições de um relevo e suas diferenças e/ou similaridades (GIGOVIĆ *et al.*, 2017; OGATO *et al.*, 2020). Conseqüentemente, baseado nessas informações, elaborou-se o mapa de declividade, importante mapeamento morfométrico que contribuiu para a análise da velocidade dos fluxos e escoamento de água, identificados como lento nas áreas planas e rápido nas áreas mais íngremes (STIEGLITZ *et al.*, 1997; GIGOVIĆ, *et al.*, 2017; RIMBA *et al.*, 2017; OGATO *et al.*, 2020, SANTOS, 2022).

A vetorização da hidrografia possibilitou obter o mapa de densidade de drenagem baseado na razão entre comprimento total dos canais fluviais (km) pela área da bacia (km²) (CHRISTOFOLETTI, 1979; GIGOVIĆ *et al.*, 2017; OGATO *et al.*, 2020). No SIG, os dados cartográficos ao serem interpolados a partir do limite territorial, os cálculos associados às condições que estabelecem esta variável são realizados de modo automático no qual os resultados expressos em Km/Km² são especializados conforme a realidade da Bacia. A classificação da Densidade de Drenagem, segundo Florenzano (2008), indica as classes de muito baixo a muito alto, nas quais quanto menor a densidade, maior a capacidade de infiltração das águas (**Tabela 1**).

Tabela 1: Classificação da Densidade de Drenagem

Classificação	Densidade de drenagem (km/km ²)	Capacidade de infiltração
Muito baixo	< 0,5	Muito alta
Baixo	0,5 – 3	Alta
Médio	3 – 6	Média
Alto	6 – 10	Baixa
Muito alto	> 10	Muito baixa

Fonte: Adaptado de Florenzano, 2008.

O mapa da distância entre drenagens, em estudos que envolvem modelagens de áreas suscetíveis as inundações e alagamentos, contribui para determinar as áreas que são mais afetadas durante a elevação das águas. De acordo com a FUNDECC (2016), na área urbana de Lavras/MG, as planícies dos principais afluentes das Bacias Hidrográficas inseridas na área urbana estão ocupadas. A ocupação urbana nessas áreas, somada às condições topográficas que direcionam as inundações em

¹ O painel de controle representa um mapa analógico da área urbana de Lavras/MG fixado na sala da Diretoria Executiva da Defesa Civil do município. Nesse mapa são indicadas as principais áreas de monitoramento durante o período chuvoso, onde os registros de inundações e alagamentos são recorrentes. Tais áreas foram georreferenciadas de acordo com a localização representada no mapa.

determinado trecho, afetam, primeiramente, as populações inseridas nesses espaços (FERNÁNDEZ; LUTZ, 2010). A análise das distâncias corresponde a: a) 30 m; b) 50 m.; c) 100 m.; d) 200 m e f) >500 m dos canais fluviais (SANTOS, 2022).

Por fim, o mapa de uso e cobertura da terra (UCT) foi elaborado a partir da classificação manual dos elementos, tendo como base chaves de fotointerpretação, tais como: cor, textura, rugosidade, tamanho e forma das feições (JENSEN; EPIPHANIO, 2011). Na Bacia do Ribeirão Vermelho, utilizou-se a imagem do satélite CBERS-4A, com resolução espacial de 5m, do ano de 2020, devido à abrangência de toda a extensão territorial. A imagem obtida a partir de VANT possui resolução espacial de 0,4m, ano de 2019, e contempla somente a área urbana do município. Por isso, utilizou-se a imagem do satélite para a diferenciação do padrão de adensamento urbano durante a vetorização. Em relação às demais classes, a identificação das áreas de cultivo corresponde àquelas que possuem a forma e os aspectos associados à plantação de culturas e áreas bem delimitadas que indicam campos de pastagem. As demais “áreas verdes” somadas às áreas de mata ciliar foram consideradas cobertura vegetal.

Assim, as classes do mapa de UCT e cobertura da terra foram organizadas e agrupadas de acordo com o nível de alteração da dinâmica natural das águas, conforme apresenta o **Quadro 1**. Os mapas foram convertidos para o formato *raster*, obedecendo ao critério de mesmo tamanho de pixel de valor igual a 10.

Quadro 1: Agrupamento das classes do mapa de UCT

Classes mapeadas	Características
Área cultivada, mineração desativada e aeroporto	Áreas cuja alteração antrópica não influencia as ocorrências de inundações.
Cobertura vegetal	Áreas de cobertura vegetal, preservadas próximas aos rios e que não sofreram influência antrópica em sua dinâmica.
Loteamento	Áreas que podem contribuir ou não para a ocorrência de inundações. Os loteamentos consideraram-se os elementos modificadores (asfalto, cortes no terreno e/ou terraplanagem).
Ocupação média	Correspondem as áreas cujo processo de ocupação urbana se demonstra desenvolvido (impermeabilização dos solos, “vizinhança”, equipamentos urbanos etc.), embora haja a uma quantidade significativa de lotes vagos e/ou áreas favoráveis ao processo de infiltração das águas.
Ocupação adensada	Área composta por bairros residenciais/comerciais cujo processo de ocupação apresenta-se consolidado e composto de comércios, escolas, unidades de saúde entre outros.

Fonte: Adaptado de Santos (2022).

As variáveis mapeadas referentes às características da Bacia do Ribeirão Vermelho foram padronizadas em formato matricial, favorecendo a manipulação das informações para extrair os elementos geográficos que mais contribuem para a ocorrência de inundações e alagamentos.

3.4. Análise Multicritério de Decisão: aplicações da AHP

A integração entre a AMD e a AHP consiste em um método que possibilita o julgamento das variáveis de modo hierarquizado, conforme o grau de importância entre si de acordo com um determinado objetivo (SAATY, 1991, 2006, 2008; RIBEIRO; ALVES, 2016; MATERANO; BRITO, 2020), segundo apresentado no **Quadro 2**.

Quadro 2: Classificação da AHP

Pesos	Recíproco	Definição
1	1	Importância igual: Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
3	1/3	Importância moderada: Um fator é ligeiramente mais importante que o outro.

5	1/5	Importância essencial: Um fator é claramente mais importante que o outro.
7	1/7	Importância demonstrada: Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
9	1/9	Importância extrema: A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2,4,6,8	1/2, 1/4, 1/6, 1/8	Valores intermediários entre julgamentos: Possibilidade de compromissos adicionais.

Fonte: Adaptado de Saaty (2008).

Neste artigo, para o reconhecimento das áreas suscetíveis às inundações e alagamentos na Bacia do Ribeirão Vermelho, foram utilizados os mapas de declividade (DEC), UCT, distância entre as drenagens (DIS), densidade de drenagem (DEN) e hipsométrico (HIP) dispostos sob uma matriz de comparação 5x5. Os valores atribuídos à comparação pareada entre as variáveis adotadas possuem como referência o grau de importância para a ocorrência do fenômeno em análise. Nesta etapa, a atribuição dos valores ocorreu em conjunto com demais pesquisadores da área, objetivando minimizar os efeitos da subjetividade em relação ao grau de importância entre as variáveis, como destacado em pesquisas anteriores, conforme ilustra a **Tabela 2** (SAATY, 2008; GIGOVIC *et al.*, 2017; OGATO *et al.*, 2020; SANTOS, 2022).

Tabela 2: Matriz de julgamento para o modelo de áreas suscetíveis às inundações na Bacia do Ribeirão Vermelho

Critérios	DEC	UCT	DIS	DEN	HIP
DEC	1	2	2	3	2
UCT	1/2	1	2	2	3
DIS	1/2	1/2	1	3	2
DEN	1/3	1/2	1/3	1	2
HIP	1/2	1/3	1/2	1/2	1

Fonte: Adaptado de Santos (2022).

A normalização dos julgamentos atribuídos na **Tabela 3** corresponde ao resultado obtido a partir dos valores correspondentes das linhas em razão ao somatório de cada coluna. Esse procedimento permite estabelecer os valores referentes ao vetor prioridade que corresponde aos valores em porcentagem aplicados na modelagem. O autovalor da matriz ($\lambda_{M\acute{a}x}$) permitiu estabelecer os valores do índice e razão de consistência de 0,7 e 0,6, respectivamente, o que demonstra estar dentro dos valores indicados e pré-estabelecidos por Saaty (2008).

