



**UFOP**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas – Departamento de Engenharia Urbana

Curso de Graduação em Engenharia Urbana



**ESCOLA DE MINAS**

Jordanna Misson Mota dos Anjos

**ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO USO E  
OCUPAÇÃO DO SOLO EM PROCESSOS DE INUNDAÇÃO: APLICAÇÃO E  
COMPARAÇÃO DE CENÁRIOS EM JUIZ DE FORA (MG)**

Ouro Preto

2023

ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO USO E  
OCUPAÇÃO DO SOLO EM PROCESSOS DE INUNDAÇÃO: APLICAÇÃO E  
COMPARAÇÃO DE CENÁRIOS EM JUIZ DE FORA (MG)

Jordanna Misson Mota dos Anjos

Projeto Final de Curso apresentado como  
parte dos requisitos para obtenção do  
Título de Bacharel em Engenharia Urbana  
na Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 23/08/2023

Áreas de concentração: Planejamento Urbano e Recursos hídricos

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. D.Sc. Bárbara Cristina Mendanha Reis – UFOP

Co-orientador: Prof. D.Sc. César Falcão Barella – UFOP

Ouro Preto

2023

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

Anulla Anjos, Jordanna Misson Mota dos.

Análise multicritério para estudo da influência do uso e ocupação do solo em processos de inundação [manuscrito]: aplicação e comparação de cenários em Juiz de Fora (MG). / Jordanna Misson Mota dos Anjos. - 2023.

104 f.: il.: color., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Bárbara Cristina Mendanha Reis.

Coorientador: Prof. Dr. César Falcão Barella.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Urbana .

1. Bacias hidrográficas. 2. Solos - Inundação. 3. Solos - Inundação - Prognóstico. 4. Processo decisório por critério múltiplo. I. Reis, Bárbara Cristina Mendanha. II. Barella, César Falcão. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 62:711.4

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Jordanna Misson Mota dos Anjos**

**Análise multicritério para estudo da influência do uso e ocupação do solo em processos de inundação: aplicação e comparação de cenários em Juiz de Fora (MG)**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Urbana da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Urbana.

Aprovada em 23 de agosto de 2023

### Membros da banca

- [Doutora] - Bárbara Cristina Mendanha Reis - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)
- [Doutor] - César Falcão Barella- Coorientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
- [Doutora] - Aline de Araújo Nunes (Universidade Federal de Ouro Preto)
- [Doutora] - Iraydes Tálita de Sena Nola (Universidade Federal de Ouro Preto)

Bárbara Cristina Mendanha Reis, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 25/09/2023.



Documento assinado eletronicamente por **Bárbara Cristina Mendanha Reis, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/09/2023, às 13:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0580554** e o código CRC **4333221C**.

*Provérbios 16, 9:*

*“O coração humano projeta o caminho,  
mas é o senhor quem dirige os passos.”*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus por me conduzir até aqui e por nunca me deixar sozinha nessa jornada. Só ele sabe o quanto esse momento significa para mim, afinal, foram dias de alegria mas também muito choro. É com muita gratidão que digo que entendi o versículo “Aqueles que semeiam entre lágrimas, colherão com alegria”. Chegou a hora da colheita. E não posso deixar de mencionar, Nossa Senhora em especial com o título de Lourdes, que sempre me acompanha e passa a frente em todos os meus caminhos, obrigada mamãe!

Aos meus pais, Élade e Adriano por sempre acreditarem em mim e me apoiarem nas decisões que tomo em minha vida. A toda a minha família que sempre está na torcida por mim. Escolher me graduar em Engenharia Urbana foi entrar num mar de incertezas, principalmente por ser um curso novo sendo ainda construído. No entanto, a cada nova descoberta e etapa de concretização do curso eu tive certeza que tomei a decisão certa e me apaixonei. Com o tempo foram entrando os professores das disciplinas específicas e ... Meu Deus! Sou imensamente grata pelas aulas ministradas com tanta dedicação. Passamos por muita coisa nessa trajetória, mas que felicidade a minha aprender com profissionais assim e ser parte da primeira turma de Engenharia Urbana do Brasil.

Agradeço especialmente a Aline pelas oportunidades no meio acadêmico, pelos ensinamentos e por me apresentar a área de recursos hídricos. Posso dizer que me encontrei. Minha gratidão à Bárbara Mendanha pela orientação nesse e em outros trabalhos e pelas partilhas de vida. A Clívia que me ajudou na construção do tema deste trabalho e ao César, que me ajudou a usar o *plugin* e outras ferramentas em geoprocessamento. Sem essa orientação eu não conseguiria.

Agradeço a UFOP e a CPRM pelas bolsas de fomento. Ser bolsista em iniciação científica, sem dúvida foi uma experiência única e muito importante na minha vida e ela não teria sido tão incrível se eu não tivesse ao meu lado Juliana e Vinícius. Obrigada por tudo, gente! Passamos muitos perrengues, mas guardo com muito carinho na memória as nossas reuniões intermináveis no *Google Meet*. Vocês são pessoas maravilhosas e fico muito feliz em vê-los alçando vôo.

Obrigada, UFOP ! E viva a Escola de Minas !!! Viva ! Viva !

## RESUMO

Os recursos hídricos, mais especificamente os superficiais, demonstram sua importância no desenvolvimento das civilizações ao longo dos anos. As aglomerações urbanas se consolidaram ao redor de corpos hídricos, visando as facilidades no abastecimento de água, transporte, comunicação entre outras. No entanto, atualmente, essa relação mostra-se alterada principalmente em decorrência de eventos extremos de inundação, enchentes e alagamentos que afligem o meio urbano. Tal situação no Brasil está diretamente relacionada com a expansão urbana desordenada, que carece de um planejamento urbano e regional vinculado à gestão de recursos hídricos, haja vista que as cidades se encontram inseridas em bacias hidrográficas. Nesse contexto, visando contribuir com uma nova ferramenta de auxílio na gestão das cidades principalmente vinculada com os recursos hídricos, o presente trabalho objetivou realizar uma análise temporal do uso e ocupação do solo em Juiz Fora, que frequentemente é castigada com eventos de inundação, realizando também uma previsão do uso e ocupação para o ano de 2030, por meio do *plugin* Molusce do *software* QGIS. Assim, considerando que alterações no uso e ocupação influem diretamente nos eventos de inundação, utilizando o processo de análise hierárquica (AHP), gerou-se mapas de suscetibilidade a inundação para a sub-bacia hidrográfica na qual o município está inserido, para os anos 1990, 2020 e 2030, para fins de comparação de cenários. Além disso, um mapa de validação do método empregado foi feito a partir do levantamento de pontos de inundação e alagamento no município. Os resultados da análise do uso e ocupação do solo mostraram que Juiz de Fora teve um crescimento urbano mais expressivo entre 1990 e 2000. Nos demais intervalos a urbanização apresentou uma taxa de crescimento em declínio. Houve aumento constante da classe floresta assim como aumento de urbanização em áreas isoladas indicando a presença de condomínios. A simulação para 2030 apontou uma estagnação da urbanização em termos de área. Os mapas de suscetibilidade à inundação e alagamento mostraram que as áreas com suscetibilidade alta e muito alta são, em grande maioria, áreas urbanas da sub-bacia. As manchas de suscetibilidade se alteraram ao longo dos anos conforme aumento da infraestrutura urbana. Para 2030, o mapa de suscetibilidade não teve alterações expressivas em relação ao cenário atual. Por fim, a partir do mapa de validação, constatou-se que as áreas de ocorrência de inundações e alagamentos estão nas áreas de suscetibilidade alta e muito alta, principalmente na região central e sudeste do município. A metodologia empregada mostrou-se como uma boa ferramenta para estudos do uso e ocupação do solo em sub-bacias hidrográficas e suas implicações em termos de gestão de recursos hídricos.

Palavras-chaves: sub-bacia hidrográfica, simulação de cenário futuro, método multicriterial, suscetibilidade a inundação, geoprocessamento.

## ABSTRACT

Water resources, more specifically surface water, have demonstrated their importance in the development of civilizations over the years. Urban agglomerations have been consolidated around water bodies, aiming at facilities in water supply, transportation, communication, among others. However, currently, this relationship is altered mainly due to extreme flooding events, floods and floods that afflict the urban environment. This situation in Brazil is directly related to disordered urban expansion, which lacks urban and regional planning linked to water resources management, given that cities are inserted in watersheds. In this context, aiming to contribute with a new tool to assist in the management of cities mainly linked to water resources, the present work aimed to carry out a temporal analysis of land use and occupation in Juiz Fora, which is often punished with flood events, also making a prediction of use and occupation for the year 2030, through the plugin Molusce of the QGIS software. Thus, considering that changes in use and occupation directly influence flood events, using the hierarchical analysis process (AHP), flood susceptibility maps were generated for the sub-basin in which the municipality is inserted, for the years 1990, 2020 and 2030, for the purpose of comparing scenarios. In addition, a validation map of the method employed was made from the survey of flooding and flooding points in the municipality. The results of the analysis of land use and occupation showed that Juiz de Fora had a more expressive urban growth between 1990 and 2000. In the other intervals, urbanization presented a declining growth rate. There was a constant increase in the forest class as well as an increase in urbanization in isolated areas indicating the presence of condominiums. The simulation for 2030 indicated a stagnation of urbanization in terms of area. The flood susceptibility maps showed that the areas with high and very high susceptibility are mostly urban areas of the sub-basin. The susceptibility patches have changed over the years as urban infrastructure has increased. For 2030, the susceptibility map had no significant changes compared to the current scenario. Finally, from the validation map, it was found that the areas of occurrence of flooding are in the areas of high and very high susceptibility, mainly in the central and southeastern regions of the municipality. The methodology employed proved to be a good tool for studies of land use and occupation in sub-basins and its implications in terms of water resources management.

Keywords: Sub-watershed, Future scenario simulation, Multi-criteria method, Susceptibility to flooding, Geoprocessing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Componentes de uma bacia hidrográfica.....	4
Figura 2- Esquema dos princípios básicos do AHP.....	9
Figura 3- Localização de Juiz de Fora .....	15
Figura 4- Manchete das notícias referente aos estragos provocados por um temporal no dia 24 de janeiro de 2023, em Juiz de Fora .....	17
Figura 5- Recorte da notícia referente à inundação ocorrida em 24 de Janeiro de 2023 em Juiz de Fora .....	17
Figura 6- Manchete de notícia referente ao evento de inundação ocorrido em 11 de janeiro de 2022, no município de Juiz de Fora .....	18
Figura 7- Manchete de notícia referente aos estragos provocados por um temporal ocorrido em 17 de dezembro de 2021, no município de Juiz de Fora .....	18
Figura 8- Localização das sub-bacias em Juiz de Fora e localização quanto à bacia do rio Paraíba do Sul.....	19
Figura 9- Fluxograma da primeira etapa metodológica .....	29
Figura 11-Fluxograma das etapas do método AHP.....	41
Figura 12- Mapa da sub-bacia em estudo com sobreposição da região de planejamento da cidade, um pré-requisito à sua delimitação .....	42
Figura 13- Mapas do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica de Juiz de fora entre 1990 e 2020.....	44
Figura 14- Mapa da expansão da infraestrutura urbana de Juiz de fora entre 1990 e 2020 .....	48
Figura 15- Mapa categorizado da variável declividade do município de Juiz de Fora ...	51
Figura 16- Mapa categorizado da variável distância de rodovias e vicinais do município de Juiz de Fora .....	52
Figura 17- Mapa categorizado da variável distância de drenagem do município de Juiz de Fora .....	53
Figura 18- Comparação de mapas do uso do solo em Juiz de Fora: .....	56

Figura 19- Comparação de mapas do uso do solo em Juiz de Fora: .....	57
Figura 20- Mapa simulado para 2030 do uso e ocupação do solo na sub-bacia hidrográfica na qual Juiz de Fora está inserida .....	59
Figura 21- Classes de declividade e seus respectivos critérios de importância quanto ao favorecimento de ocorrência à inundação.....	62
Figura 22- Classes de hipsometria e seus respectivos critérios de importância quanto ao favorecimento de ocorrência à inundação.....	64
Figura 23- Classes de uso do solo em 1990 e seus respectivos critérios de importância quanto ao favorecimento de ocorrência à inundação .....	66
Figura 24- Classes de uso do solo em 2020 e seus respectivos critérios de importância quanto ao favorecimento de ocorrência à inundação .....	67
Figura 25- Classes de uso do solo em 2030 e seus respectivos critérios de importância quanto ao favorecimento de ocorrência à inundação .....	68
Figura 26 - Classes de solos e seus respectivos critérios de importância quanto ao favorecimento de ocorrência à inundação.....	70
Figura 27- Mapa de suscetibilidade a inundações da sub-bacia hidrográfica de Juiz de Fora com uso e ocupação do solo em 1990 .....	74
Figura 28- Mapa de suscetibilidade a inundações da sub-bacia hidrográfica de Juiz de Fora ampliado, com uso e ocupação do solo em 1990 .....	75
Figura 29- Mapa de suscetibilidade a inundações da sub-bacia hidrográfica de Juiz de Fora com uso e ocupação do solo em 2020 .....	76
Figura 30- Mapa de suscetibilidade a inundações da sub-bacia hidrográfica de Juiz de Fora ampliado, com uso e ocupação do solo em 2020 .....	77
Figura 31- Mapa de suscetibilidade a inundações da sub-bacia hidrográfica de Juiz de Fora com uso e ocupação do solo em 2030 .....	78
Figura 32- Mapa de suscetibilidade a inundações da sub-bacia hidrográfica de Juiz de Fora ampliado, com uso e ocupação do solo em 2030 .....	79
Figura 33- Mapa de suscetibilidade a inundações da sub-bacia hidrográfica de Juiz de Fora com imagem de satélite, com os pontos de inundação e alagamentos recorrentes.....	83

Figura 34- Mapa de suscetibilidade a inundações da sub-bacia hidrográfica de Juiz de Fora com imagem de satélite, ampliado, com os pontos de inundação e alagamentos recorrentes ..... 84

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- População Juiz-forana de 1970 a 2022.....	16
Tabela 2- Classificação da qualidade da simulação segundo os valores de Kappa .....	28
Tabela 3- Grupos de hipsometria e seus respectivos pesos de importância .....	32
Tabela 4- Classes de declividade e seus respectivos pesos de importância quanto ao favorecimento de ocorrência à inundação.....	33
Tabela 5- Classes de uso e ocupação do solo e seus respectivos pesos de importância quanto ao favorecimento de ocorrência à inundação .....	34
Tabela 6- Descrição de intensidade dos pesos para julgamento comparativo (continua) .....	36
Tabela 6- Descrição de intensidade dos pesos para julgamento comparativo (conclusão) .....	37
Tabela 7- Matriz pareada utilizada .....	37
Tabela 8- Índice randômico de acordo com a ordem da matriz.....	39
Tabela 9- Evolução temporal das classes de uso e ocupação, em hectares.....	45
Tabela 10- Evolução temporal das classes de uso e ocupação, em porcentagem.....	45
Tabela 11- Resultados referentes ao teste de correlação V de Cramer para as variáveis independentes .....	54
Tabela 12- Índices de validação das simulações .....	55
Tabela 13- Evolução temporal das classes de uso e ocupação, em hectares.....	60
Tabela 14- Evolução temporal das classes de uso e ocupação, em porcentagem.....	60
Tabela 15- Matriz pareada com a soma dos valores de cada uma de suas colunas, como pré-requisito para normalização dos valores.....	71
Tabela 16- Matriz normalizada a partir da divisão de cada elemento pela soma dos valores de suas respectivas colunas e conferência da normalização por meio do somatório destas	71
Tabela 17- Resultado dos autovetores.....	72
Tabela 18- Equacionamentos para conferência de consistência dos julgamentos .....	73
Tabela 19- Resultado da razão de consistência.....	73

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	Objetivo .....	3
1.1.1	Objetivos Específicos .....	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1	Bacias hidrográficas e eventos de cheia .....	4
2.2	Planejamento urbano e territorial e manejo de águas urbanas .....	5
2.4	Inundação, enchente e alagamento.....	7
2.5	Análise multicritério: método AHP .....	8
2.6	Sistemas de informações geográficas .....	10
2.7	Predição de cenários de expansão urbana .....	11
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	14
4	METODOLOGIA .....	20
4.1	Delimitação da bacia hidrográfica.....	20
4.2	Cenário futuro de uso e ocupação do solo .....	20
4.2.1	Variáveis independentes .....	22
4.2.2	Variáveis dependentes .....	23
4.2.3	Análise de correlação das variáveis independentes.....	25
4.2.4	Mudanças no uso e ocupação do solo .....	26
4.2.5	Predição e validação com índice Kappa.....	26
4.3	Método AHP .....	30
4.3.1	Definição de fatores influentes na suscetibilidade a inundação .....	30
4.3.2	Reclassificação das imagens de satélite .....	31
4.3.3	Construção da matriz pareada .....	36
4.3.4	Construção da matriz normalizada .....	38
4.3.5	Determinação do autovetor (w) .....	38
4.3.6	Determinação da razão de consistência (RC) .....	38
4.3.7	Mapa de suscetibilidade a inundações para 1990, 2020 e 2030 .....	39
4.3.8	Validação do AHP .....	40

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	42
5.1 Sub-bacia delimitada .....	42
5.2 Mudanças no uso e ocupação do solo (1990-2020) .....	43
5.3 Simulação para 2030: análise de correlação das variáveis independentes .....	50
5.4 Validação das simulações para 2010 e 2020 e resultado para 2030.....	54
5.5 Análise de suscetibilidade à inundação e alagamento .....	61
5.5.1 Declividade .....	61
5.5.2 Hipsometria .....	63
5.5.3 Uso e ocupação .....	65
5.5.4 Tipo de solo .....	69
5.5.5 Matriz pareada e autovetores determinados .....	71
5.5.6 Mapas de suscetibilidade a inundação .....	73
5.5.7 Validação do AHP .....	81
6 CONCLUSÃO .....	87
6.1 Sugestões para trabalhos futuros .....	88
REFERÊNCIAS .....	89

## 1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos, mais especificamente os superficiais, demonstram sua importância no desenvolvimento das civilizações ao longo dos anos. Nesse sentido, as aglomerações urbanas se consolidaram ao redor de corpos hídricos para a garantia do abastecimento de água, recebimento de efluentes produzidos, além de garantias relacionadas às facilidades no que se refere à comunicação e transporte. Dessa maneira, as cheias que ocorriam não eram malvistas, pelo contrário, eram bem aceitas considerando os benefícios provenientes do crescimento das cidades ao longo dos rios (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2002). Todavia, a relação existente entre a população e os cursos d'água vem se alterando e, na atualidade, eventos de cheia são motivos de preocupação dos cidadãos e poder público.

Nesse contexto, o intenso processo de urbanização nas últimas décadas tem impactado negativamente e de forma expressiva na quantidade e qualidade dos recursos hídricos. As mudanças na capacidade dos canais e nos processos fluviais - reflexo dos processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos - provocam o aumento do pico de descarga e assoreamento dos rios, bem como a deposição incorreta de resíduos urbanos, contribuindo para o aumento de enchentes e inundações em meio urbano (GIRÃO e CORRÊA (2015) e CARVALHO *et al.* (2017)).

Em 2007, a população urbana ultrapassou a população rural pela primeira vez na história (COSTA *et al.*, 2014). De acordo com o Programa das Nações Unidas para assentamentos Humanos (UN- Habitat), entre 1950 e 2011, o número de pessoas vivendo nas cidades quintuplicou (COSTA *et al.*, 2014). Na maioria das vezes, esse crescimento urbano ocorre de forma desordenada, com as pessoas ocupando uma determinada área de maneira não planejada, sem uma prévia análise das implicações dessa ação sobre o espaço. Como consequência, esses locais possuem muitas vezes infraestrutura precária, riscos à erosão e deslizamentos, falta de redes de abastecimento de água, coleta de esgoto e de drenagem.

À luz do exposto, o crescimento das cidades mostra-se um processo incapaz de ser freado e reversível e, como tentativa de orientação desse crescimento das

idades, o ordenamento e planejamento urbano e territorial apresentam-se como cruciais no que tange à gestão e controle dos espaços urbanos.

Dentre os aspectos a serem considerados na gestão do ambiente urbano frente ao crescimento acelerado, a drenagem exerce grande importância para articulação da gestão hídrica com a gestão do uso do solo, uma vez que os recursos hídricos estão fortemente ligados com o desenvolvimento urbano. Logo, para que a gestão dos recursos hídricos seja efetiva e realmente contribua para a prevenção de eventos de cheias e inundações, é necessária uma gestão que considere as características físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais presentes na bacia hidrográfica na qual a cidade encontra-se inserida (CARVALHO, 2020).

Nesse contexto, o uso do geoprocessamento e dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), por exemplo, são meios tecnológicos da cartografia, que permitem a análise, integração, consulta, interpretação e realização de prognósticos de uma determinada área. Dessa forma, o monitoramento e predição da expansão urbana, por meio de mapeamento obtido via geoprocessamento, produz informações básicas para os gestores realizarem o planejamento urbano de longo prazo. Posto isto, com o auxílio dessas ferramentas os gestores podem fazer a avaliação atual do uso do solo bem como a demanda de uso apresentada (aumento de residências, comércio, por exemplo) e tomar medidas para adequação da oferta futura (COSTA *et al.*, 2013).

Ainda no que se refere ao geoprocessamento, considerando a problemática de inundações, a análise multicriterial por meio de softwares, como o IDRISI (BRITO, 2014; LIMA, 2010), modelos como o *Height Above the Nearest Drainage* (HAND) (GOERL *et al.*, 2017; NOBRE *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2013) e o emprego do Processo de Análise Hierárquica (do inglês *Analytic Hierarchy Process*, AHP) (DIAS *et al.*, 2021; OLIVEIRA, 2020; REZENDE *et al.*, 2017) estão sendo implementados para o mapeamento de áreas de suscetibilidade a inundações nas bacias hidrográficas, sobretudo em meios urbanos. Tal mapeamento mostra-se uma ferramenta valiosa para auxílio na tomada de decisões referentes aos recursos hídricos, especialmente ao sistema de drenagem urbana das cidades.

Em vista dos tópicos apresentados, esse trabalho se propõe a realizar um estudo acerca das mudanças do uso e ocupação do solo, considerando cenários futuros para

o município de Juiz de Fora (MG). Este local sofreu um crescimento acelerado nos últimos anos, tornando-se um polo regional que exerce grande influência sobre sua circunvizinhança e, embora seja uma cidade bem desenvolvida, o município é frequentemente assolado por inundações e alagamentos. Visando contribuir com as ações para mitigação das consequências da ocorrência de eventos hidrológicos extremos no município, este trabalho também realizará o mapeamento de áreas de suscetibilidade a inundações e alagamentos da bacia hidrográfica na qual o município encontra-se inserido.

## **1.1 Objetivo**

Estudar as mudanças no uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica na qual Juiz de Fora está inserido e analisar a influência dessas mudanças na suscetibilidade a inundações e alagamentos do município, considerando um cenário futuro.

### **1.1.1 Objetivos Específicos**

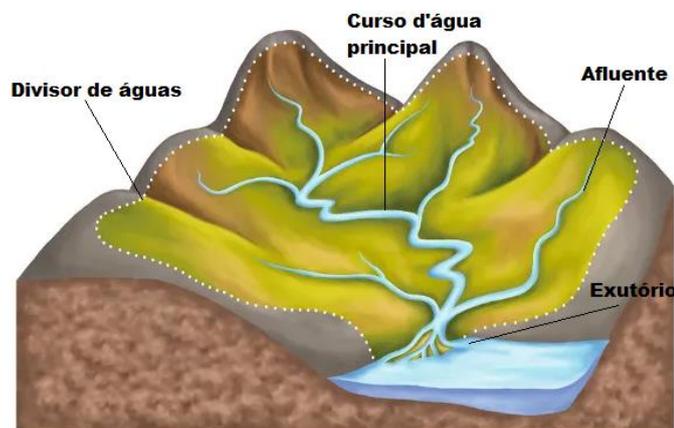
Ao objetivo geral, são associados os seguintes objetivos específicos:

- realizar uma avaliação multitemporal do processo de uso e ocupação do solo no município Juiz de Fora;
- desenvolver a simulação da evolução de uso e cobertura do solo a partir da tendência histórica; e
- mapear e comparar as áreas de suscetibilidade a inundações e alagamentos na área de estudo considerando o cenário de uso e ocupação do solo passado, atual e o predito.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Bacias hidrográficas e eventos de cheia

A bacia hidrográfica corresponde a uma área delimitada por topos de morro e no interior desse ambiente ocorre a entrada de água pela captação e drenagem das chuvas por ravinas, canais e afluentes, que direcionam as águas pluviais para um curso d'água principal (ZACCHI *et al.*, 2012). Em contrapartida, a saída das águas de uma bacia acontece em um ponto denominado exutório, o que possibilita a delimitação de bacias e sub-bacias que possuem interconexões por meio dos sistemas hídricos (PORTO e PORTO, 2008). Na Figura 1 estão ilustradas as definições apresentadas.



**Figura 1-** Componentes de uma bacia hidrográfica

Fonte: adaptado de Brasil Escola (2022)

Quanto aos aspectos físicos de uma bacia hidrográfica é importante destacar que cada uma possui suas particularidades: (i) declividade, (ii) hipsometria, (iii) uso e ocupação do solo e (iv) características morfométricas, tais como o tamanho e o formato da bacia. Esses fatores são determinantes para os diferentes comportamentos das bacias hidrográficas em eventos hidrológicos (SILVEIRA e TUCCI, 1998).

Em relação aos processos que ocorrem no interior de uma bacia hidrográfica, as ações antrópicas se destacam uma vez que interferem diretamente e fortemente na dinâmica desta. As áreas urbanas, industriais, agrícolas e ou de preservação exercem influência no que toca ao processo de infiltração e escoamento das águas pluviais

(PORTO e PORTO, 2008). Ainda segundo esses autores, tal influência é representada no exutório da bacia, lugar no qual ocorre a convergência das águas captadas ao longo da mesma.

Nesse contexto, os avanços no uso e ocupação do solo no interior das bacias hidrográficas vem desencadeando mudanças no decorrer dos anos nos cursos d'água. Estas, são provenientes do processo de desenvolvimento socioeconômico desenfreado que gera prejuízos na qualidade dos corpos hídricos e no funcionamento da bacia hidrográfica (SILVA, 2015). Diante da problemática, eventos de cheias e os efeitos das mesmas são pautas cada vez mais frequentes.

À luz do exposto, a bacia hidrográfica, como instituído pela Lei Federal nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, é a unidade territorial adotada para fins de planejamento da gestão hídrica do Brasil. O ciclo hidrológico que ocorre na bacia hidrográfica sofre influência direta dos processos que acontecem no interior desta. Logo, para a gestão dos recursos hídricos e sobretudo realização de ações preventivas no que se refere às consequências do comportamento da bacia frente às cheias, é preciso que haja integração da bacia como unidade territorial de planejamento e gestão hídrica, com o ordenamento territorial da cidade (CARVALHO, 2020).

## **2.2 Planejamento urbano e territorial e manejo de águas urbanas**

Planejar consiste na execução de trabalho constante para organizar de forma sistemática os meios pelos quais uma meta pode ser atingida (FERRARI JÚNIOR, 2004). No caso das cidades, o planejamento surge como uma necessidade de instrumento de política que controle o uso do solo nos municípios, bem como promova programas habitacionais e outras infraestruturas urbanísticas frente às demandas da cidade em meio ao acelerado processo de urbanização (SANTOS, 2006).

No Brasil, nas décadas de 40 a 70, houve um aumento populacional decorrente da queda da taxa de mortalidade e aumento da expectativa de vida. Como consequência, houve mudanças na forma de uso e ocupação do solo em todo o país (CARVALHO, 2004). Todavia, no que se refere ao êxodo rural, o fenômeno teve seu início no Brasil a partir dos anos 60 e associa-se com a propensão de atividades socioeconômicas no espaço (MOTA, 1999 *apud* DALANHOL, 2020).

As mudanças provocadas pelo intenso processo de urbanização iniciado nas cidades não foram acompanhadas em termos de desenvolvimento de infraestrutura urbana (CAMPOS e BRANCO, 2021). Nesse sentido, são inúmeras as implicações do crescimento urbano acelerado e desordenado, a dizer: (i) geração de áreas de risco de inundação e áreas de contaminação dos recursos hídricos pela ocupação indevida nas margens dos rios; (ii) condições de moradias precárias pela falta de saneamento básico; (iii) aumento das áreas desmatadas e áreas impermeáveis; (iv) alterações na topografia; (v) perdas na vegetação original e, por fim, (vi) processo de erosão e assoreamento (SALAZAR, 2015).

Considerando o cenário descrito, o estudo do uso do solo incorporado no planejamento urbano e territorial, embasado nos processos ocorridos no interior dos municípios, são fundamentais para alcançar bons resultados para quaisquer ações a serem exercidas sobre a cidade, inclusive na drenagem urbana (ROCHA, 2012). Para tal, a primeira etapa seria a identificação e classificação do uso do solo para conhecimento do ambiente e o desenvolvimento de técnicas para se obter e realizar a manutenção desses dados. Logo, informações com maiores detalhes, facilmente obtidas em termos de periodicidade, são importantes para o estudo e a análise da distribuição espacial das inúmeras formas de ocupação de espaços extremamente dinâmicos (BITTENCOURT *et al.*, 2006 *apud* VAEZA *et al.*, 2010).