Tabela 3: Normalização da matriz para o cálculo do vetor de prioridade

Critérios	DEC	UCT	DIS	DEN	HIP	Vetor prioridade	Influência (%)	Autovalor (w_i)
DEC	0,353	0,462	0,343	0,316	0,200	0,335	33	5,333
UCT	0,176	0,231	0,343	0,211	0,300	0,252	25	5,332
DIS	0,176	0,115	0,171	0,316	0,200	0,196	20	5,327
DEN	0,118	0,115	0,057	0,105	0,200	0,119	12	5,195
HIP	0,176	0,077	0,086	0,053	0,100	0,098	10	5,157
Soma:	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	100	λ_{max} : 5,269

Fonte: Adaptado de Santos (2022).

No ambiente SIG, cada mapa foi reclassificado para valores numéricos na escala 1 (muito baixo) a 5 (muito alto), conforme o grau de importância de cada elemento para a identificação dos fenômenos. Por exemplo, durante a reclassificação do mapa de declividade, os valores de inclinação do terreno foram agrupados consoante a real contribuição para a ocorrência do fenômeno citado, ou seja, muito alto (valor 5) para as menores declividades, enquanto nas áreas mais inclinadas a

suscetibilidade é muito baixa (valor 1). A **Tabela 4** apresenta os valores de reclassificação das variáveis mapeadas para o modelo das áreas suscetíveis às inundações na Bacia do Ribeirão Vermelho.

Tabela 4: Classificação dos pesos

Mapa/Influência	Classes	Importância	Pesos
Declividade (33%)	0° – 2°	Muito alto	5
	2° – 5°	Médio	3
	> 5°	Muito baixo	1
UCT (25%)	Vegetação nativa e vegetação rasteira	Muito baixo	1
	Zona rural, aeroporto e mineração	Baixo	2
	Loteamento e encosta	Médio	3
	Pouca ocupação	Alto	4
	Ocupação consolidada	Muito alto	5
Distância entre as drenagens (20%)	0 m – 30 m	Muito alto	5
	30 m – 50 m	Alto	4
	50 m – 100 m	Médio	3
	100 m – 200 m	Baixo	2
	>200 m	Muito baixo	1
Densidade de drenagem (12%)	< 0,5 km/km ²	Muito alto	5
	0,5 km/km ² – 3,0 km/km ²	Alto	4
	3,0 km/km ² – 6,0 km/km ²	Médio	3
	6,0 km/km ² - 9,1 km/km ²	Baixo	1
Hipsometria (10%)	800 m – 820 m	Muito alto	5
	820 m – 840 m	Alto	4
	840 m – 860 m	Baixo	2
	>860 m	Muito baixo	1

Fonte: Adaptado de Santos (2022).

Fundamentado na reclassificação, aplicou-se a álgebra de mapas para o modelo de suscetibilidade às inundações na Bacia do Ribeirão Vermelho (**Equação 1**). Esse processo consiste em uma operação matemática de média ponderada entre as variáveis, na qual para cada classe agrupada de acordo com suscetibilidade às inundações e alagamentos foram atribuídos os mesmos valores correspondentes à importância do fenômeno mapeado. Ainda no exemplo anterior, as menores declividades agrupadas como suscetibilidade muito alta receberão peso 5.

$$MSU = \frac{(DEC*33)+(UCT*25)+(DIS*20)+(DD*12)+(HIP*10)}{100} \quad (1)$$

Onde MSU representa o modelo de suscetibilidade às inundações e alagamentos; DEC, a declividade; UCT, o uso e cobertura da terra; DIS, a distância entre as drenagens; DD, a densidade de drenagem e HIP, a hipsometria.

Os resultados obtidos representam um modelo que esboça um cenário de reconhecimento dos fenômenos analisados e validados por intermédio dos dados secundários.

3.5. Análise e validação dos dados

Para verificar a veracidade das informações mapeadas realizou-se trabalhos de campo no período chuvoso, seco e intermediário. Foram observados os fatores naturais (cobertura vegetal,

manutenção da dinâmica natural do curso, confluências, etc.) e antrópicos (impermeabilização dos solos, pontes, acúmulo de resíduos sólidos, etc.) que contribuem para a ocorrência de inundações e alagamentos na Bacia do Ribeirão Vermelho (SANTOS; VENTORINI, 2017ab). Nesta etapa, foi realizada uma investigação junto aos moradores por meio de questões abertas com o objetivo de compreender a realidade vivenciada por estes em relação às ocorrências dos fenômenos durante o período chuvoso. Em campo, foi perguntado sobre “*como as inundações e alagamentos afetam sua residência?*” e “*quais são as principais áreas do bairro onde estes fenômenos são mais recorrentes?*”. As respostas obtidas aqui foram fundamentais para a avaliação dos resultados gerados pelo modelo e, conseqüentemente, sua veracidade frente aos dados secundários.

Além desses, os dados secundários permitiram realizar a validação com a ajuda das informações oficiais levantadas junto à Defesa Civil e o CPRM, sobrepostas ao modelo final. Nesse procedimento, foram analisados os dados pontuais das ocorrências de inundações e alagamentos entre os anos de 2006 a 2020 para verificar a intensidade do grau de suscetibilidade dos fenômenos obtidos no modelo, como também, as áreas de monitoramento pela Defesa Civil. Por fim, os dados obtidos pelo CPRM, que indica as áreas de riscos às inundações e alagamentos na área urbana de Lavras, possibilitaram a validação das áreas já mapeadas que coincidiram com os resultados gerados, fato que atribui maior confiabilidade ao modelo.

Para a análise dos dados obtidos pelos mapas temáticos e pelo modelo de suscetibilidade às inundações e alagamentos, realizou-se o processo de tabulação dos dados de área de cada elemento mapeado. Esse processo permite quantificar o tamanho da área que cada elemento geográfico ocupa na Bacia Hidrográfica, além de possibilitar interpretações que possam subsidiar as análises do modelo final.

4. RESULTADOS

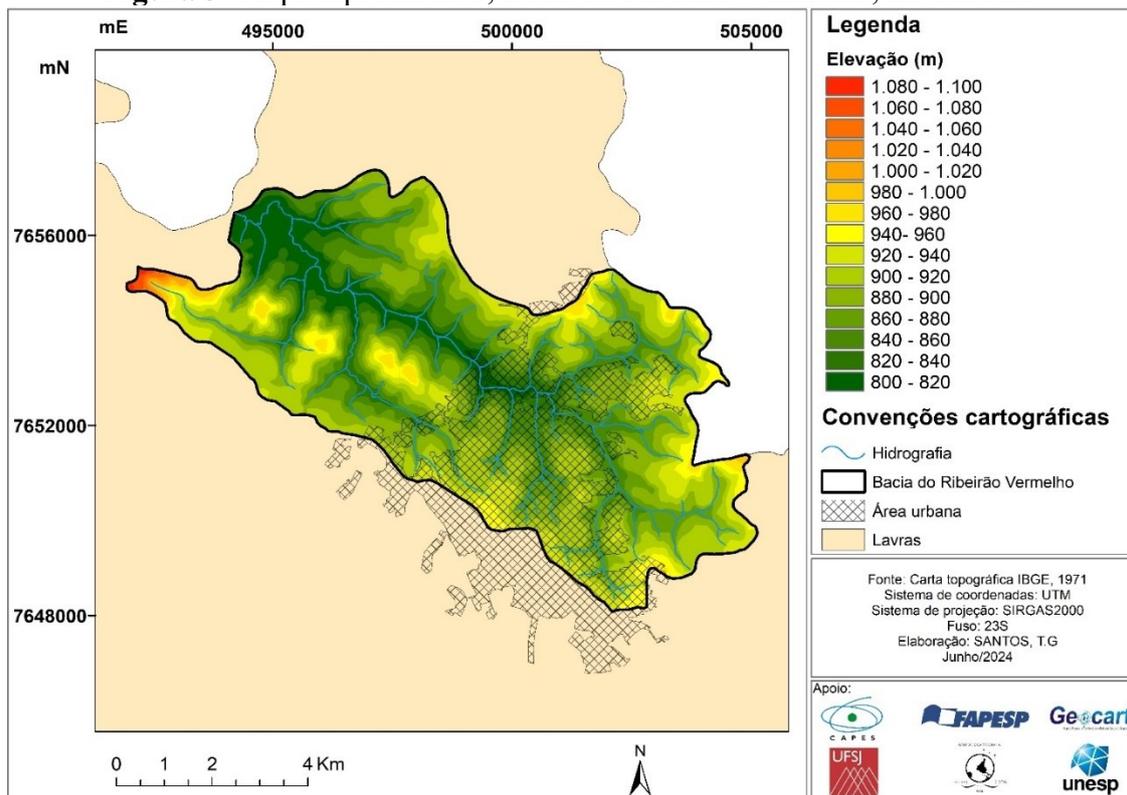
A abordagem sistêmica voltada para aplicações práticas no âmbito dos desastres naturais demonstrou-se eficaz. Tal afirmação vem ao encontro do exposto por Vicente e Perez Filho (2003), Limberger (2006) e Tiné, Perez e Molowny-Horas (2019) a respeito da análise das partes para a compreensão do todo. Os resultados dialogam com as publicações de Fernández e Lutz (2010), Rahmati, Zeinivand e Besharat (2015), Ogato *et al.* (2020), Materano e Brito (2020), Fadhil *et al.* (2020) e outros em relação a adoção das variáveis sistêmicas e integração destas, cujos resultados possibilitou gerar um cenário indicativo para o reconhecimento da suscetibilidade às inundações e alagamentos na Bacia do Ribeirão Vermelho.