Dentre as problemáticas da ocupação urbana descontrolada, no que toca aos serviços de saneamento básico e suas deficiências, as limitações dos serviços de limpeza pública e esgotamento sanitário, assim como a ocupação irregular das áreas ribeirinhas das grandes cidades e sobretudo dos grandes centros urbanos, são fatores de grande importância para o correto gerenciamento ambiental das águas da cidade (TUCCI, 2012). No âmbito da drenagem urbana, partindo-se da análise do conjunto de informações técnicas sobre este serviço, infere-se que a primeira etapa para alcançar melhorias nos sistemas de drenagem existentes, seria o diagnóstico geral de todos os problemas envolvidos no tema para que possam ser propostas soluções para tais problemas e/ou ampliações no sistema já existente.

Os impasses encontrados no manejo das águas urbanas possuem certa complexidade e assim, a utilização de técnicas para alcance de um diagnóstico

consistente e o conhecimento do comportamento da bacia hidrográfica na qual um município está inserido é fundamental para a gestão da drenagem nas cidades (REZENDE *et al.*, 2017). Sendo assim, o mapeamento das áreas suscetíveis a inundação e alagamentos apresenta-se como integrante do conjunto de técnicas para levantamento de dados em prol da gestão das águas pluviais e auxílio na gestão de risco de inundações (CONCEIÇÃO e SIMÕES, 2019).

#### **2.4 Inundação, enchente e alagamento**

A inundação é um fenômeno natural caracterizado pela contínua elevação do nível d'água do rio devido ao aumento da vazão em um período (SILVA e LIMA, 2023). Na ocorrência deste, a capacidade máxima do leito maior do rio é atingida, e dessa maneira, há o transbordamento do canal e as águas ocupam a planície de inundação (CPRM, 2014). Nesse sentido, a inundação pode ser entendida como o transbordamento de um curso d'água, de maneira que a planície de inundação ou área de várzea é atingida (SILVA e LIMA, 2023).

Os conceitos sobre enchente e alagamento frequentemente são confundidos com a inundação. A enchente, também dita cheia, acontece quando o nível d'água está acima do normal em decorrência do aumento da vazão, assim, o leito menor do rio é atingido completamente, no entanto, não ocorre o transbordamento do canal (CPRM, 2014). Em complemento, tal fenômeno está associado às chuvas, geralmente mais fortes.

Por fim, os alagamentos consistem no acúmulo de água em uma determinada área. Esta ocorrência pode ou não estar associada a fenômenos naturais (REZENDE, 2023), sendo mais recorrentes em locais com alta impermeabilização e nos quais há problemas de drenagem urbana, sobretudo no que tange ao escoamento de vazões superiores àquela para qual a rede foi projetada (CPRM, 2014). Além disso, menciona-se o problema relacionado ao entupimento das galerias pluviais devido ao acúmulo de lixo e sedimentos (SILVA e LIMA, 2023)

No que diz respeito à identificação das áreas suscetíveis à inundação e alagamentos, uma das metodologias mais utilizadas para tal são as análises multicritérios, que permitem o entendimento da situação de forma plena haja vista que

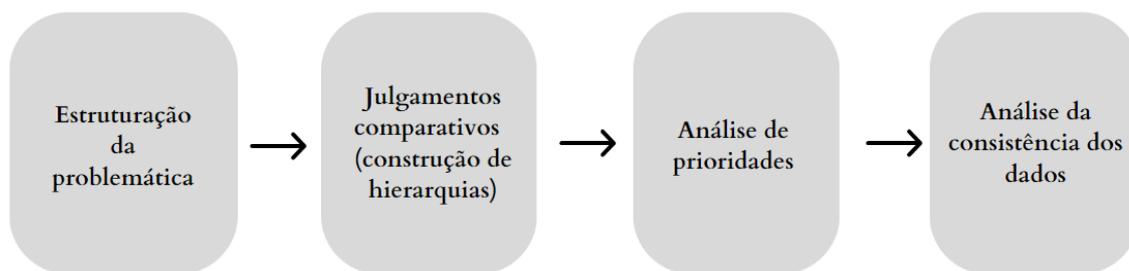
é possível a definição de critérios, a realização da consistência das atribuições de importância consideradas e reunião de todos os aspectos que envolvem a análise de risco (REZENDE *et al.*, 2017). Dessa maneira, na ocasião de eventos extremos que provocam inundações e outras problemáticas, a utilização da análise multicritério mostra-se interessante para auxílio da tomada de decisão.

## **2.5 Análise multicritério: método AHP**

O método AHP é uma metodologia com análise multicritério, desenvolvida pelo matemático Thomas Lorie Saaty na década de 70, visando auxiliar nas tomadas de decisão embasadas no método Newtoniano e Cartesiano (MARINS *et al.*, 2009). O método AHP é amplamente empregado por apresentar versatilidade e integração de informações quantitativas e qualitativas, permitindo comparações entre alternativas de escolhas uma vez que decompõe a problemática em fatores menores e estabelece relações entre eles no mesmo nível da estrutura de decisão (MIYABARA *et al.*, 2021).

O método AHP consiste em uma análise que formaliza a compreensão intuitiva de problemáticas complexas, por meio de uma estrutura hierárquica conceitual (TEDESCO *et al.*, 2021). Na área das engenharias, esse método é utilizado por diversos autores, no que tange à avaliação de diferentes fenômenos que ocorrem em bacias hidrográficas, tais como: (i) suscetibilidade a erosão hídrica (SANTOS *et al.*, 2021; MARTINS *et al.*, 2021), (ii) vulnerabilidade ambiental (DIAS e SILVA, 2014), (iii) suscetibilidade a erosão dos solos (CALDAS *et al.*, 2019; SOARES JÚNIOR, 2020), (iv) áreas de suscetibilidade à inundação (PESSOA NETO *et al.*, 2021; OLIVEIRA, 2020; BRAGA, 2020), por exemplo.

Ainda no que se refere ao AHP, por consistir em uma ferramenta de simples comparações e apresentar as estruturas de maneira hierárquica, possibilita uma avaliação da consistência dos julgamentos realizados (RODRIGUES, 2019). Dessa maneira, o método em questão vem sendo utilizado amplamente, principalmente pelos bons resultados que apresenta e a possibilidade de aplicação em ambientes multicriteriais, contribuindo fortemente para o processo de tomada de decisão. Cabe destacar que, segundo Costa (2002), para a utilização do método AHP, alguns princípios básicos são necessários, conforme o esquema representado na Figura 2.



**Figura 2-** Esquema dos princípios básicos do AHP

Fonte: elaborado pela autora (2023)

Em uma primeira etapa, a estruturação da problemática deve ser feita, de forma que seja definido o objetivo principal da análise e, a partir disso, a determinação dos fatores que influenciam para ocorrência de tal, segundo o entendimento do decisor. De maneira sequencial, os fatores devem ser hierarquizados por meio de julgamentos comparativos dentro do fator e, posteriormente, estes devem ser submetidos à análise de prioridades. Desse modo, uma vez realizada essa análise, os fatores devem ser dispostos em uma matriz pareada para que sejam realizadas comparações entre os pares, no qual são atribuídos pesos de importância ao relacionamento de cada par (SAATY, 1990). Essa matriz de comparação pareada é exemplificada no Quadro 1.

**Quadro 1-** Matriz de comparação pareada

<b>FATORES</b>	Fator 1	...	Fator A	...	Fator S
Fator 1	1	...	$a_{1B}$	...	$a_{1S}$
...	...	...	...	...	...
Fator B	$a_{B1}$	...	1	...	$a_{BS}$
Fator S	$a_{S1}$	...	$a_{SB}$	...	1

Fonte: adaptado de Pessoa Neto; Barbosa; Silva (2021)

A partir da construção da matriz pareada, a consistência lógica dos julgamentos realizados deve ser feita mediante uso da análise que estima o autovalor máximo. Dessa forma, faz-se uso do valor dos pesos de grau de importância atribuídos a matriz e o autovetor obtido por meio do somatório das colunas da matriz pareada, para cada fator. Por fim, o cálculo do índice de consistência (IC) deverá ser efetuado, para que seja possível validar a Razão de Consistência (RC) que deve ser inferior a 0,1 para que os procedimentos realizados à priori sejam considerados com um nível de consistência satisfatório na aplicação do AHP (SAATY, 1980).

É necessário salientar que as análises multicriteriais, como o AHP, podem facilmente ser aplicadas em conjunto com SIGs, como maneira de mapeamento de áreas de suscetibilidade a algum fenômeno.

## **2.6 Sistemas de informações geográficas**

Kumazawa (2014) conceitua geoprocessamento como um ramo da ciência que busca processar informações a partir do uso de aparatos tecnológicos, dados de diferentes fontes e profissionais especializados. Assim, o objetivo é que seja possível a manipulação, avaliação e criação de produtos em sua maioria cartográficos. Nesse contexto, o geoprocessamento pode ser entendido como um termo ou sistema que envolve variadas tecnologias de tratamento e manipulação de dados da superfície da terra por meio de programação e outras ferramentas computacionais. Entre as tecnologias empregadas menciona-se o uso dos Sistemas de Posicionamento Global (GPS), o sensoriamento remoto e os SIGs (PINA e SANTOS, 2000 *apud* SALAZAR, 2015). Dessas alternativas, nos últimos anos, foram iniciados muitos projetos no âmbito de desenvolvimento de SIGs mediante o avanço computacional (BRUNO, 2017).

Os SIGs são considerados ferramentas de coleta, armazenamento, recuperação, transformação e visualização de informações da realidade que contribuem para um determinado objetivo (BURROUGH e MCDONNELL, 1998). Essa sigla é empregada para os sistemas que executam o processamento computacional de informações geográficas no qual a geometria e os atributos dos dados localizados na superfície terrestre e representados em uma projeção cartográfica, são armazenados (CÂMARA E MEDEIROS, 1998 *apud* SALAZAR, 2015). Em adição, são ferramentas de SIG: *hardwares*, *softwares*, bancos de dados e Sistema de Gerência de Bancos de Dados (SALAZAR, 2015).

Em relação aos *softwares* e SIGs disponíveis no mercado, o QGIS vêm ganhando destaque nos últimos anos por ser um software livre licenciado pela Licença Pública Geral - GNU (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2022). Este, tem por característica a execução de funções avançadas e, no que tange ao gerenciamento dos recursos hídricos, suas funcionalidades são consideradas adequadas para a maioria das

aplicações, sobretudo por sua integração a diferentes pacotes. Em adição, o QGIS é disponibilizado gratuitamente para uso em todas as suas funções (BRUNO, 2017).

Por fim, ainda sobre o uso do QGIS, este conta com ferramentas específicas agregadas a ele, os *plugins*. Com o auxílio desses, análises mais específicas são possíveis, garantindo a produção de trabalhos científicos relacionados a aspectos do uso e ocupação do solo, vulnerabilidade ambiental, riscos às erosões e inundações, além de permitir a predição de cenários futuros em termos de uso do solo (CRUZ, 2022; FONTANA, 2022; COSTA *et al.*, 2021; RODRIGUES, 2021; SANTOS e NASCIMENTO, 2020).

## **2.7 Predição de cenários de expansão urbana**

O estudo do uso e ocupação do solo e suas mudanças ao longo dos anos, assim como a predição de cenários de expansão urbana vem ganhando destaque entre as aplicações de SIGs. Nesse sentido, a importância da modelagem está pautada na possibilidade da compreensão de variados eventos, inclusive nos estudos hidrológicos. Sendo assim, fazendo uso de modelos espaciais de mudanças de uso e cobertura do solo pode-se estimar em que momento ocorreram tais mudanças e as formas de uso, além de futuras demandas de ocupação desse ambiente (BARROS, 2018).

Vieira (2000) *apud* Vilela (2009) explica que o uso de satélites para obtenção de dados referentes à observação terrestre é, na atualidade, o meio mais efetivo por ser econômico, acessível e permitir o monitoramento de diversos fenômenos. Duarte e Silva (2019) e Chowdhury *et al.* (2020) reforçam tal ideia e apontam que o sensoriamento remoto é frequentemente utilizado sobretudo para a realização de estudos e controle de áreas de grande extensão como bacias hidrográficas.

Nesse contexto, é empregado o uso de modelos computacionais ou plataformas de identificação de mudança do tipo *Land Cover and Use Change* (LUCC), nos quais é possível fazer a simulação de fenômenos espaciais dinâmicos tais como expansão urbana e processos de ocupação (BARROS, 2018). Benedetti (2010) complementa que os modelos LUCC visam a simulação de mudanças espaço-temporais nos aspectos ambientais em conjunto com um território geográfico de forma a permitir a

compreensão dos fatores que causam a alteração e assim, estudar a evolução de um sistema mediante variáveis definidas por quem executa a modelagem.

Ainda sobre os modelos dinâmicos de simulação de mudanças de uso e cobertura do solo, estes permitem a réplica de padrões da evolução da paisagem e, por conseguinte, a análise das projeções futuras sobre o espaço (SOARES-FILHO *et al.*, 2002). Nesse viés, para a simulação de cenários futuros, uma análise multitemporal de no mínimo dois mapas de uso e ocupação do solo faz-se necessária para que seja feita a identificação dos indicadores de alterações e análise das modificações sofridas na área em estudo (XAVIER, 2017).

Dentre os modelos desenvolvidos no âmbito dos modelos LUCC, o *Modules for Land Use Change Evaluation (MOLUSCE -Módulos de Avaliação de Mudanças no Uso do Solo)* é um *plugin* desenvolvido pela NextGIS em convênio com a *Asia Air Survey Co.Ltd. (AAS)* que incorporado ao QGIS permite realizar análises espaciais da evolução do uso ao longo do tempo e simulações futuras de mudanças no uso da terra e da cobertura vegetal (ECOJUSTUS, 2022). De acordo com seu manual, suas funções compreendem alguns módulos básicos (ECOJUSTUS, [s.d]), conforme sumarizado no Quadro 2.

**Quadro 2-** Módulos básicos do *plugin* e suas funções (continua)

<b>Módulos</b>	<b>Descrição</b>
Entrada	Introdução dos <i>raster</i> de uso e ocupação do solo de diferentes épocas e os dados de variáveis que se queira utilizar na análise (sistema viário, rede hidrográfica, dados topográficos, populacionais,...).
Avaliação de correlação	Utilização da Correlação de Pearson
	Utilização do Coeficiente de Cramer
	Utilização da Incerteza de informação conjunta
	Execução da comparação entre dois <i>rasters</i> , selecionando o primeiro e o segundo raster ou entre todos os <i>rasters</i> carregados no MOLUSCE.

Varição de área	Cálculo das alterações no uso e ocupação do solo entre duas épocas distintas (ano 1 e ano 2). Criação de matrizes de transição para o uso e ocupação, além de mapas de mudanças no uso do solo
Modelagem	Utilização de <i>Artificial Neural Networks</i> (Rede Neural Artificial - ANN)
	Regressão Linear (RL)
	Avaliação Multicritério (MCE)
	Pesos de Evidência (WoE)
Simulação	Mapa de potencial de transição, função certeza (em caráter experimental) e os resultados da simulação. Produção de um mapa de uso e cobertura do solo simulado (projetado) embasado em um modelo autômato-celular na abordagem Monte Carlo.