As aplicações do método da AMD e AHP possibilitou, nesta pesquisa, a adoção de procedimentos que evidenciam as variáveis que melhor contribuem para as ocorrências dos fenômenos analisados (SAATY, 2005; MOURA, 2007; RIBEIRO; ALVES, 2016; MATERANO; BRITO, 2020; OGATO *et al.*, 2020). A reclassificação dos elementos de maior importância, conforme apresentado por Bathrellos *et al.* (2011), Chowdary *et al.* (2013) e Ogato *et al.* (2020) confirmou a eficácia de integração entre os métodos tornando o modelo mais próximo da realidade. A seguir, serão apresentados os resultados.

4.1. Mapeamento da Bacia do Ribeirão Vermelho

O mapa hipsométrico (**Figura 3**) indica a amplitude altimétrica de 300 metros (de 800 a 1.100 metros) para toda área da Bacia. As cotas inferiores a 840 metros representam as planícies de inundação do Ribeirão Vermelho e seus afluentes onde, na área urbana, essas áreas concentram parte significativa dos registros de inundação e alagamento. Para o intervalo entre 860 a 920 metros, as classes encontram-se bem distribuídas ao longo de toda a extensão da Bacia. Já para as altitudes superiores a 960 metros, estas concentram-se nas áreas periféricas e de relevos íngremes de uso preservado e/ou agrícola.

Figura 3: Mapa hipsométrico, Bacia do Ribeirão Vermelho, Lavras/MG



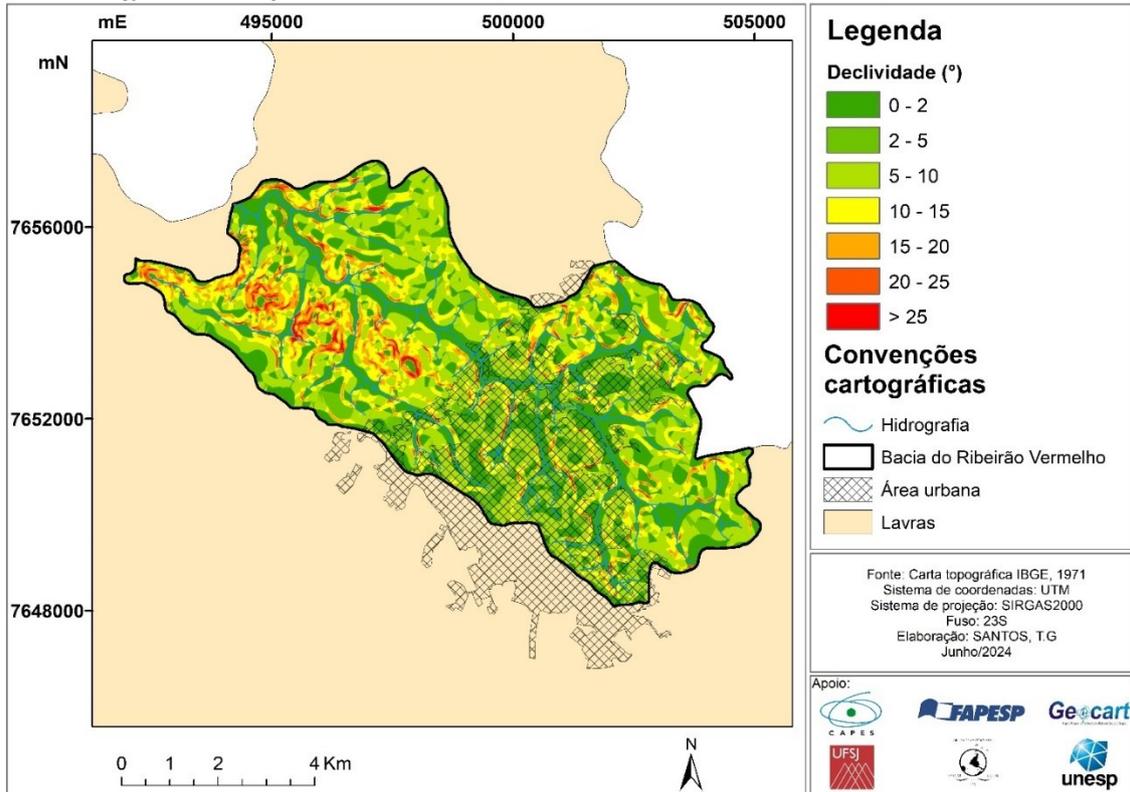
Fonte: Adaptado de Santos (2022).

O mapa de declividade (**Figura 4**) indica a variação da inclinação do relevo entre 0° (planície fluvial) a 54° (próximas às vertentes). Do mesmo modo que no mapa anterior, as menores cotas altimétricas representam as planícies de inundação do Ribeirão Vermelho e seus afluentes. Essas concentram-se entre as classes de 0° a 2° de inclinação, sendo que na área urbana tais áreas encontram-se ocupadas irregularmente (BATHRELLOS *et al.*, 2011; RIMBA *et al.*, 2017; SANTOS; VENTORINI, 2017ab). Além disso, durante as inundações, essas áreas favorecem o escoamento superficial lento e potencializam os impactos devido às alterações antrópicas como a impermeabilização dos solos, retirada da vegetação nativa entre outros.

No mapeamento dos aspectos hidrográficos, a densidade de drenagem (**Figura 5**) indica uma variação entre 0 km/km^2 a $9,1 \text{ km/km}^2$ que representa uma alta densidade de drenagem e, conseqüentemente, uma capacidade de infiltração classificada como muito alta a baixa. A capacidade baixa de infiltração em áreas impermeabilizadas pode favorecer o acúmulo das águas pluviais em períodos de precipitação intensas, podendo ou não causar prejuízos às populações. Tal realidade ocorre de forma potencializada em áreas caracterizadas por planícies de inundações e, principalmente, naquelas que se encontram próximas aos cursos hídricos, pois o transbordamento das águas de um canal fluvial, ao encontrar-se com áreas alagadas, pode intensificar os impactos causados por este fenômeno.