**Quadro 2-** Módulos básicos do *plugin* e suas funções (conclusão)

<b>Módulos</b>	<b>Descrição</b>
Validação	Sub-módulo que incorpora estatísticas kappa (kappa padrão, histograma kappa e locação kappa), que são utilizadas para validar a acurácia dos mapas simulados de uso e cobertura do solo.

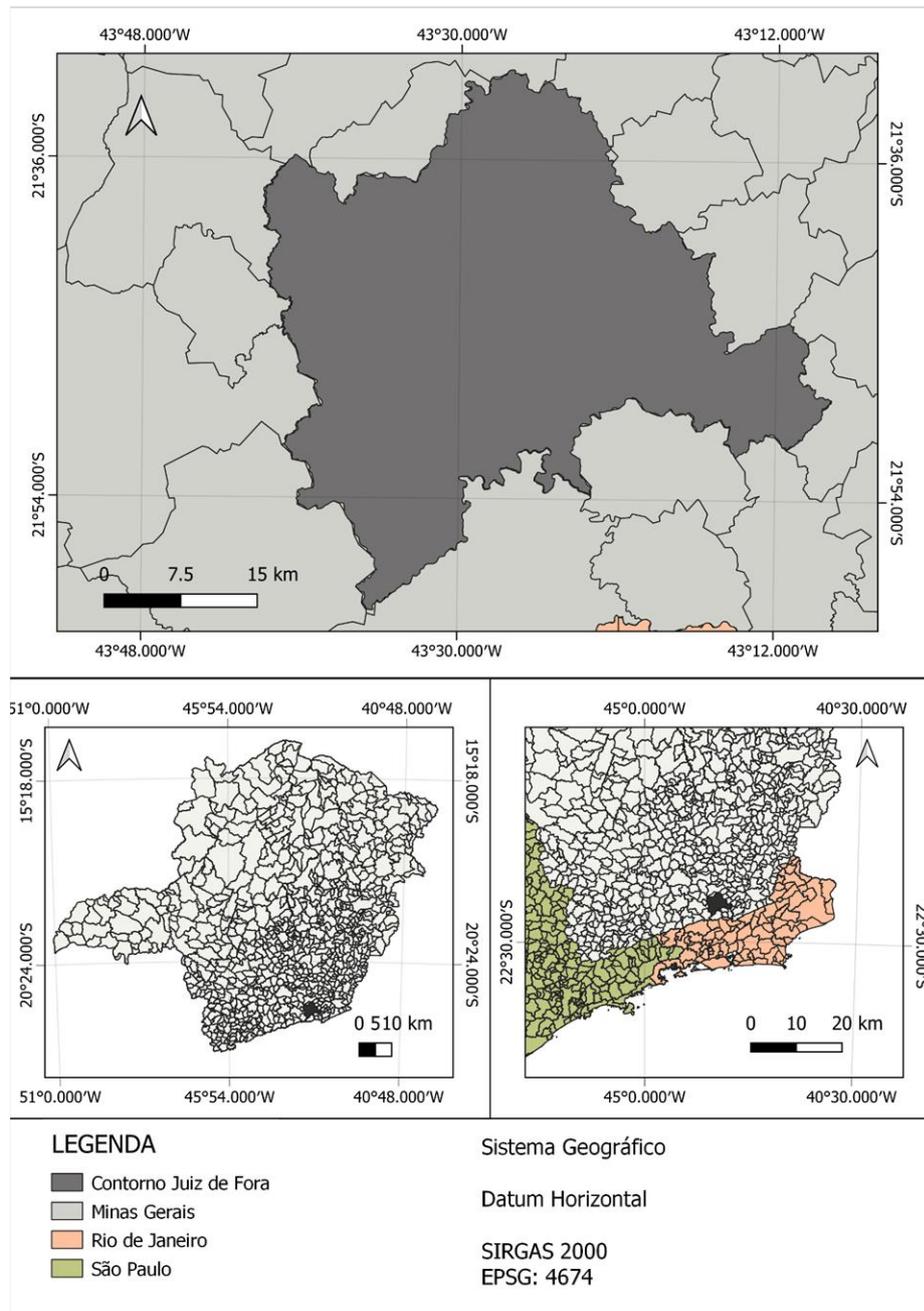
Fonte: adaptado de Eco Justus, [s.d]

À luz do exposto, por ser um *plugin* que pode ser incorporado em um *software* gratuito e por possuir uma interface simples, intuitiva e requerer dados de fácil obtenção, o MOLUSCE mostra-se uma boa opção para a execução de simulações para cenário futuro de uso e ocupação do solo em municípios. As funções desempenhadas por este *plugin* permitem a validação de dados e possibilidades de escolha de técnicas para execução dos procedimentos até a simulação final.

### **3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A cidade de Juiz de Fora localiza-se no estado de Minas Gerais, mais especificamente em sua porção sudeste, na Zona da Mata (Figura 3). O município possui uma área territorial de 1.435,749 km<sup>2</sup> (IBGE, 2023), sua população em 2022 era de 540.756 pessoas e sua densidade demográfica é de 376,64 hab./km<sup>2</sup> (IBGE, 2023), possuindo um crescimento urbano muito acelerado nos últimos anos, como apresentado na Tabela 1.

Em termos de características gerais, o município possui o clima tropical de altitude (Cwa) de acordo com Koppen (1970), com um período mais quente e chuvoso e outro menos quente e mais seco (JUIZ DE FORA, 2021). Seu relevo é descrito como muito dissecado, possuindo colinas côncavo-convexas e vales, com altitudes entre 700 e 900 metros, características do Vale do Paraíba do Sul e dos contrafortes da Serra da Mantiqueira (JUIZ DE FORA, 2021).



**Figura 3- Localização de Juiz de Fora**

Fonte: elaborado pela autora (2023)

**Tabela 1-** População Juiz-forana de 1970 a 2022

<b>Ano</b>	<b>População (Hab)</b>	<b>% de crescimento</b>
1970	238.510	-
1980	307.525	28,9
1991	385.996	25,5
2000	456.796	18,34
2010	516.247	13,0
2022	540.756	4,74

Fonte: Juiz de Fora (2021)

Em relação ao processo de urbanização de Juiz de Fora, a cidade foi desenvolvida por meio do polo industrial têxtil, o qual atualmente é o segundo setor mais importante para a economia juiz-forana (SOUZA e RIBEIRO, 2020). Sua localização foi fundamental para o rápido e intenso desenvolvimento da cidade devido ao fato de estar estrategicamente posicionada entre as três principais metrópoles nacionais - São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte- que são facilmente acessadas (CHAVES, 2011). Embora a posição seja favorável, as distâncias são consideráveis, assim, o município ganhou um amplo espaço de abrangência, tornando-se polo para as cidades circunvizinhas menores inseridas entre Juiz de Fora e as metrópoles nacionais, fazendo com que sua área de influência se estendesse para além das divisas estaduais, atingindo sobretudo, as cidades cariocas (MACHADO,1997 *apud* CHAVES, 2011).

Como a maioria das cidades, a ocupação do espaço urbano em questão, deu-se nas margens de um curso d'água, o rio Paraibuna e, na medida em que foi sendo povoado, os vales secundários formados pelos contribuintes do rio principal, foram sendo ocupados (CHAVES, 2011). No cenário atual, a submersão de áreas que não estão inseridas nos limites normais dos cursos d'água são consequências das fortes chuvas que assolam o município e se agravam pelo processo de urbanização, conforme ocorrido no início de 2022 e nos anos passados, sobretudo na inundaçãõ histórica de 1940 (G1,2022; TRIBUNA DE MINAS, 2021; O PHAROL, 2021). Dessa forma, eventos de alagamentos, enchentes e inundações em Juiz de Fora

frequentemente estampam as manchetes dos jornais, como pode ser verificado nas Figuras 4, 5, 6 e 7.



**Figura 4-** Manchete das notícias referente aos estragos provocados por um temporal no dia 24 de janeiro de 2023, em Juiz de Fora

Fonte: G1 Zona da Mata e TV Integração (2023)



**Figura 5-** Recorte da notícia referente à inundações ocorrida em 24 de Janeiro de 2023 em Juiz de Fora

Fonte: G1 Zona da Mata e TV Integração (2023)

## **'O panorama é a cidade embaixo d'água' diz Margarida Salomão ao decretar estado de emergência em Juiz de Fora**

Nos últimos 4 dias, foram registrados 222 milímetros de chuva no município, o que supera o esperado para o mês de janeiro todo.

**Figura 6-** Manchete de notícia referente ao evento de inundação ocorrido em 11 de janeiro de 2022, no município de Juiz de Fora

Fonte: G1 Zona da Mata e TV Integração (2022)

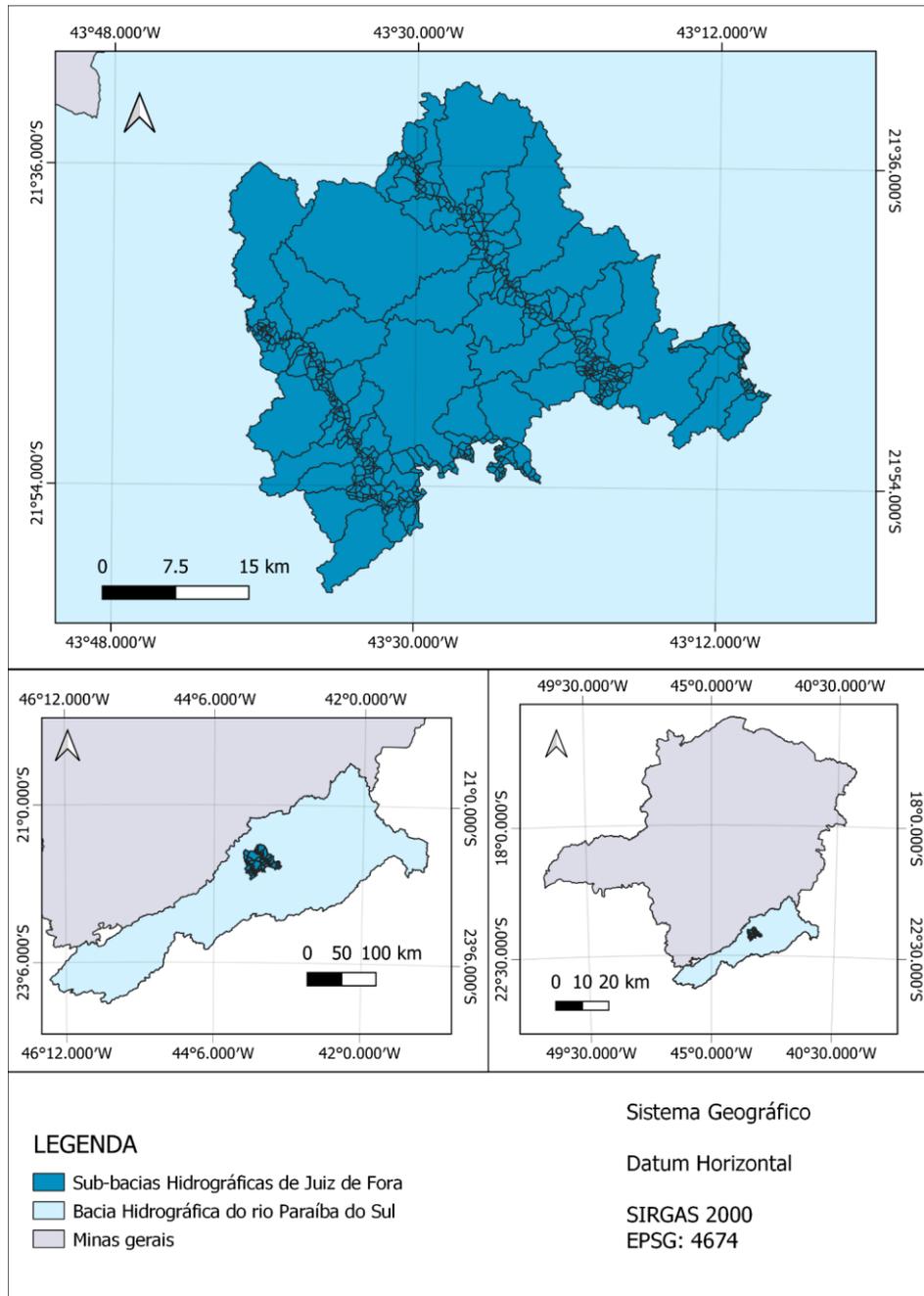
## **Ruas de Juiz de Fora ficam debaixo d'água após forte chuva em Minas Gerais**

Apesar dos estragos materiais, não houve vítimas, segundo os Bombeiros

**Figura 7-** Manchete de notícia referente aos estragos provocados por um temporal ocorrido em 17 de dezembro de 2021, no município de Juiz de Fora

Fonte: Itatiaia (2021)

Em termos de hidrografia, o rio Paraibuna é o principal corpo hídrico receptor de dejetos do município (SOUZA e RIBEIRO, 2020). Tal rio integra a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, sendo um dos principais afluentes do rio Paraíba do Sul pela margem esquerda (ANA,2022). A área de drenagem da sub-bacia do rio Paraibuna são 8.558 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 15,4% da área de drenagem total da bacia do rio Paraíba do Sul, sendo seu maior afluente em volume de água (SOUZA e RIBEIRO, 2020). Na Figura 8, a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, assim como as sub-bacias hidrográficas do município de Juiz de Fora, integrantes da bacia do rio Paraibuna, são apresentadas.



**Figura 8-** Localização das sub-bacias em Juiz de Fora e localização quanto à bacia do rio Paraíba do Sul

Fonte: elaborado pela autora (2023)

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Delimitação da bacia hidrográfica**

Para a delimitação da sub-bacia hidrográfica avaliada nesse estudo utilizou-se como critério a extensão da região de planejamento da cidade e a inserção desta nas sub-bacias delimitadas conforme o mapeamento da prefeitura de Juiz de Fora. A escolha da delimitação da bacia se justifica pelo número escassos de trabalhos que abordam uma análise conjunta do município. Alguns trabalhos encontrados no momento de revisão bibliográfica apresentaram análise somente para sub-bacias pontuais.

Para as análises foram utilizadas as camadas vetoriais disponibilizadas pela prefeitura do município, que conta com um Sistema de Informações Geográficas de Juiz de Fora, versão Web (SIGJF-Web), o qual possui vetores das sub-bacias do território e dos cursos d'água, além de outras camadas relacionadas ao ordenamento territorial. Juntamente com estas, usou-se as camadas vetoriais disponibilizadas no Catálogo de Metadados da Agência Nacional de Águas (ANA) e no Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema), ambos proporcionados pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM), Instituto Estadual de Florestas (IEF) e Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM).

Uma vez obtidos, esses dados foram inseridos no *software* QGIS, no qual foi possível identificar e localizar os cursos d'água e sua distribuição nos polígonos que representam as microbacias de ordem 8 de Horton Strahler, até os limites estabelecidos. Com isso, a bacia hidrográfica estudada teve seu contorno definido e auxiliou no tratamento das camadas inseridas posteriormente no *software*.