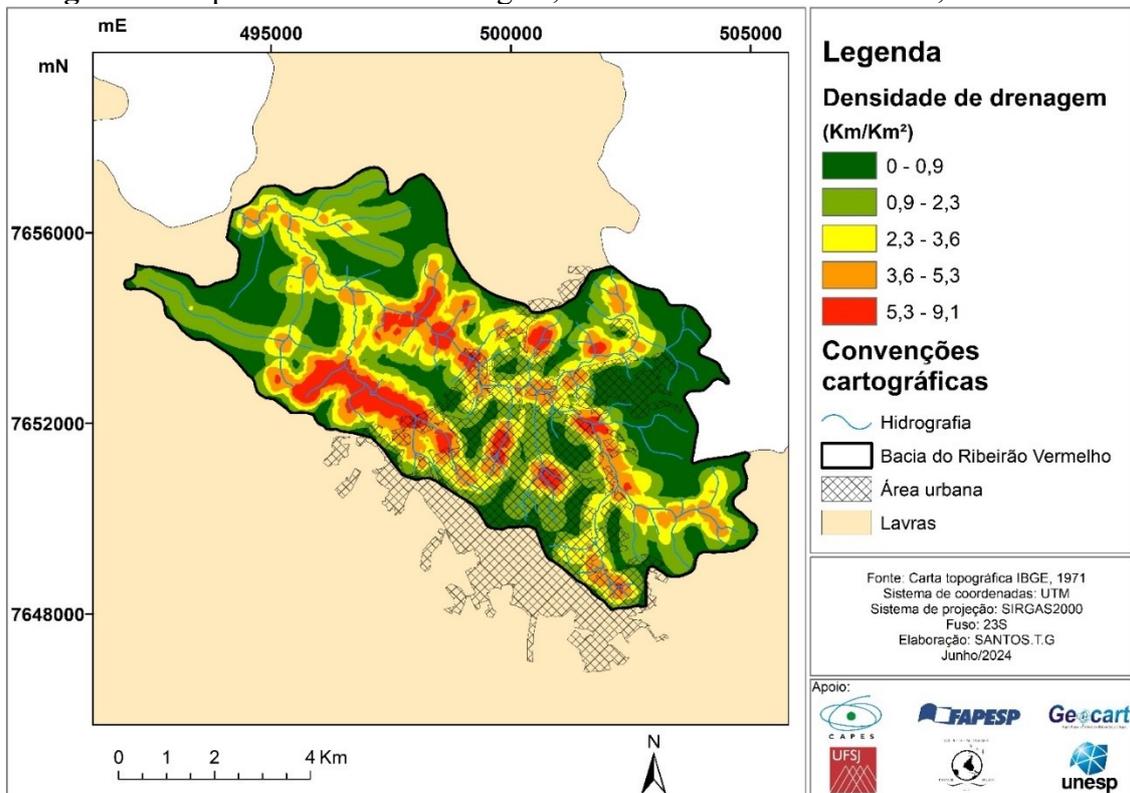
As distâncias entre as drenagens ao longo da Bacia do Ribeirão Vermelho (**Figura 6**) destacam que cerca de 13,39% da área urbana nessa bacia encontra-se a menos de 30 metros de distância dos cursos hídricos. Isso significa que essas áreas possuem maior suscetibilidade às inundações durante um evento extremo de inundação e podem afetar, gradativamente, pontos mais distantes em virtude da modificação antrópica da paisagem que é potencializada por alagamentos oriundos da insuficiência de drenagem (FERNÁNDEZ; LUTZ, 2010; FUNDECC, 2016). Na área urbana, essa faixa corresponde a 9,24% da área, fato ressaltado pelo FUNDECC (2016) que aponta a proximidade das casas aos cursos hídricos como o principal fator para os prejuízos causados pelas inundações e alagamentos.

Figura 4: Mapa de declividade, Bacia do Ribeirão Vermelho, Lavras/MG



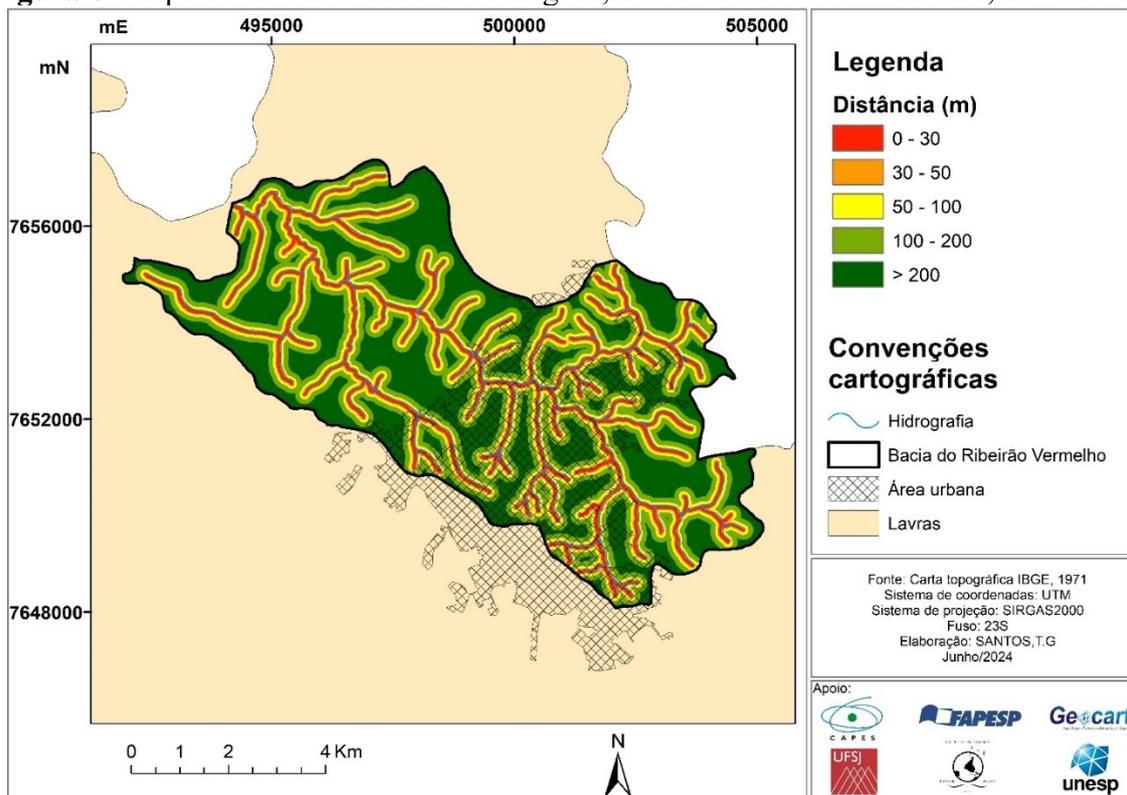
Fonte: Adaptado de Santos (2022).

Figura 5: Mapa densidade de drenagem, Bacia do Ribeirão Vermelho, Lavras/MG



Fonte: Adaptado de Santos (2022).

Figura 6: Mapa da distância entre as drenagens, Bacia do Ribeirão Vermelho, Lavras/MG



Fonte: Adaptado de Santos (2022).

Os resultados obtidos pelo mapa de UCT (**Figura 7**) espacializam a presença de cobertura vegetal em 45,63% da área total da Bacia. A preservação das matas ciliares e a manutenção das vegetações naturais, como gramíneas, arbustos e/ou campos rupestres característicos das áreas de transições do cerrado com a mata atlântica condiciona o equilíbrio do ciclo hidrológico, favorecendo a infiltração, absorção e interceptação das águas pluviais durante um evento extremo de precipitação.

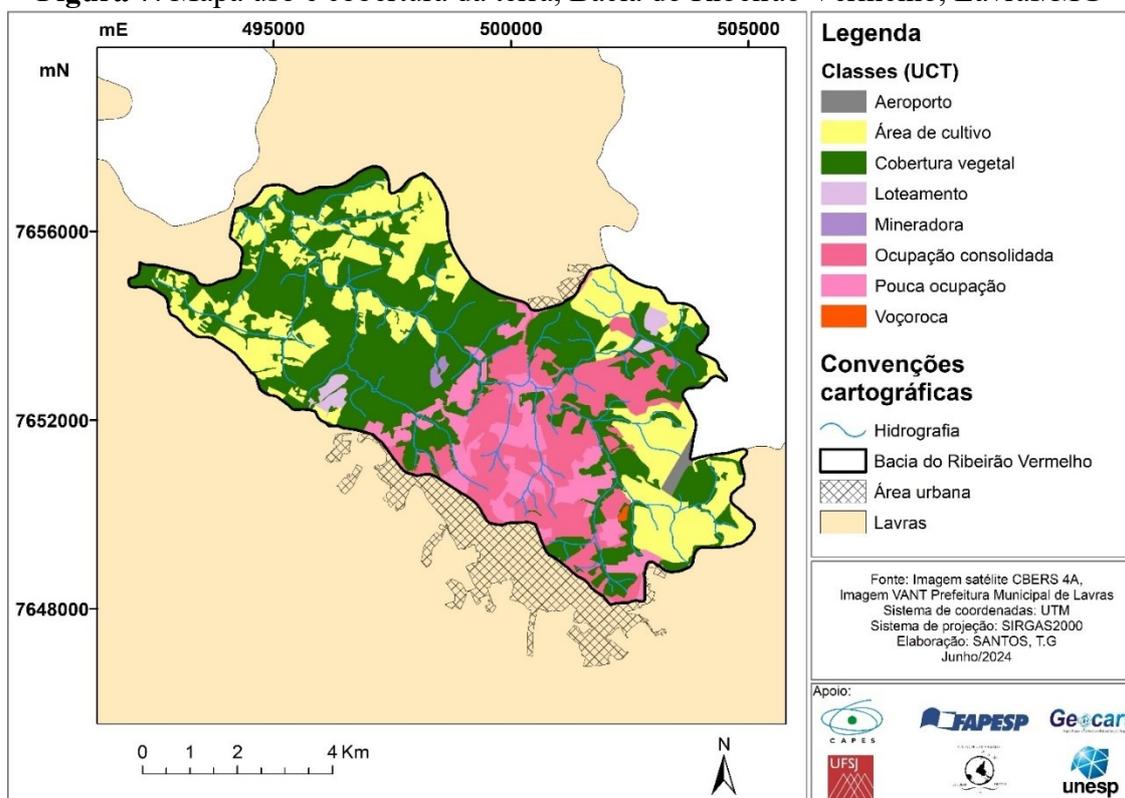
Em sequência, as áreas de cultivo correspondem a 27,63% da área e estão distribuídas no entorno da área urbana. Para essa classe, é importante destacar a obrigatoriedade exigida pela Lei 12.651/2012 que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa indicada pelo Cadastro Ambiental Rural (CAR), indicando a necessidade de haver uma parcela mínima de área preservada nas propriedades rurais. Entretanto, as práticas de cultivo contribuem para que haja alterações no uso e cobertura da terra, podendo ocasionar danos posteriores. Em relação às inundações, ressalta-se que no município de Lavras/MG o avanço da área urbana em direção às comunidades rurais mais próximas pode afetar alguns setores, tornando-os suscetíveis às inundações em decorrência das alterações antrópicas.

Ainda sobre as alterações antrópicas foram identificadas: a) uma área destinada à mineração (0,25%) que se encontra desativada; b) parte do Aeroporto Municipal de Lavras (0,51%) que se localiza no divisor de águas na porção Leste da Bacia e na área urbana e; c) uma área de voçorocamento (0,26%) que, atualmente, se encontra estabilizada em virtude de projetos ambientais de recuperação de áreas afetadas pelos processos erosivos. Tais classes foram mapeadas a partir da imagem CBERS-4A e confirmadas a partir de produto gerado pelo VANT.

Em relação à área urbana, 1,13% corresponde a novos loteamentos, 10,55% aos bairros cuja ocupação urbana encontra-se em processo de desenvolvimento e 14,03% aos bairros residenciais e comerciais onde o processo de impermeabilização das áreas naturais ocorre de modo significativo e/ou total. Para tal classificação, considerou-se a presença de áreas não impermeabilizadas como, por exemplo, lotes vagos, vazios urbanos, processos iniciais de loteamentos, dentre outros aspectos que contribuam para a infiltração das águas nos períodos chuvosos. A classificação foi atribuída levando

em conta o produto VANT, que permitiu a diferenciação do padrão de ocupação urbana nas diferentes áreas.

Figura 7: Mapa uso e cobertura da terra, Bacia do Ribeirão Vermelho, Lavras/MG



Fonte: Adaptado de Santos (2022).

Os resultados do mapeamento da Bacia do Ribeirão Vermelho permitiram identificar as principais características de cada mapa temático e classificá-los de acordo com a importância para a ocorrência de inundações e alagamentos. A seguir, serão apresentados os resultados obtidos apoiado no modelo de análise de suscetibilidade às inundações.

4.2. Modelo de reconhecimento da suscetibilidade às inundações e alagamentos

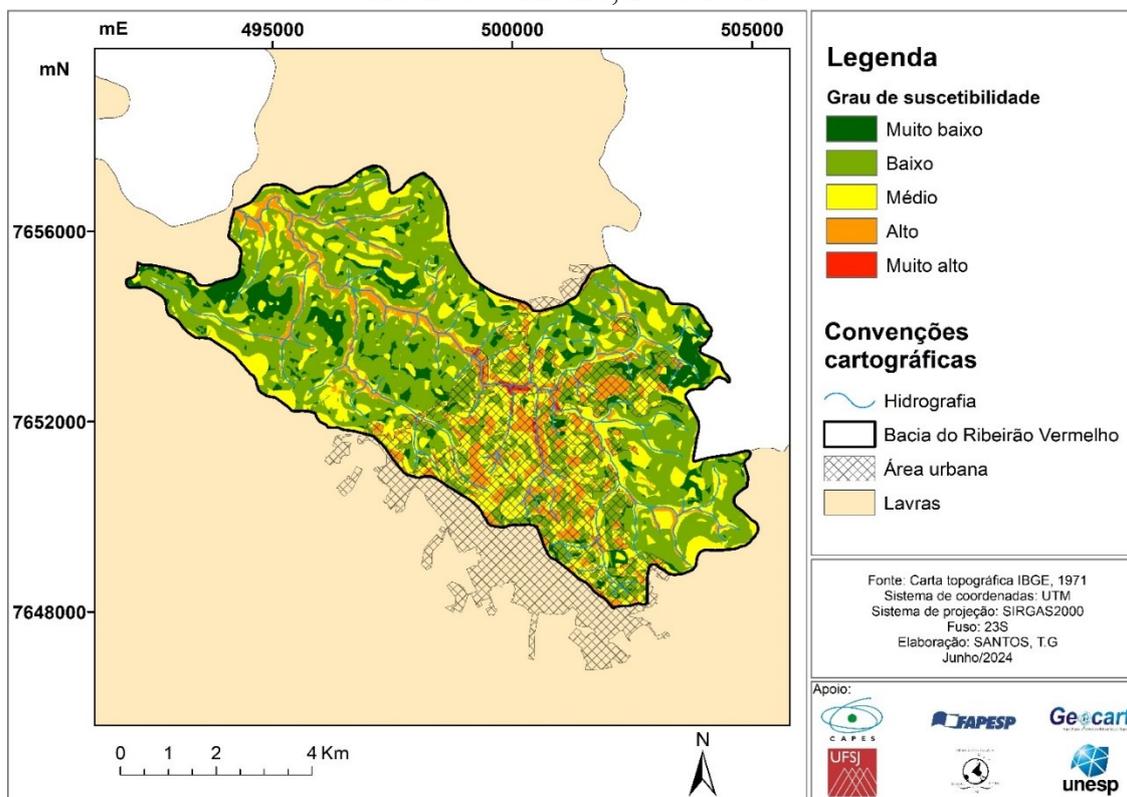
A aplicação da abordagem sistêmica para o reconhecimento de suscetibilidade às inundações e alagamentos na área de estudo representa a relação entre sociedade e natureza. Assim, as condições físicas pertencentes à dinâmica natural da Bacia Hidrográfica, associadas à presença antrópica podem influenciar nos impactos causados por esse fenômeno (FERNÁNDEZ; LUTZ, 2010; GIGOVIC *et al.*, 2017; MATERANO; BRITO, 2020, OGATO *et al.*, 2020).