### **4.2 Cenário futuro de uso e ocupação do solo**

O *MOLUSCE* foi utilizado com o objetivo de avaliar e obter o possível cenário futuro de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica de Juiz de Fora. Assim realizou-se uma simulação usando, de forma adaptada, as etapas metodológicas descritas nos trabalhos mencionados no Quadro 3. Nestes, os modelos foram

ajustados com base em variáveis de entrada dependentes e independentes. O uso e ocupação do solo no intervalo temporal definido, correspondem às variáveis dependentes. Já as variáveis independentes estão relacionadas aos fatores que influenciam a expansão urbana. Em concordância com a literatura e, sobretudo por serem as variáveis utilizadas com maior frequência nos estudos (Quadro 3), neste trabalho foram consideradas como variáveis independentes: (i) declividade, (ii) distância de rodovias e vicinais, e (iii) distância da drenagem.

**Quadro 3-** Trabalhos com aplicação do MOLUSCE e variáveis independentes utilizadas  
(continua)

<b>Trabalhos</b>	<b>Variáveis independentes empregadas</b>
Ababio (2023)	Hipsometria; Declividade; Distância de rodovias principais; Distância da drenagem
Muhammad et al. (2022)	Hipsometria; Declividade ; Distância de rodovias e vicinais
Fontana (2022)	Hipsometria; Declividade ; Distância de rodovias e vicinais; Distância dos centros urbanos; Distância da capital ; Distância da estação ferroviária.
Alshari e Gawali (2022)	Hipsometria; Declividade; Distância de rodovias e vicinais; Distância da drenagem; Distância de centros urbanos; Aspecto
Kamaraj e Rangarajan (2021)	Hipsometria; Declividade; Distância de rodovias e vicinais; Distância da zona edificada; Aspecto
Duarte et.al (2021)	Declividade; Distância de rodovias e vicinais

**Quadro 3-** Trabalhos com aplicação do MOLUSCE e variáveis independentes utilizadas (conclusão)

<b>Trabalhos</b>	<b>Variáveis independentes empregadas</b>
El-Tantawi et al.(2019)	Hipsometria; Distância de rodovias e vicinais; Distância da drenagem
Hakim et al. (2019)	Hipsometria; Declividade; Distância de rodovias e vicinais; Distância da drenagem; Distância da costa marítima; Distância da capital; Densidade populacional

Fonte: elaborado pela autora (2023)

No que diz respeito às variáveis independentes escolhidas, a justificção se baseia no fato de que estas podem auxiliar na identificação de áreas que são mais ou menos adequadas para determinado uso e ocupação do solo. Ababio (2023) explica que áreas com relevo mais acentuado podem ser menos usadas para agricultura ou para a implantação de infraestrutura urbana. Já com relação às estradas, acessos vicinais e à drenagem, o autor menciona que as distâncias em relação a estes podem indicar facilidades de acesso e conectividade de uma área, podendo influenciar nos padrões de uso do solo na região (ABABIO, 2023).

Nesse sentido, é lógico pensar que em zonas mais afastadas, cujo acesso às estradas principais seja difícil e limitado, o desenvolvimento ocorre com menos intensidade, ao passo que em zonas com maior facilidade de acesso, tanto com relação às rodovias quanto à drenagem, podem ser áreas com maior propensão ao desenvolvimento. Assim, com a análise conjunta dessas variáveis torna possível compreender de forma mais abrangente os fatores que influem na alteração do uso e ocupação do solo (ABABIO, 2023).

#### **4.2.1 Variáveis independentes**

Para compor a alimentação do modelo, a declividade do terreno foi obtida no QGIS por meio dos dados de elevação do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) disponibilizados pelo *United States Geological Survey* (USGS), com resolução

espacial de 30 metros. No que se refere às rodovias e estradas vicinais, o *plugin Open Street Map do QGIS* foi empregado para a aquisição dos percursos em formato vetorial, sendo posteriormente calculada a distância euclidiana no formato matricial.

Com relação à drenagem, a camada vetorial foi disponibilizada na plataforma da Prefeitura de Juiz de Fora, sendo empregado o mesmo cálculo de distância euclidiana adotado nas camadas de rodovias e estradas vicinais. Destaca-se que todas as camadas foram devidamente cortadas e tratadas para padronização em um mesmo *Datum* antes da introdução no *MOLUSCE*. Ainda, a resolução espacial empregada foi de 30 metros em função do valor em questão ser a menor resolução original dos dados de entrada.

Por fim, é importante mencionar que o refino das camadas independentes foi feito no *software* ArcGis utilizando como referência a camada dependente tratada anteriormente no QGIS, pois o ArcGis apresentou melhor precisão no corte de camadas do que o QGIS. Tal procedimento foi essencial pois no *MOLUSCE* é requerido que as camadas em análise não tenham nenhum tipo de distorção e que possuam as mesmas geometrias.

#### **4.2.2 Variáveis dependentes**

A entrada das variáveis dependentes ocorreu por meio de uma estrutura de dados matricial (*raster*). Os *rasters* de uso e ocupação do solo no período de dados proposto (1990-2000, 2000-2010, 2010-2020) para análise no *MOLUSCE*, foram obtidos via *download* da base de dados do Mapbiomas. Esta é uma rede colaborativa, composta por organizações não governamentais (ONG's), universidades e *startups* de tecnologia, na qual é feito o mapeamento anual da cobertura e uso do solo com dados a partir de 1985 (MAPBIOMAS, 2022).

Os arquivos de uso e ocupação do solo foram gerados a partir das classificações de mosaicos *Landsat*. Cada mosaico é gerado pela integração espacial das diferentes cenas *Landsat* existentes em cada carta e pela integração temporal pixel a pixel (MAPBIOMAS, 2022). Dessa forma, utilizou-se os *rasters* da coleção 7- a mais atual- que fornece 37 anos (1985 a 2021) de modelos de cobertura e uso da terra do Brasil com resolução espacial de 30 metros e 27 classes identificadas (MAPBIOMAS, 2022).

De posse dos arquivos de formato *raster*, foi feito o recorte para a área de estudo por meio do QGIS e a reclassificação destes com base no código de legenda disponibilizado pelo Mapbiomas. Assim, as 27 classes foram agrupadas em cinco grandes classes mencionadas e descritas no Quadro 4. De forma sequencial, os *rasters* tratados foram introduzidos no *plugin MOLUSCE* como primeira etapa da metodologia para análise do uso e cobertura do solo proposta.

**Quadro 4-** Descrição das classes de uso e ocupação do solo (continua)

Classe	Descrição
Floresta	Floresta ombrófila densa, aberta e mista; floresta estacional semi-decidual; floresta estacional decidual; formação pioneira arbórea; Savanas, savanas-estépicas florestadas e arborizadas.
Agropecuária	<p>Área de pastagem, predominantemente plantadas, vinculadas à atividade agropecuária;</p> <p>Áreas de pastagem natural predominantemente classificadas como formação campestre podendo ou não ser pastejadas;</p> <p>Agricultura, espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (ex. pinus, eucalipto, araucária);</p> <p>Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.</p>
Formação natural não florestal	<p>Savanas e savanas-estépicas;</p> <p>Parque e gramíneo-lenhosa, estepe e pioneiras arbustivas e herbáceas;</p> <p>Rochas naturalmente expostas na superfície terrestre sem cobertura de solo, muitas vezes com presença parcial de vegetação rupícola e alta declividade;</p> <p>Outras formações naturais não florestais que não puderam ser categorizadas.</p>

**Quadro 4-** Descrição das classes de uso e ocupação do solo (conclusão)

Classe	Descrição
Infraestrutura urbana	Áreas com significativa densidade de edificações e vias, incluindo áreas livres de construções e infraestrutura;  Mineração e áreas de superfícies não permeáveis (infraestrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes.
Curso d'água	Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água e área referente a lagos artificiais, no qual atividades aquícolas e/ou de salicultura são predominantes.

Fonte: adaptado de Mapbiomas (2023)

#### 4.2.3 Análise de correlação das variáveis independentes

Para atestar o grau de dependência das variáveis preditivas, foi realizada a avaliação da correlação espacial por meio do teste de correlação V de Cramer (disponível no *plugin*), conforme Equação 1. Tal teste é uma medida de associação entre duas variáveis categóricas que pode variar de 0 a 1, sendo que os valores mais próximos de 1 indicam uma associação mais forte entre as variáveis (ABABIO, 2023). De acordo com Ababio (2023), Muhammad *et al.* (2022) e Hakim *et al.* (2019), as variáveis que apresentam valores de V de Cramer superiores a 0,1 são melhores para o modelo de predição. Assim, neste estudo fez-se a categorização das variáveis de forma a obter a maior correlação entre elas.

$$V = \sqrt{\frac{X^2}{n(q-1)}} \quad \text{Equação (1)}$$

Sendo:

n= tamanho da amostra

q= número de linhas ou coluna (a depender de qual for menor)

$\chi^2$  =calculado a partir do teste Qui-Quadrado de Pearson.

#### 4.2.4 Mudanças no uso e ocupação do solo

A evolução histórica de 10 em 10 anos da cobertura e uso do solo foi analisada visualmente pelos mapas de uso e ocupação, quantificada e disponibilizada pela produção de tabelas que apresentam as áreas inicial e final de cada uso/cobertura do solo alterado. As tabelas deste trabalho foram geradas dentro do *MOLUSCE*, que fornece esses dados como parte do processo de predição.

#### 4.2.5 Predição e validação com índice Kappa

Em concordância com a metodologia descrita nos trabalhos listados no Quadro 3, foi utilizado o método de ANN, Perceptron multicamadas (Multi-layer Perceptron) para previsão de uso do solo. A primeira etapa foi o ajuste do modelo, dessa forma, foram simulados o uso e ocupação do solo para os anos de 2010 e 2020 mediante a matriz de transição potencial observada entre 1990-2000 e 2000-2010, respectivamente. Após testes, foi empregado o método de amostragem de forma aleatória, com limite máximo de 1000 interações, matrizes de vizinhança 1x1, *hidden layer* 10, *momentum* 0,06 e *learning rate* de 0,001 (KAMARAJ e RANGARAJAN, 2022).

Na segunda etapa, a qualidade do modelo foi avaliada com aplicação do índice Kappa. Tal índice indica o grau de concordância entre o simulado e o observado. Dessa maneira, os *rasters* produzidos pelo modelo (simulação de uso) para os anos de 2010 e 2020 e os observados (classificação real) em 2010 e 2020, foram comparados. Como se trata de informações de sensoriamento remoto, foi utilizado para validação não só o índice Kappa geral como também o índice Kappa de localização. A derivação do índice Kappa de localização foi proposta por Pôntius (2002), no qual é trabalhado a questão da quantidade (relacionada ao dado) e a localização.

Nesse contexto, o índice Kappa geral aponta a proporção classificada de forma correta entre o mapa real e o simulado e o índice Kappa de localização representa a proporção de classificação correta e mais, considera as classificações corretas mediante sua localização geográfica (SAYEMUZZAMAN e JHA, 2014). As estatísticas são fornecidas pelo *MOLUSCE*, no entanto, para melhor compreensão, em sequência

são apresentadas as Equações 2 e 3 (PÔNTIUS, 2002) correspondentes ao índice Kappa geral e ao Kappa de localização, respectivamente.

$$Kappa = \frac{(P_o - P_c)}{(P_p - P_c)} \quad \text{Equação (2)}$$

$$Kappa \text{ de localização} = \frac{(M(m) - N(m))}{(P(m) - N(m))} \quad \text{Equação (3)}$$

Sendo:

$P_o$  = Proporção correta observada

$P_c$  = Proporção correta esperada devido à alteração

$P_p$  = Proporção correta quando a classificação é perfeita

$M(m) - N(m)$  = Erro proporcional devido à localização

$M(m)$  = Proporção localização correta observada

$N(m)$  = Proporção de localização correta esperada devido à alteração

$P(m)$  = Proporção correta quando a localização é perfeita

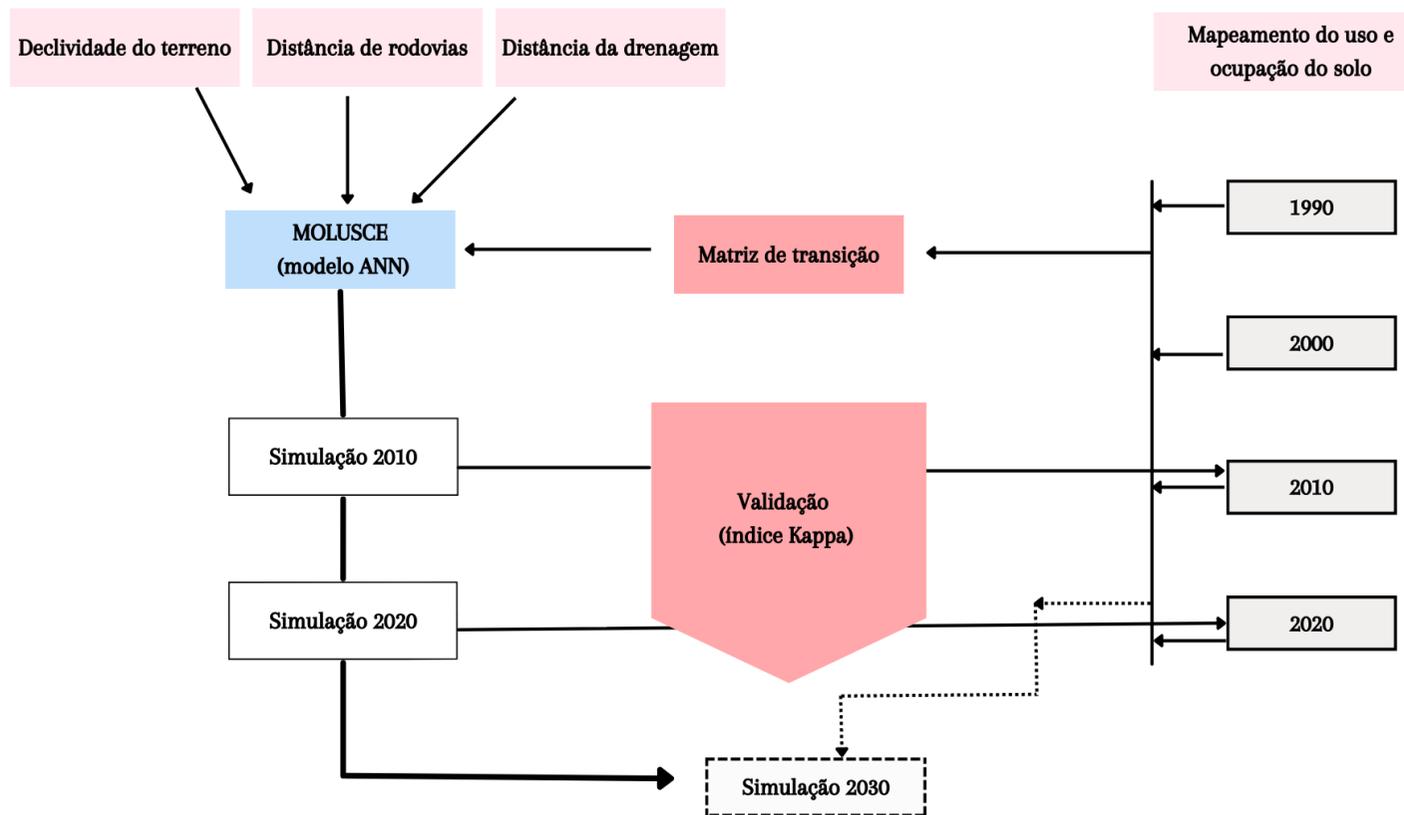
Adicionalmente, os resultados do índice Kappa geral foram analisados conforme a classificação de Landis e Koch (1977), apresentada na Tabela 2.