Neste artigo, adotou-se como padrão de hierarquização das variáveis o intervalo de 1 a 5 correspondente ao grau de importância que varia de muito baixo a muito alto, respectivamente. Na Bacia do Ribeirão Vermelho, esse procedimento resultou em um modelo indicativo dos graus de suscetibilidade às inundações e alagamentos que variam conforme o padrão hierárquico (**Figura 8 e Tabela 5**).

A classe de grau muito baixo de suscetibilidade corresponde a 8,74% da área total da Bacia do Ribeirão Vermelho, cujas características principais correspondem à presença de cobertura vegetal, principalmente àquelas que se encontram preservadas próximas aos canais fluviais. Os aspectos topográficos indicam a influência das cotas altimétricas acima de 900 metros, declividades acima de 15° de inclinação e condições favoráveis para infiltração das águas devido à baixa densidade de

drenagem ($< 1 \text{ km/km}^2$). Em áreas de suscetibilidade muito baixa, a distância euclidiana entre as drenagens maiores que 200 metros é mais significativa

Figura 8: Modelo de reconhecimento da suscetibilidade às inundações e alagamentos, Bacia do Ribeirão Vermelho, Lavras/MG



Fonte: Adaptado de Santos (2022).

Tabela 5: Distribuição do grau de suscetibilidade às inundações na Bacia do Ribeirão Vermelho

Grau de suscetibilidade	Área (Km ²)	Área (%)
Muito Baixo	4,95	8,74
Baixo	28,45	50,26
Médio	15,74	27,81
Alto	7,27	12,85
Muito alto	0,20	0,34
Total:	56,61	100,00

Fonte: Adaptado de Santos (2022).

O baixo grau de suscetibilidade representa 50,26% da área total da Bacia e sua expressividade está relacionada com a influência das áreas de cultivo localizadas na Zona Rural do município de Lavras/MG. Destaca-se que a preservação das matas ciliares nessa classe pode diminuir os impactos causados pela elevação das águas nas plantações e/ou próximo às populações rurais.

Na área urbana, essa classe está associada à presença de cobertura vegetal próxima às áreas impermeabilizadas. Sobre o fato, Tonetti *et al.* (2013) ressalta que nessas áreas a infiltração das águas pelo solo minimiza os impactos que são causados pelas inundações. Entretanto, durante um evento extremo de precipitação, o grau de suscetibilidade pode ser alterado em virtude de possíveis problemas estruturais no sistema de coleta das águas pluviais, podendo provocar alagamentos em pontos específicos que acarretam transtornos à população.

A partir da classe de médio grau de suscetibilidade (27,81%), a influência das classes que

representam a área urbana no mapa de UTC possui maior relevância do que as demais. Nota-se que ao longo da Bacia do Ribeirão Vermelho o referido grau de suscetibilidade estabelece interações em relação à densidade de drenagem de até 2,4 km/km², somadas às condições topográficas que representam cotas altimétricas entre 840 a 920 metros, declividades entre 10° a 2° de inclinação com distâncias entre os canais de drenagem variando de 50 a 100 metros.

O grau de suscetibilidade alto representa 12,85% da área total da Bacia, onde a área urbana exerce influência significativa devido ao adensamento e impermeabilização dos solos que reduzem a capacidade de infiltração das águas representada pela densidade de drenagem em até 3,5 km/km². Nessas áreas, a declividade varia entre 2° a 5° de inclinações, inseridas nas cotas altimétricas menores que 840 metros. Ressalta-se que a distância entre as drenagens menores de 50 metros contribui com 7,05% da área total analisada.

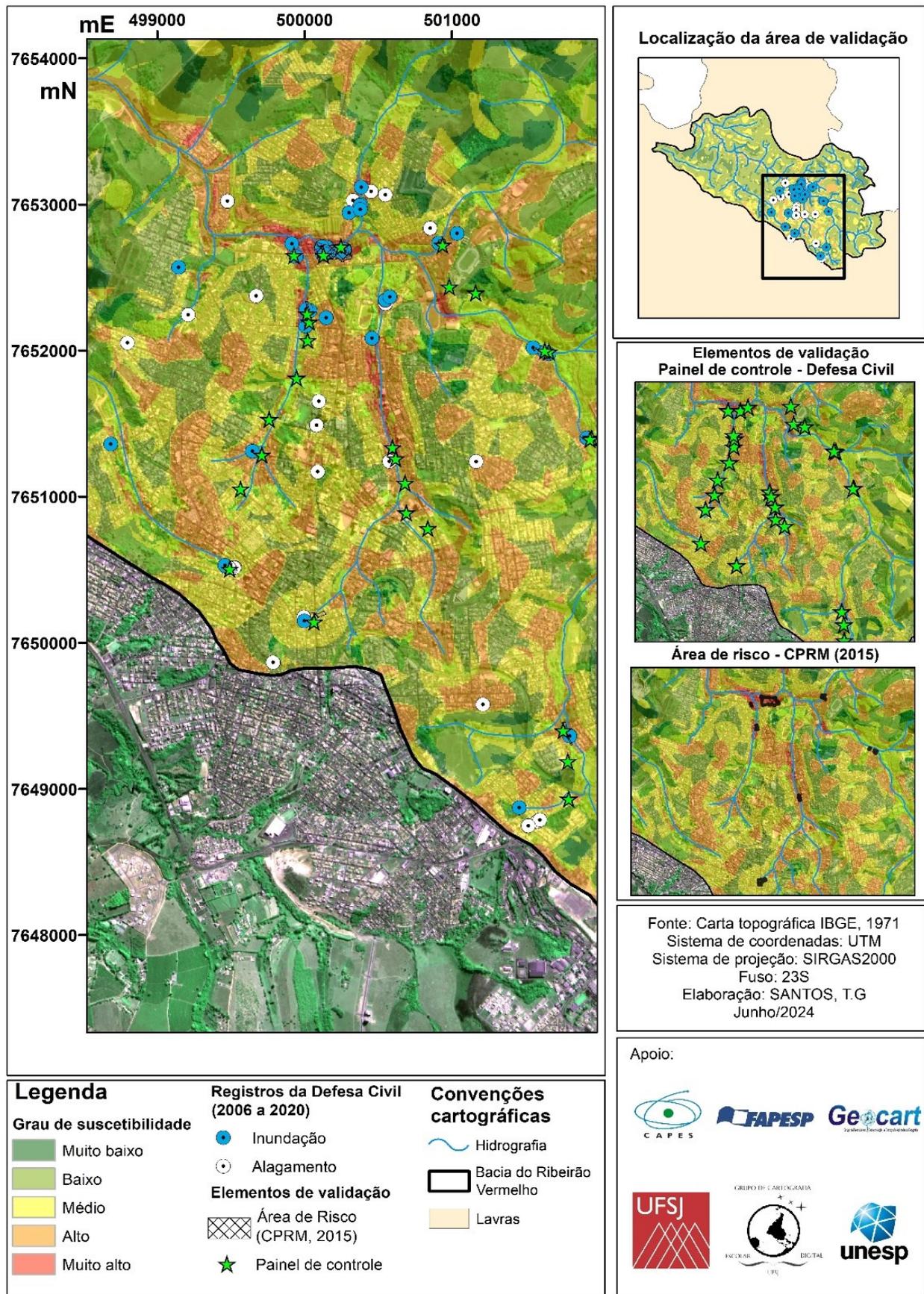
Apesar de haver semelhança com o grau de suscetibilidade anterior, a classe muito alta representa 0,34% da área total da bacia, cuja característica representa, restritamente, as declividades menores que 2° de inclinação, localizadas a menos de 30 metros dos rios. A capacidade média de infiltração das águas, somada à impermeabilização dos solos, favorece o represamento das águas nos eventos de inundações. Além disso, as cotas altimétricas menores que 840 metros configuram, na Bacia do Ribeirão Vermelho, as áreas de planície de inundação dos cursos hídricos.

A validação do modelo (**Figura 9**) indica que por meio da sobreposição dos limites estabelecidos pelo CPRM (PLAMCON, 2020) e dos registros de ocorrências de 2006 a 2020 as áreas coincidem com os graus de suscetibilidade que vão de médio a muito alto, o que demonstra um resultado condizente com a realidade na escala de 1:50.000. Esse procedimento atribui confiabilidade aos resultados gerados pelo modelo e possibilita a identificação de áreas cujas recorrências de desastres são mais frequentes.

Ressalta-se que as ocorrências localizadas nas classes de médio grau de suscetibilidade apontam para falhas estruturais da captação de água pluvial, como o rompimento de canais subterrâneos, entupimento de bueiros, entre outros problemas estruturais que, posteriormente, foram solucionados pela Prefeitura Municipal. A ação adotada pelo município explica a falta de novos registros de ocorrências. Já para os graus de suscetibilidade alto e muito alto, os registros apontam para a recorrência de chamadas junto à Defesa Civil em detrimento de impactos causados pelas inundações, além de problemas relacionados à infraestrutura consequentes das intensas precipitações.

Assim, busca-se orientar a tomada de decisão não somente da Defesa Civil em relação à prevenção dos riscos às inundações, mas, também, de outros departamentos da Prefeitura Municipal de Lavras como, por exemplo, a Secretaria de Meio Ambiente e a Secretaria de Obras Urbanas, de modo que se proponha novas possibilidades de análises e indicações nas referidas áreas que sirvam de subsídio para a criação de políticas públicas quando na revisão dos planos diretores voltados à gestão dos riscos na área urbana e na Bacia Hidrográfica.

Figura 9: Validação do modelo de suscetibilidade às inundações, Bacia do Ribeirão Vermelho, Lavras/MG



Fonte: Adaptado de Santos (2022).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A relação entre sociedade e natureza, neste artigo, demonstra o grau de suscetibilidade em que a Bacia do Ribeirão Vermelho se encontra e, conseqüentemente, as populações atingidas pelas inundações e alagamentos durante o período chuvoso. Como fatores agravantes a essa realidade, destacam-se as ações antrópicas (impermeabilização dos solos, retirada da cobertura vegetal, ocupação da planície de inundação, sistema de drenagem pluvial, entre outros) que condicionam o grau de suscetibilidade muito alto.

Os procedimentos metodológicos demonstraram-se adequados, conforme os objetivos iniciais. Os dados cartográficos possibilitam aos municípios brasileiros a realização de estudos iniciais voltados para o mapeamento de áreas de risco, conforme as exigências da Lei nº 12.608/2012 (BRASIL, 2012). Esses materiais permitem ao poder público reconhecer as áreas de maior ou menor suscetibilidade, podendo auxiliar diferentes repartições municipais na orientação de políticas públicas e ações para o planejamento urbano-ambiental.

As informações mapeadas podem fomentar as discussões presentes no atual governo do município Lavras/MG para a inclusão de um Plano Diretor de Bacias Hidrográficas Municipais como tema de futuras atualizações dos documentos públicos, como o Plano Diretor Municipal, o Plano Municipal de Saneamento Básico e outras futuras intervenções ambientais e/ou de expansão urbana.

Na área investigada, a integração entre os métodos da AMD e AHP demonstrou-se satisfatória em relação às variáveis sistêmicas adotadas para a representação das características da Bacia do Ribeirão Vermelho. A modelagem auxiliada por procedimentos estatísticos é validada pelo IC e RC (SAATY, 2006) e sua aplicabilidade demonstrou-se coerente.

A validação das informações mapeadas foi garantida via coleta de dados junto à Defesa Civil e pela aplicação dos questionários que possibilitaram atribuir confiabilidade às informações mapeadas, conforme o objetivo inicial da pesquisa. Ressalta-se que os resultados, por tratar de aspectos naturais, e a indicação de suscetibilidade não devem ser considerados um limite rígido, pois os fenômenos podem variar em função do volume pluviométrico coletado pela Bacia do Ribeirão Vermelho e de problemas de infraestrutura urbana que potencializam a elevação das águas.

Por fim, conclui-se que esta investigação possui relevância tanto no âmbito municipal quanto em discussões acadêmicas na tratativa de novas hipóteses e aplicações a partir deste experimento para outras áreas e/ou outros fenômenos.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por financiar a pesquisa de mestrado, processo número 88887.607668/2021-00 e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Processo nº 2022/15464-1, do qual a área de estudo faz parte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATHRELLOS, G. D.; GAKI-PAPANASTASSIOU, K.; SKILODIMOU, H. D.; PAPANASTASSIOU, D.; CHOUSIANITIS, K. G. Potential suitability for urban planning and industry development using natural hazard maps and geological–geomorphological parameters. **Environmental Earth Sciences**, v. 66, n. 2, p. 537-548, 2011.

BERTALANFFY, L. **Teoria Geral dos Sistemas**. 2ª ed. Petrópolis: Vozes, 1975.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Ra'Ega**, Curitiba, v. 1, n. 5, p. 141-152, 2004.

SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E.; ZACHARIAS, A. A. O reconhecimento da suscetibilidade às inundações e alagamentos na Bacia do Ribeirão Vermelho, Lavras/MG, Brasil. **Boletim de Geografia**, v. 42, p. 105-126, e67500, 27 set. 2024.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. **Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC**. Brasília, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm. Acesso em: 22 jun. 2021.

CHORLEY, R. J. “Geography and analogue theory”. **Annals of the Association of American Geographers**. v. 54, n. 1, p. 127-137, 1964.

CHOWDARY, V.M.; CHAKRABORTHY, D.; JEYARAM, A. KRISHNA MURTHY, Y. V. N.; SHARMA, J. R.; DADHWAL, V. K. Multi-Criteria decision making approach for watershed prioritization using analytic hierarchy process technique and GIS. **Water Resources Management**, 27 (10), 3555–3571, 2013.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: Edusp, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagens de sistemas ambientais**. São Paulo: Blucher, 1999.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes**: Lavras, MG. 2015. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19140/>. Acesso em: 07 fev. 2020.

FADHIL, M.; RISTYA, Y.; OKTAVIANI, N.; KUSRATMOKO, E. Flood vulnerability mapping using the spatial multi-criteria evaluation (SMCE) method in the Minraleng Watershed, Maros Regency, South Sulawesi. **E3S Web of Conferences**, v. 153, p. 1-7, 2020.

FERNÁNDEZ, D.S.; LUTZ, M.A. Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. **Engineering Geology**, v. 111, n. 1-4, p. 90-98, 2010.

FEST, F. D. de C. **Projeto CURA: complementação urbana e mudanças espaciais**. 2005. 186 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Urbanismo - Proureb, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2005.

FLORENZANO, T. G. (org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FUNDECC. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Lavras – Volume 1 a 3**: por FUNDECC – Lavras, Minas Gerais: [s.n.], 2016.

GIGOVIĆ, L. PAMUČAR, D.; BAJIĆ, Z.; DROBNJAK, S. Application of GIS-Interval Rough AHP Methodology for Flood Hazard Mapping in Urban Areas. **Water**, v. 9, n. 6, p. 1-26, 24, 2017.

GUO, E.; ZHANG, J.; REN, X.; ZHANG, Q.; SUN, Z. Integrated risk assessment of flood disaster based on improved set pair analysis and the variable fuzzy set theory in central Liaoning Province, China. **Natural Hazards**, v. 74, n. 2, p. 947-965, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/266321954_Integrated_risk_assessment_of_flood_disaster_based_on_improved_set_pair_analysis_and_the_variable_fuzzy_set_theory_in_central_Liaoning_Province_China. Acesso em: 17 mai. 2020.

SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E.; ZACHARIAS, A. A. O reconhecimento da suscetibilidade às inundações e alagamentos na Bacia do Ribeirão Vermelho, Lavras/MG, Brasil. **Boletim de Geografia**, v. 42, p. 105-126, e67500, 27 set. 2024.

HAGGETT, P.; CHORLEY, R. J. Models, Paradigmes and The New Geography. In: **Models In Geography**. CHORLEY, R. J. e HAGGETT, P. (Ed.), Londres: Methuen & Co., p. 19-41, 1967.

IBGE. **Clima**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/climatologia/15817-clima.html>. Acesso em: 19 out. 2023.

JENSEN, J. R.; EPIPHANIO, J. C. N. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2011.