**Tabela 2-** Classificação da qualidade da simulação segundo os valores de Kappa

<b>Valor</b>	<b>Qualidade da simulação</b>
0,0	Péssima
0,01 a 0,2	Ruim
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Moderada
0,61 a 0,80	Substancial
0,81 a 1,0	Excelente

Fonte: adaptado de Landis e Koch (1977)

Uma vez verificada a consistência dos modelos de previsão de uso e ocupação do solo, pôde ser gerado os modelos de cenário futuro para o ano de 2030, a partir da matriz de transição entre 2010 e 2020. É importante mencionar que a expansão urbana é um processo dinâmico, que pode ser inconstante, muito alterável e é altamente influenciado por acontecimentos de cunho econômico, ambiental, social, por exemplo. Dessa forma, a simulação leva em consideração o efeito dos fatores que influenciaram a expansão no período considerado e mantém as condições influentes estáveis (variáveis independentes). Um fluxograma simplificado da metodologia empregada foi apresentado na Figura 9.



**Figura 9-** Fluxograma da primeira etapa metodológica

Fonte: elaborado pela autora (2023)

### **4.3 Método AHP**

Com o objetivo de mapear as áreas de suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica e, mais especificamente da cidade em questão, fez-se uso do método de análise multicriterial AHP. Conforme apresentado à priori, tal método consiste na utilização de equacionamentos da álgebra linear e da geometria analítica com a finalidade de alcançar resultados ponderados com coerência satisfatória no que se refere à importância de determinados fatores em relação a um evento. Por fim, os resultados obtidos evidenciam qual a influência de cada fator para ocorrência do item final a ser estudado, neste caso, a suscetibilidade à inundação.

#### **4.3.1 Definição de fatores influentes na suscetibilidade a inundação**

A escolha dos fatores de influência na suscetibilidade a inundações deve ser feita embasada na opinião de especialistas. Dessa forma, fez-se uma ampla revisão bibliográfica do método escolhido para o evento em questão, visando a identificação dos fatores que mais são utilizados em trabalhos acadêmicos.

Nesse contexto, dentre os fatores condicionantes mais utilizados para análise de suscetibilidade a inundação, destacam-se: (i) hipsometria, (ii) declividade, (iii) uso do solo e (iv) tipo de solo. Esses fatores foram utilizados nos estudos de Portela *et al.* (2023), Pessoa Neto; Barbosa e Silva (2021), Braga *et al.* (2020), Moura *et al.* (2019), Campioli e Vieira (2019), Magalhães *et al.* (2011). Dessa forma, esses mesmos fatores foram assumidos para a avaliação da suscetibilidade a inundação em Juiz de Fora.

A hipsometria consiste na variação da altitude de uma área em relação ao nível do mar, na qual a altitude é zero, assim, é um fator que indica a energia potencial disponível para o escoamento superficial (FUJIMOTO E DIAS, 2010) e é tida como uma variável importante nas análises ambientais, pois auxilia na visão geral dos compartimentos geomorfológicos e das possíveis áreas sujeitas a inundações (PEREIRA e CRISTO, 2018).

Com relação à declividade, esta consiste no grau de inclinação das vertentes em relação a um eixo horizontal (GOLDONI e VESTENA, 2016). Sua importância na análise de suscetibilidade à inundação está pautada no fato de que em regiões nas

quais o relevo é em sua maior proporção, mais plano, a velocidade de escoamento na superfície é menor. Tal fato pode implicar em sedimentação, elevando a cota dos cursos d'água e aumentando a probabilidade de ocorrência de inundação (LIMA, 2010). Sendo assim, áreas com valores inferiores de declividade são mais propensas a estabelecer regiões de inundação. Ainda, morfologicamente, as planícies de inundação, marcadas por depósitos aluviais, se localizam em áreas de baixa inclinação, normalmente inferiores a 3° (MACHADO, 2010).

No que se refere ao uso e ocupação do solo, esse fator influencia no fenômeno estudado mediante a permeabilidade das superfícies. Assim, as áreas de maior impermeabilidade, como as cidades, devido ao processo de urbanização, aumentam as chances de ocorrência de eventos de inundação e alagamento devido ao aumento do escoamento superficial (SILVA, 2013). Por fim, de forma similar, a tipologia do solo, é influente por suas características particulares relacionadas a permeabilidade, como por exemplo a textura, grupo hidráulico e composição química. Assim, solos com baixa capacidade de infiltração, contribuem para a geração do escoamento superficial (PORTELA *et al.*, 2023).

#### **4.3.2 Reclassificação das imagens de satélite**

Para elaboração do mapa de suscetibilidade a inundação, foi usada a base de dados do USGS para aquisição do modelo digital de elevação da bacia hidrográfica em estudo. Após introdução no QGIS, foi desenvolvido o mapa de hipsometria e a criação do *raster* de declividade pela função *Slope*. Para o uso e ocupação do solo, utilizou-se os dados matriciais trabalhados na etapa metodológica anterior, mais especificamente os de uso e ocupação do solo nos anos 1990, 2020 e o 2030, este último obtido no *MOLUSCE*, considerando as cinco classes agrupadas. Além disso, no IDE-Sisema os dados referentes ao tipo de solo foram adquiridos, utilizando o mapa de solos de Minas Gerais elaborado pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) (2010) de escala 1:650.000, no qual permitiu a macro identificação das tipologias de solo existentes na sub-bacia em estudo.

Em concordância com as etapas da aplicação do método AHP, foram atribuídos pesos de 0 a 1 para cada classe dos fatores, considerando sua influência para a

ocorrência de inundação e alagamento. Pesos próximos a 0 significam que a classe não favorece a ocorrência de inundação, já os pesos mais próximos de 1, indicam que a classe favorece a ocorrência de inundação. Para tal, empregou-se a opção *reclassify* do menu *spatial analyst* no *QGIS* e o critério usado para essa atribuição foi embasado nos trabalhos de Rezende (2023), Nascimento (2022), Braga *et al.* (2020), Pessoa Neto *et al.* (2020), e sobretudo no trabalho de Campos e Ribeiro (2020), que aplica o AHP para determinação de suscetibilidade à inundação de uma sub-bacia hidrográfica de Juiz de Fora.

Considerando que a altitude varia de 470 m a 1090 m, o mapa hipsométrico da sub-bacia em análise, foi confeccionado dividindo-se os valores de hipsometria em cinco classes de igual intervalo e atribuindo os pesos de importância para cada uma dessas (Tabela 3). Em relação à atribuição dos pesos, ressalta-se que quanto menor a energia potencial, maior o favorecimento de ocorrência de inundação e alagamento no local.

**Tabela 3-** Grupos de hipsometria e seus respectivos pesos de importância

<b>Classes de Hipsometria (m)</b>	<b>Pesos de importância</b>
<593	0,503
593-717	0,260
717-842	0,134
842-966	0,068
>966	0,035

Fonte: elaborado pela autora (2023)

Com relação à declividade, o mapa foi confeccionado em concordância com a classificação da EMBRAPA (1979) e, dessa forma, atribuiu-se os critérios de importância entre as classes de declividade levando em conta que áreas mais planas favorecem a ocorrência de inundação e alagamentos. Na Tabela 4, estão dispostos a classificação e a atribuição dos pesos.

**Tabela 4-** Classes de declividade e seus respectivos pesos de importância quanto ao favorecimento de ocorrência à inundação

<b>Relevo</b>	<b>Declividade %</b>	<b>peso de Importância</b>
Plano	0- 3	0,367
Suave-Ondulado	3-8	0,292
Ondulado	8-20	0,185
Forte-Ondulado	20-45	0,086
Montanhoso	45-75	0,044
Forte-Montanhoso	>75	0,026

Fonte: elaborado pela autora (2023)

No que tange ao fator uso e ocupação do solo, para os mapas de 1990, 2020 e 2030 a atribuição de peso de importância às classes foi feita considerando a permeabilidade da superfície. Nesse sentido, cursos d'água e áreas com infraestrutura urbana recebem maior peso de importância pelo escoamento superficial gerado. Em sequência, as formações naturais não florestais, pois possuem maior escoamento que áreas de agropecuária devido ao fato de serem áreas com pouca vegetação e muitas vezes com solo exposto (Quadro 4).

Por fim, Bertol *et al.* (2001) explica que solos com cultivo e substituição da cobertura vegetal por pastagem provocam a compactação, assim a porosidade que possibilitaria a infiltração das águas de chuva é reduzida, com consequente aumento das chances de erosão e do escoamento superficial. Portanto, as florestas possuem uma maior capacidade de absorção de água pluvial pela tipologia da vegetação existente do que as áreas de agropecuária, logo recebe o menor peso. Assim, as classes de uso e ocupação do solo bem como seus respectivos pesos atribuídos encontram-se na Tabela 5.

**Tabela 5-** Classes de uso e ocupação do solo e seus respectivos pesos de importância quanto ao favorecimento de ocorrência à inundação

<b>Classes de Uso e Ocupação do Solo</b>	<b>Peso de importância</b>
Floresta	0,031
Agropecuária	0,061
Formação Natural Não Florestal	0,112
Infraestrutura Urbana	0,280
Curso D'água	0,524

Fonte: elaborado pela autora (2023)

Para a classificação da tipologia do solo, foi necessário o auxílio de uma especialista em solos da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), pois não foram encontrados solos idênticos nos trabalhos com a temática. Dessa maneira, para cada classe de solo foi atribuído o peso conforme seu grupo hidrológico, mediante o auxílio do trabalho desenvolvido por Sartori *et al.* (2005). No Quadro 5 é apresentada as tipologias de solo bem como a descrição destes, a classificação de seu grupo hidrológico e atribuição dos pesos de importância. O grupo hidrológico A corresponde a solos com características de alta permeabilidade, o grupo B são solos considerados com boa permeabilidade, o grupo C, com pouca permeabilidade e por fim o grupo D, muito pouco permeáveis. Assim, como não foi encontrado um solo tipo D, os solos classificados como C receberam o maior peso, depois o classificado como grupo B, com um peso intermediário, e por fim, recebeu um peso menor o solo enquadrado no grupo hidrológico A.

**Quadro 5 - Classificação e atribuição de pesos de importância dos solos da sub-bacia hidrográfica estudada, segundo seu enquadramento no grupo hidrológico (continua)**

<b>Tipo de Solo</b>	<b>Grupo Hidrológico do Solo</b>	<b>Peso</b>	<b>Descrição</b>
LVA <sub>d</sub> 58	A	0,040	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico textura argilosa e muito argilosa (40 %) + LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico textura argilosa (20 %), ambos A moderado relevo forte ondulado + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico A moderado e proeminente textura média e argilosa relevo forte ondulado e montanhoso (20 %) + LATOSSOLO VERMELHO Distrófico argissólico textura argilosa relevo forte ondulado e montanhoso (10 %) + LATOSSOLO AMARELO Distrófico húmico textura muito argilosa relevo ondulado e forte ondulado (10 %).
LVA <sub>d</sub> 59	A	0,040	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado e proeminente textura argilosa relevo forte ondulado (60 %) + LATOSSOLO AMARELO Distrófico húmico textura muito argilosa relevo ondulado e forte ondulado (20 %) + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico A moderado textura média e argilosa relevo forte ondulado e montanhoso (20 %).
LVA <sub>d</sub> 68	A	0,040	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico textura argilosa e muito argilosa relevo forte ondulado e montanhoso (40 %) + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico textura média e argilosa relevo montanhoso (30 %), ambos A moderado e proeminente + LATOSSOLO AMARELO Distrófico húmico textura muito argilosa relevo ondulado e forte ondulado (30 %).
LVA <sub>d</sub> 73	B	0,140	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico textura argilosa (40 %) + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico textura média e argilosa (30 %), ambos relevo forte ondulado e montanhoso + ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico típico textura média/argilosa relevo ondulado e forte ondulado (30 %), todos A moderado
LAd <sub>4</sub>	C	0,370	LATOSSOLO AMARELO Distrófico húmico textura muito argilosa relevo ondulado e forte ondulado (40 %) + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico húmico textura argilosa relevo forte ondulado (40 %) + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico A moderado textura média e argilosa relevo forte ondulado e montanhoso fase pedregosa e não pedregosa (20 %)

**Quadro 5** - Classificação e atribuição de pesos de importância dos solos da sub-bacia hidrográfica estudada, segundo seu enquadramento no grupo hidrológico (conclusão)

Tipo de Solo	Grupo Hidrológico do Solo	Peso	Descrição
CXbd33	C	0,370	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico textura média e argilosa fase pedregosa e não pedregosa (40 %) + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico (30 %), ambos A moderado e proeminente + CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico típico (30 %), ambos textura argilosa, todos relevo forte ondulado e montanhoso

Fonte: elaborado pela autora (2023), adaptado de Mapa de solos do Estado de Minas Gerais: legenda expandida (2010)

#### 4.3.3 Construção da matriz pareada

Como segunda etapa do processo de aplicação do método, os fatores condicionantes foram organizados de forma matricial, na qual fez-se a comparação entre os pares de critério. O julgamento comparativo utilizado para o preenchimento dos elementos da matriz é embasado na metodologia proposta por Saaty (1977), que faz uso de uma escala de pesos seguindo uma ordem pré-determinada de importância, conforme Tabela 6.

**Tabela 6-** Descrição de intensidade dos pesos para julgamento comparativo (continua)

Intensidade da importância (J)	Definição	Explicação
1	Igual importância	Ambos os fatores contribuem igualmente para o fenômeno
3	Importância moderada	Experiência e julgamento favorecem ligeiramente um fator sobre o outro
5	Forte importância	Experiência e julgamento favorecem fortemente um fator sobre o outro
7	Importância muito forte	Um fator é muito fortemente favorecido em detrimento de outro; sua dominância é demonstrada na prática

**Tabela 7-** Descrição de intensidade dos pesos para julgamento comparativo (conclusão)

<b>Intensidade da importância (J)</b>	<b>Definição</b>	<b>Explicação</b>
9	Importância absoluta ou extrema importância	A evidência favorecendo uma atividade sobre a outra é da mais alta ordem possível de afirmação
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma solução de compromisso entre duas definições

Fonte: adaptado de SAATY (1977)

Em complemento, considerando que o método AHP é originalmente aplicado levando em consideração a opinião de especialistas, para este trabalho a matriz pareada foi definida a partir do trabalho de Rezende (2023), que consultou oito especialistas em recursos hídricos para construir a matriz de julgamento entre os fatores, que são os mesmos utilizados neste trabalho. Assim, segundo o método aplicado pela autora, foram distribuídos questionários para que tais especialistas fizessem a atribuição dos pesos na comparação par a par e posteriormente, foi feita uma média com as respostas, que foi usada para determinação da matriz.