LIMBERGER, L. Abordagem sistêmica e complexidade na geografia. **Geografia**, Londrina, v. 15, ed. 2, p. 95 - 109, 2006.

MATERANO, L. S.; BRITO, J. L. S. Fragilidade ambiental potencial da Bacia Hidrográfica do Rio Castán, estado Trujillo - Venezuela. **Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 73, p. 86-97, 2020. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/47216>. Acesso em: 27 abr. 2020.

MARTINELLI, M. Cartografia ambiental: uma cartografia diferente? **Revista do Departamento de Geografia**. USP, São Paulo. n. 7, p. 61-80, 1994.

MARTINELLI, M. Cartografia Dinâmica: tempo e espaço nos mapas. **GEOUSP- Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 18, p. 53 – 66, 2005.

MARTINELLI, M. Cartografia ambiental: um mapa de síntese. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 35, 2018.

MORE. **Mecanismo online para referências, versão 2.0**. Florianópolis: UFSC: Rexlab, 2013. Disponível em: <http://www.more.ufsc.br/>. Acesso em: 21 jun. 2024.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em análise de multicritérios. **Anais do XIII Simpósio de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, Florianópolis/SC, Anais... São José dos Campos/SP: INPE, 2007.

MOURA, A. C. M. Learning Topics in Urban Planning at UFMG: geoprocessing to support analysis, planning and proposal of the urban landscape at neighborhood scale. In. 5º Seminário Internacional de Planejamento e Gestão Ambiental - **URBENVIRON Brasília 2012**, Respostas Urbanas às Mudanças Climáticas Paranoá, 2012.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014.

ÖNDEN, I. integrating GIS with F-AHP for locating a single facility. **Transport**, v. 33, n. 5, p. 1173-1183, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3846/transport.2018.6677>. Acesso em: 19 jan. 2022.

OGATO, G. S.; BANTIDER, A.; ABEBE, K.; GENELETTI, D. Geographic information system (GIS)-Based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo Town and its watershed, West shoa zone, oromia regional State, Ethiopia. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 27, p. 1-18, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581819300801>. Acesso em: 16 abr. 2020.

PLAMCON. **Plano Municipal de Contingência**. Lavras, 2020.

RAHMATI, O.; ZEINIVAND, H.; BESHARAT, M. Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 7, n. 3, p. 1000-1017, 2015. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/19475705.2015.1045043?needAccess=true>. Acesso em: 22 abr. 2020.

RIBEIRO, M. C. C. R.; ALVES, A. S. Aplicação do método Analytic Hierarchy Process (AHP) com a mensuração absoluta num problema de seleção qualitativa. **Sistemas & Gestão**, v. 11, n. 3, p. 270-281, 2016. Disponível em: <http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/view/988/494>. Acesso em 27 abr. 2020.

RIMBA, A.; SETIAWATI, M. D.; SAMBAH, A. B.; FUSANORI, M. Physical Flood Vulnerability Mapping Applying Geospatial Techniques in Okazaki City, Aichi Prefecture, Japan. **Urban Science**, v. 1, n. 1, p. 7, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/313109466_Physical_Flood_Vulnerability_Mapping_Applying_Geospatial_Techniques_in_Okazaki_City_Aichi_Prefecture_Japan. Acesso em: 13 mai. 2020.

SAATY, T. L. Response to Holder's Comments on the Analytic Hierarchy Process: response to the response to the response. **Journal of the Operational Research Society**, v. 42, n. 10, p. 918-924, 1991. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1057/jors.1991.178>. Acesso em: 7 mar. 2022.

SAATY, T. L. **Analytic Hierarchy Process**. **Encyclopedia of Biostatistics**, p. 1-9, 2005. John Wiley & Sons, Ltd. Disponível em: http://www.colorado.edu/geography/leyk/geog_5113/readings/saaty_2008.pdf. Acesso em: 02 abr. 2020.

SAATY, T. L. There is no mathematical validity for using fuzzy number crunching in the analytic hierarchy process. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v. 15, n. 4, p. 457-464, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11518-006-5021-7>. Acesso em: 7 mar. 2022.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **Int. J. Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008. Disponível em: <https://www.inderscienceonline.com/doi/pdf/10.1504/IJSSci.2008.01759>. Acesso em: 03 abr. 2020.

SANTOS, T. G. **A cartografia de síntese no inventário das zonas suscetíveis aos riscos de inundação e alagamento na área urbana de Lavras/MG**: reconhecimento e detalhamento das interações sistêmicas na dinâmica da paisagem. 2022. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia (Ppgeog), Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ), São João Del-Rei, 2022.

SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E. Mapeamento digital das áreas propícias às enchentes e inundações na bacia do Córrego do Lenheiro em São João del-Rei – MG. **Revista Percursos**, v. 18, n. 36, p. 95-124, 2017a. Universidade do Estado de Santa Catarina. Disponível em: <http://www.revistas.udesc.br/index.php/percursos/article/view/984724618362017095>. Acesso em: 14 abr. 2020.

SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E. Análise multicritério: modelos de interesse ambiental e de áreas

propícias à expansão urbana na bacia do córrego do lenheiro. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 9, n. 64, p. 1-18, 2017b. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/40912/21635>. Acesso em: 14 abr. 2020.

SEMAD, Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema)**. 2022. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>. Acesso em: 08 mar. 2022.

SENA, J. N. **O uso de sistema de informação geográfica na avaliação de diferentes alternativas de geração de cartas de suscetibilidade à erosão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.

SOARES JÚNIOR, C. J. R. Utilização da técnica AHP nos índices de vulnerabilidade natural a erosão na bacia hidrográfica do Igarapé São Francisco como suporte para o ordenamento territorial. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 5, p. 694-704, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2020.005.0061>. Acesso em: 27 jun 2021.

SOUSA, M. C. S. **As propostas metodológicas para a Cartografia Ambiental: uma revisão**. 2009. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

STIEGLITZ, M. RIND, D.; FAMIGLIETTI, J.; ROSENZWEIG, C. An Efficient Approach to Modeling the Topographic Control of Surface Hydrology for Regional and Global Climate Modeling. **Journal of Climate**, v. 10, n. 1, p. 118-137, 1997. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(1997\)0102.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1997)0102.0.co;2). Acesso em: 30 jul. 2020.

STRAHLER, A. N. Equilibrium Theory of Erosional Slopes Approached by Frequency Distribution Analysis - Part I. **Am. Jour. Sci.**, 248, 673-696, 1950.

STRAHLER, A. N. Statistical Analysis in Geomorphic Research. **The Journal of Geology**, v. 62, n. 1, p. 1-25, 1954. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/30080861?seq=1>. Acesso em: 30 jul. 2020.

TINÉ, M.; PEREZ, L.; MOLOWNY-HORAS, R. Fundamentos teóricos de modelagem em sistemas complexos. **Revista Contexto Geográfico**, v. 4, n. 7, p. 111, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.28998/contegeo.v4i7.8363>. Acesso em: 30 mai. 2021.

TONETTI, E. L.; NUCCI, J. C.; SILVA DE SOUZA, F. X.; VALASKI, S. Alagamentos Frequentes na área urbana de Paranaguá-PR. **Geografia**, Londrina, v. 22, n. 2, p. 43-56, 2013. Disponível em: <https://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/11899/15175>. Acesso em: 13 abr. 2022.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem Sistêmica e Geografia. **GEOGRAFIA**, Rio Claro, v. 28, n. 3, p. 323-344, 2003.

WANG, Y.; LI, Z.; TANG, Z.; ZENG, G. A GIS-Based Spatial Multi-Criteria Approach for Flood Risk Assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China. **Water Resour Manage** 25,

p. 3465–3484, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9866-2>. Acesso em: 17 ago. 2020.

ZACHARIAS, A. A.; VENTORINI, S. E. A Cartografia de Síntese, o ambiente e a paisagem: caminhos, desafios, perspectivas e proposta metodológica. **Geografia: Publicações Avulsas**, Teresina, v. 3, n. 1, p. 107-144, 2021. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br/index.php/geografia/article/view/12022/7797>. Acesso em: 08 mar. 2022.



Informações sobre a Licença

Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.

License Information

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which allows for unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, as long as the original work is properly cited.