Com relação às características da matriz a ser utilizada, destaca-se que o número de julgamentos necessários depende do número de critérios adotados e sua diagonal principal representa a não dominância entre os fatores em análise, ou seja, por serem fatores iguais, a comparação não é necessária e um valor de escala fundamental (neste caso igual a 1) é usado (GOMES, 2009) (Quadro 1). A matriz de Rezende (2023) encontra-se na Tabela 7.

**Tabela 8-** Matriz pareada utilizada

<b>Inundação</b>	<b>Hipsometria</b>	<b>Declividade</b>	<b>Uso do solo</b>	<b>Tipo de solo</b>
<b>Hipsometria</b>	1,00	0,17	0,25	3,00
<b>Declividade</b>	6,00	1,00	0,50	8,00
<b>Uso do solo</b>	4,00	2,00	1,00	8,00
<b>Tipo de solo</b>	0,33	0,13	0,13	1,00

Fonte: elaborado pela autora (2023)

#### 4.3.4 Construção da matriz normalizada

A matriz utilizada à priori precisou passar pelo processo de normalização para que os critérios adotados estivessem em uma mesma escala, e, com isso, a matriz passou por duas etapas. Em um primeiro momento fez-se a soma das colunas e, posteriormente, a divisão dos valores de cada elemento pela soma de sua respectiva coluna, obtendo dessa forma a matriz normalizada.

#### 4.3.5 Determinação do autovetor ( $w$ )

O autovetor é a representação em forma de matriz dos pesos que representam cada fator no que se refere à importância de cada um para ocorrência da inundação. Sendo assim, a obtenção de tal resultado partiu da aplicação da média em cada linha da matriz normalizada na etapa anterior.

A importância da determinação do vetor se deve à necessidade, na etapa seguinte, da junção das camadas *raster* que representam os fatores de declividade, hipsometria, uso e ocupação do solo e tipo de solo de forma coerente. No fim, espera-se obter um *raster* resultante que mostre áreas com potencial risco de inundação. Ressalta-se que tal etapa será detalhadamente descrita nas próximas etapas da presente metodologia.

#### 4.3.6 Determinação da razão de consistência (RC)

A análise da coerência dos julgamentos por meio do cálculo da razão de consistência (RC) é um dos diferenciais do método. Assim, para a obtenção de tal número é feita a razão entre dois índices, o índice de consistência (IC) e o índice randômico (IR), como demonstrado na Equação 4.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad \text{Equação (4)}$$

O índice de consistência pode ser obtido por meio dos seguintes passos: (i) realizar o produto vetorial da matriz de comparação pareada com o autovetor; (ii)

calcular o Lambda ( $\lambda$ ) através da razão entre o produto vetorial e o peso das variáveis (autovetor); (iii) calcular o  $\lambda_{\text{máximo}}$  obtido pela média aritmética dos valores encontrados de  $\lambda$  e, por fim, (iv) aplicação da fórmula do índice de consistência (Equação 5).

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máximo}} - \text{número de critérios}}{\text{número de critérios} - 1} \quad \text{Equação (5)}$$

De forma sequencial, o valor do índice randômico é obtido por meio da Tabela 8, desenvolvida por Saaty (1991) que padroniza o índice conforme o número de fatores adotados.

**Tabela 9-** Índice randômico de acordo com a ordem da matriz

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: adaptado de SAATY (1991)

Com base nos resultados do índice de consistência e do índice randômico, aplica-se a razão entre eles e faz-se a avaliação do resultado, sendo considerado julgamentos coerentes o resultado de RC for menor ou igual a 0,1.

#### 4.3.7 Mapa de suscetibilidade a inundações para 1990, 2020 e 2030

Para a confecção dos mapas de suscetibilidade a inundações para o município de Juiz de Fora, o *software* QGIS foi novamente empregado, fazendo uso da álgebra de mapas, utilizando a ferramenta *raster calculator*, permitindo a associação de fatores de suscetibilidade pré-estabelecidos e reclassificados, sendo estes representados por dados matriciais com os pesos (autovetor) que foram estabelecidos na etapa anterior a esta. Dessa maneira, o somatório de todos os *rasters* dos fatores multiplicados pelos seus respectivos pesos de importância foi processado, conforme a Equação 6.

Destaca-se que o procedimento descrito foi realizado três vezes, para que fossem gerados os mapas de suscetibilidade para 1990, 2020 e 2030. Os dados matriciais

resultantes (RSF) tendem a variar entre 0 e 1, no qual os valores representam a suscetibilidade a inundação e alagamento muito baixa e muito alta, respectivamente.

$$RSF = (Hip * w_{hip}) + (Dec * w_{Dec}) + (USolo * w_{USolo}) + (TSolo * w_{TSolo}) \quad \text{Equação (6)}$$

Sendo:

Hip - hipsometria

Dec - declividade

USolo - uso do solo

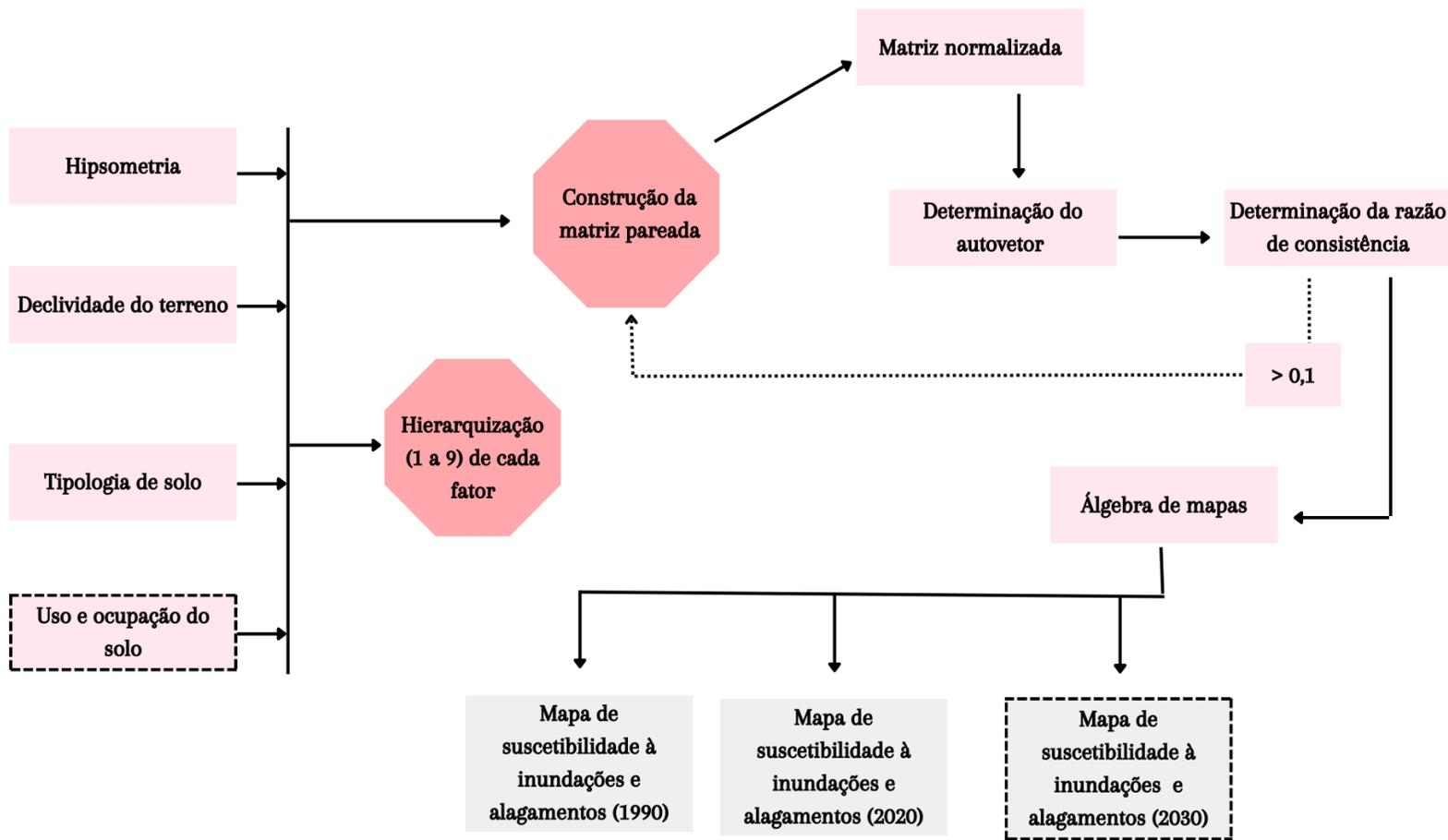
TSolo - tipo de solo

$w_{hip}$ ,  $w_{Dec}$ ,  $w_{USolo}$  e  $w_{TSolo}$  - pesos de importância atribuídos a cada fator

#### 4.3.8 Validação do AHP

Visando um maior detalhamento das áreas com alta e muito alta suscetibilidade a inundações em Juiz de Fora, fez-se o cruzamento das informações do *raster* com uma imagem de satélite da cidade, nas quais podem ser identificadas as zonas mais críticas. Além disso, fez-se um levantamento das áreas que frequentemente aparecem nos noticiários como áreas que sofreram inundações ou alagamentos no município.

Por fim, todas as informações foram cruzadas obtendo um mapa de validação do método. Nesse sentido, para um melhor entendimento das etapas metodológicas do AHP, no fluxograma apresentado na Figura 10, estas foram indicadas de maneira simplificada.



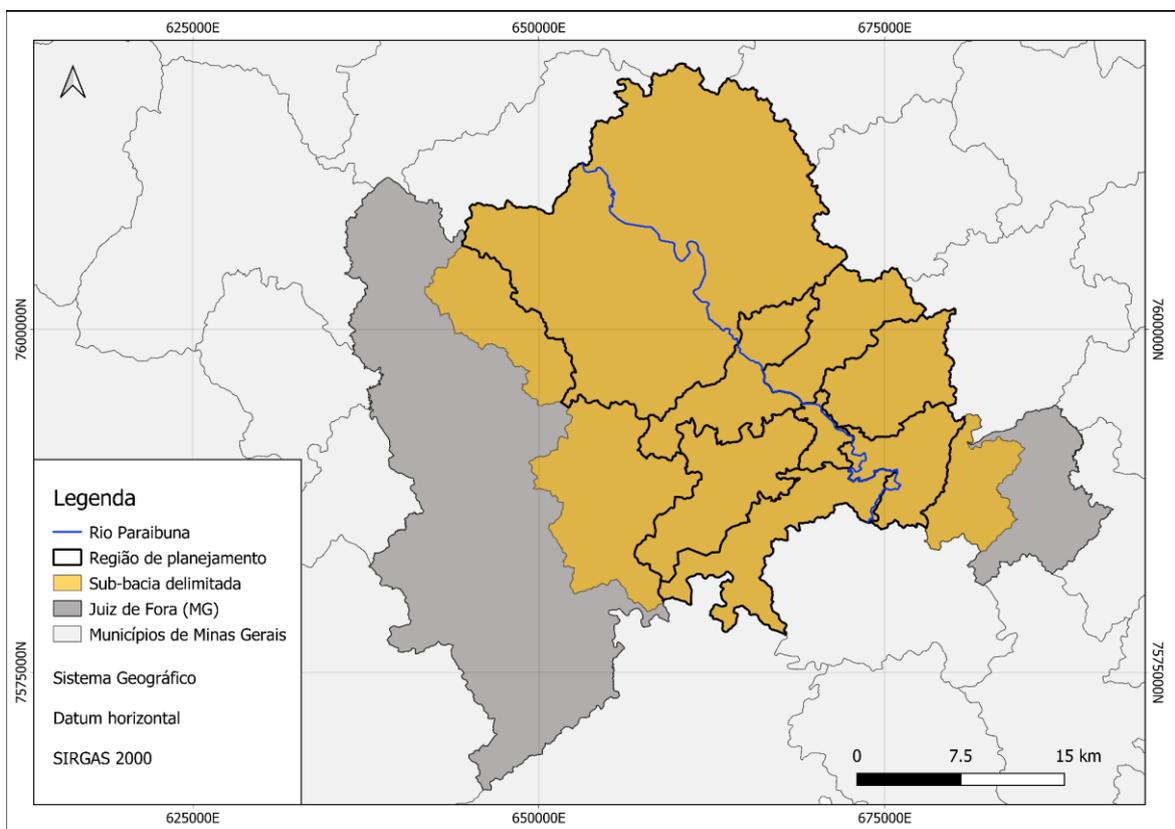
**Figura 10-**Fluxograma das etapas do método AHP

Fonte: elaborado pela autora (2023)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Sub-bacia delimitada

A sub-bacia delimitada segundo a região de planejamento de Juiz de Fora, pode ser visualizada na Figura 11. A sub-bacia possui uma área de 947 km<sup>2</sup>, compreende grande parte do município e drena água para o rio Paraibuna, o principal curso d'água da cidade.

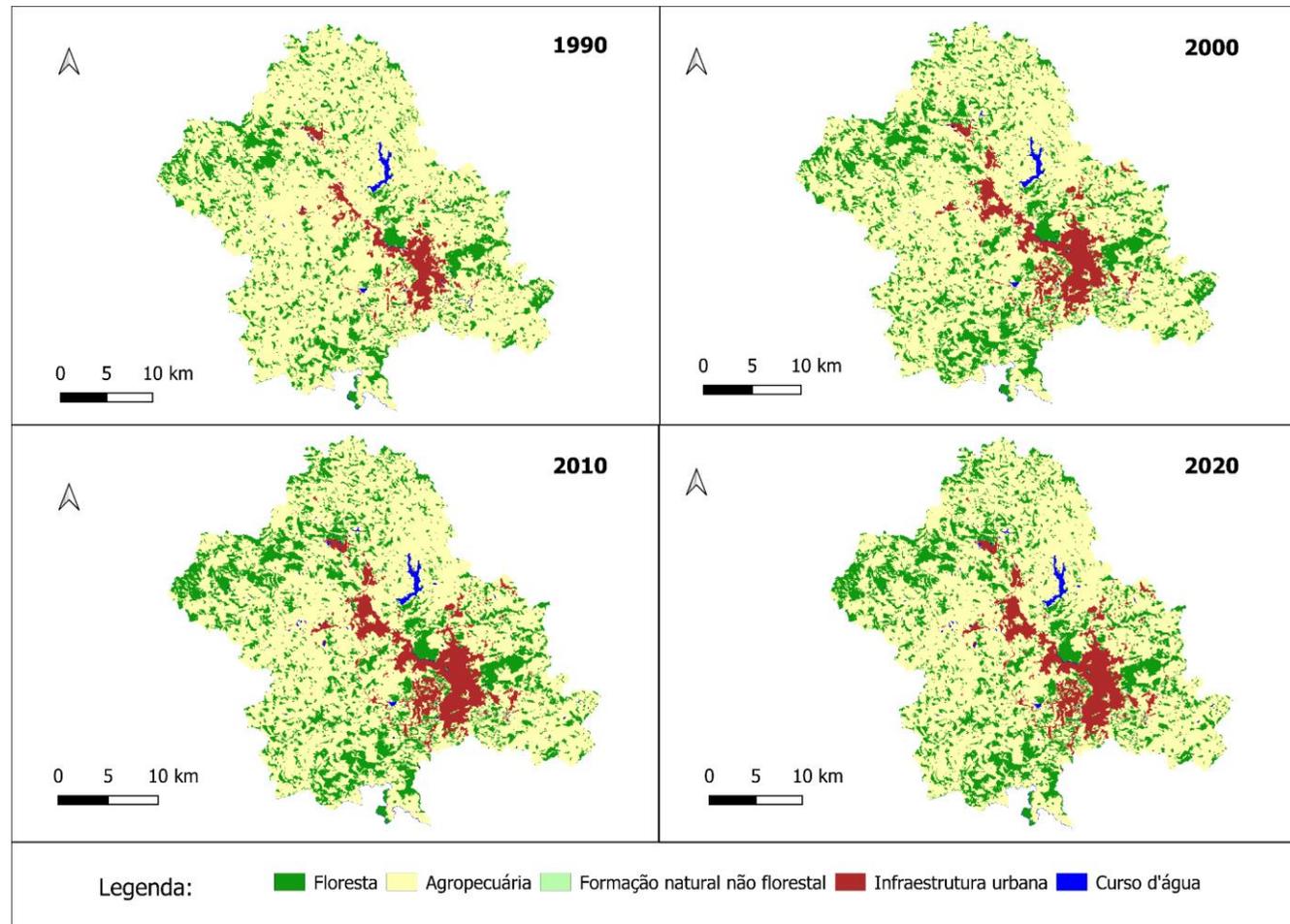


**Figura 11-** Mapa da sub-bacia em estudo com sobreposição da região de planejamento da cidade, um pré-requisito à sua delimitação

Fonte: elaborado pela autora (2023)

## **5.2 Mudanças no uso e ocupação do solo (1990-2020)**

Na Figura 12 são apresentados os mapas de uso e ocupação do solo dos anos 1990, 2000, 2010 e 2020 da bacia hidrográfica na qual Juiz de Fora está inserida. Uma análise visual primária sugere que o comportamento geral das manchas de infraestrutura urbana nos intervalos de 10 anos foi de expansão. Contudo, tal classe aumenta principalmente entre 1990 e 2000, com o surgimento de novas manchas nas porções norte, nordeste, oeste e sul. No que se refere às outras classes, a floresta aparenta sofrer um aumento de 1990 a 2020 e a agropecuária, por sua vez, aparenta ter decaído. Com as Tabelas 9 e 10, apresentadas em sequência, é possível fazer uma análise quantitativa das modificações no uso e ocupação do solo a cada intervalo de 10 anos.



**Figura 12-** Mapas do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica de Juiz de fora entre 1990 e 2020

Fonte: elaborado pela autora (2023)

**Tabela 10-** Evolução temporal das classes de uso e ocupação, em hectares

Ano	Infraestrutura urbana (ha)	Agropecuária (ha)	Floresta (ha)	Formação natural não florestal (ha)	Curso d'água (ha)
1990	3995,61	72830,86	17173,56	14,4	597,66
2000	6396,11	66815,35	20824,83	22,18	555,29
2010	7366,09	64898,56	21682,18	17,3	650,05
2020	8379,93	60243,38	25339,81	41,13	609,17

Fonte: elaborado pela autora (2023)

**Tabela 11-** Evolução temporal das classes de uso e ocupação, em porcentagem

Ano	Infraestrutura urbana (%)	Agropecuária (%)	Floresta (%)	Formação natural não florestal (%)	Curso d'água (%)
1990	4,21	76,91	18,13	0,01	0,631
2000	6,75	70,56	21,99	0,02	0,586
2010	7,77	68,54	22,89	0,018	0,686
2020	8,85	63,62	26,76	0,043	0,643

Fonte: elaborado pela autora (2023)

Os resultados quantitativos corroboram a análise visual. Percebe-se que no intervalo entre 1990 e 2000, de fato houve o aumento da infraestrutura urbana (2,54%). A partir de 2000, o crescimento dessa classe estabiliza, acontecendo de forma constante entre os intervalos de 10 anos, sem acréscimo. Destaca-se que, em 2020, a área em hectares relacionada à infraestrutura urbana atingiu mais do que o dobro da área em 1990.

O resultado mencionado provavelmente está atrelado ao crescimento das cidades médias no Brasil em detrimento do fenômeno de desmetropolização. Tal fenômeno consiste na redução do crescimento das metrópoles, sobretudo Rio de Janeiro e São Paulo, em benefício das cidades médias (SOUZA, 2001). A desmetropolização está relacionada também à desconcentração industrial, no qual empresas e fábricas de

grande porte e importância, que outrora tinham preferência por se estabelecer nos grandes centros urbanos, se deslocam para cidades menores visando a diminuição e isenção de impostos além da fuga dos problemas relacionados à falta de planejamento urbano e gestão das grandes metrópoles (UGEDA JÚNIOR, 2014).

No que toca à desmetropolização é necessário mencionar que tal fenômeno não significa uma redução do tamanho urbano, mas está intimamente ligado à uma deterioração geral das condições de vida e habitabilidade da população (pobreza e violência) (SOUZA, 2001). Dessa forma, considerando a migração de empresas,, esse movimento econômico iniciado na década de 70, mas ganha força na década de 90 (UGEDA JÚNIOR, 2014), somado com a desigualdade de condição de vida nas metrópoles, as cidades médias se tornam muito atrativas para as pessoas. Assim, mediante a localização geográfica de Juiz de Fora - entre Belo Horizonte, Rio de Janeiro e São Paulo- o crescimento da cidade e suas características de polo econômico regional e grande concentradora demográfica da zona da mata mineira, aparenta acompanhar esse fenômeno.

Em contramão do observado para a infraestrutura urbana, o uso do solo para agropecuária sofreu redução constante entre os intervalos de 10 anos, assim, em 2020 atingiu o decréscimo de 13 % em relação à porcentagem observada em 1990.

Diferente do esperado quando se pensa em expansão urbana no Brasil, a floresta apresentou um crescimento constante ao longo dos intervalos temporais. Em 2020, tal classe apresentou um aumento de quase 10% dentro da bacia hidrográfica analisada, quando em comparação com a porcentagem de área dessa classe em 1990. No que diz respeito à formação natural não florestal, esta foi a classe que apresentou menor presença na bacia hidrográfica em todos os anos analisados. No entanto, sofreu um crescimento, ainda que baixo, nos intervalos de 10 anos.

Já para os cursos d'água, o que se observou são valores que sofreram pequenas variações ao longo dos anos, porém permaneceram na mesma faixa de porcentagem de área na bacia hidrográfica, no caso, entre 0,5% e 0,6%.

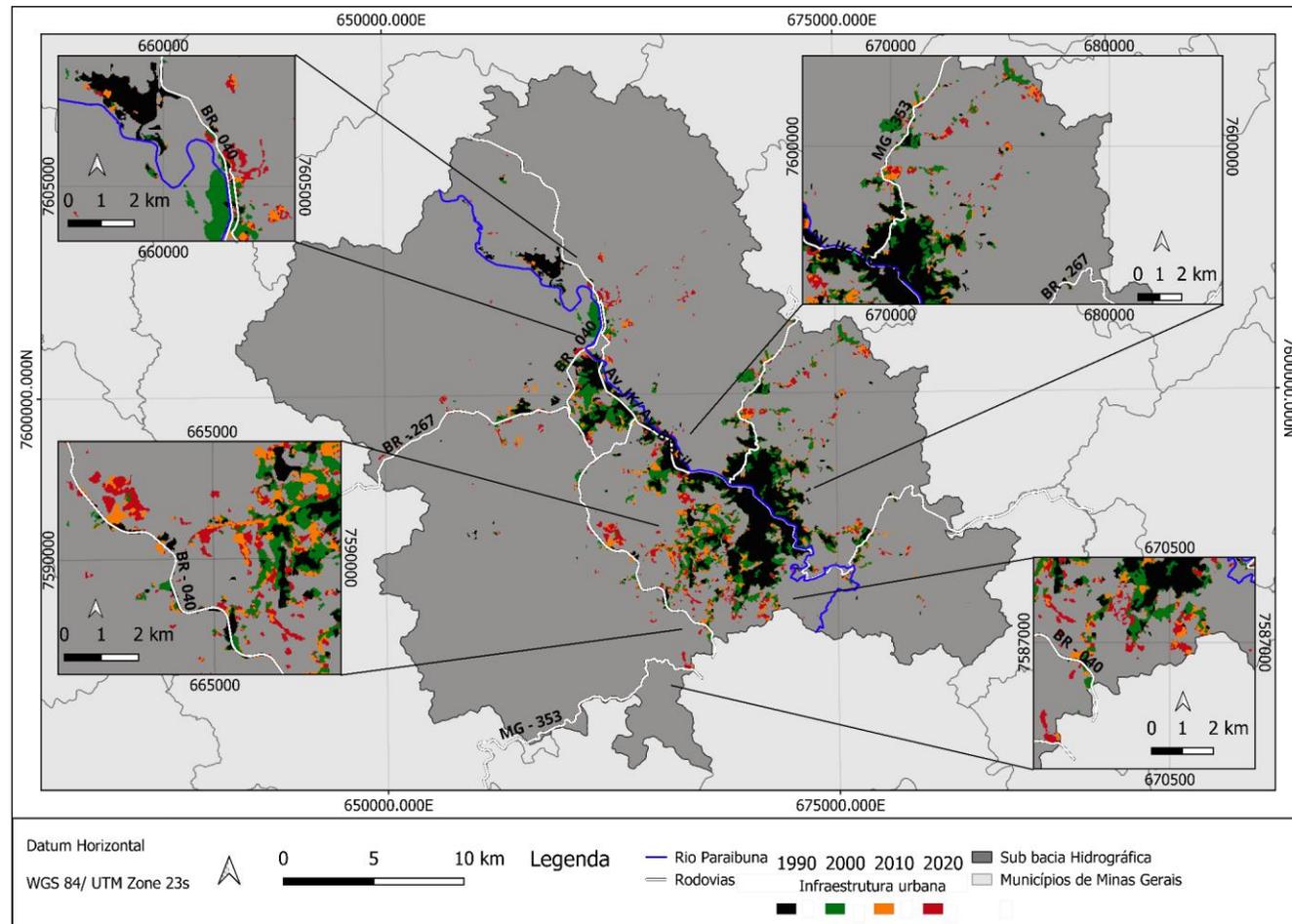
O processo de mudanças no uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas, se relaciona diretamente com a expansão urbana que, por sua vez, é um fenômeno complexo, muito dinâmico, que pode ser inconstante, muito alterável e é altamente influenciado por acontecimentos de cunho econômico, ambiental, social. Dessa

maneira, para compreender melhor os dados quantitativos e fazer uma leitura mais assertiva da mudança nos mapas no intervalo temporal é necessário adentrar na história de desenvolvimento da localidade e entender o contexto socioeconômico.

Silva e Oliveira *et al.* (2006) explicam que a partir da década de 1990 o “Estado Indutor do Desenvolvimento”, que regula iniciativas públicas e privadas, ganha espaço no lugar do “Estado Empreendedor”, assim, atribuições e recursos foram dados aos municípios. Nesse contexto, Amaral (2018) aponta que diante do quadro nacional nesse período e, principalmente, buscando retomar o desenvolvimento econômico do município, a Prefeitura de Juiz de Fora inicia o processo de elaboração dos planos municipais (Plano Diretor e Plano Estratégico), em concordância também com o Estatuto das Cidades, criado em 2000. Dessa maneira, nos planos e projetos das gestões urbanas no município, as formas de ação empresariais, principalmente relacionadas com as parcerias público-privadas ganham lugar e colocam como prioridade a execução de projetos que obedecem à lógica da extração da renda imobiliária (AMARAL, 2018).

Na ótica apresentada, para atingir os objetivos traçados, o município de Juiz de Fora apostou em projetos de expansão e diversificação da indústria, do comércio, de serviços e do imobiliário, de forma que surgem novos padrões de consumo, inclusive, habitacionais (RODRIGUES, 2011). Nesse contexto, Geraldo (2014) afirma que foi iniciado um processo de concentração de equipamentos atrativos próximos à BR 040 que dá acesso ao município, criando um “cinturão da BR 040”. O autor ainda aponta que nessa localidade vem acontecendo o processo de expansão juntamente à reestruturação urbana, com maior tendência ao adensamento populacional e concentração de funções, acarretando centralidades.

Com a finalidade de visualizar a dinâmica discutida, na Figura 13 é possível observar o processo da expansão urbana (infraestrutura urbana) no intervalo de 1990 a 2020, considerando a disposição do rio principal (rio Paraibuna) e as rodovias, principalmente a BR 040.



**Figura 13-** Mapa da expansão da infraestrutura urbana de Juiz de fora entre 1990 e 2020

Fonte: elaborado pela autora (2023)

Dentre os equipamentos dispostos nas proximidades do Cinturão da BR 040, Amaral (2018) cita os que mais promoveram mudanças no tecido urbano do município e dinâmicas socioespaciais: (i) o Parque Científico e Tecnológico de Juiz de Fora e Região (PCTJFR), (ii) as obras da BR 040, (iii) a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), (iv) o Independência Shopping (inaugurado em 2008), (v) o Shopping Jardim Norte (inaugurado em 2016) e (vi) a duplicação da Av. Deusdedit Salgado. Em análise conjunta com os dados quantitativos, fica evidente que o investimento em equipamentos do porte mencionado proporciona uma alteração substancial de fluxo de pessoas, devido à atratividade, justificando o crescimento constante da classe de infraestrutura urbana nas décadas analisadas.

No que se refere ao comportamento da classe floresta nos anos investigados, este pode ser explicado a partir do estudo dos novos padrões habitacionais no município de Juiz de Fora, desencadeados pela influência do Estado que promove o mecanismo diferencial da renda da terra, refletindo no valor dos terrenos e imóveis, ao atender interesses de classe (AMARAL, 2018). Essa mesma autora explica que o município em questão, teve os primeiros condomínios fechados implantados na década de 70, e sua intensificação ocorreu na década de 90, concomitantemente ao processo de desmetropolização vivenciado no Brasil. Os dados da Prefeitura de Juiz de Fora indicam que haviam na cidade 27 loteamentos fechados até 2013 e, nos anos seguintes, muitos outros foram inaugurados e/ou implantados, sobretudo na Região Sul da cidade (Figura 13) (AMARAL, 2018).

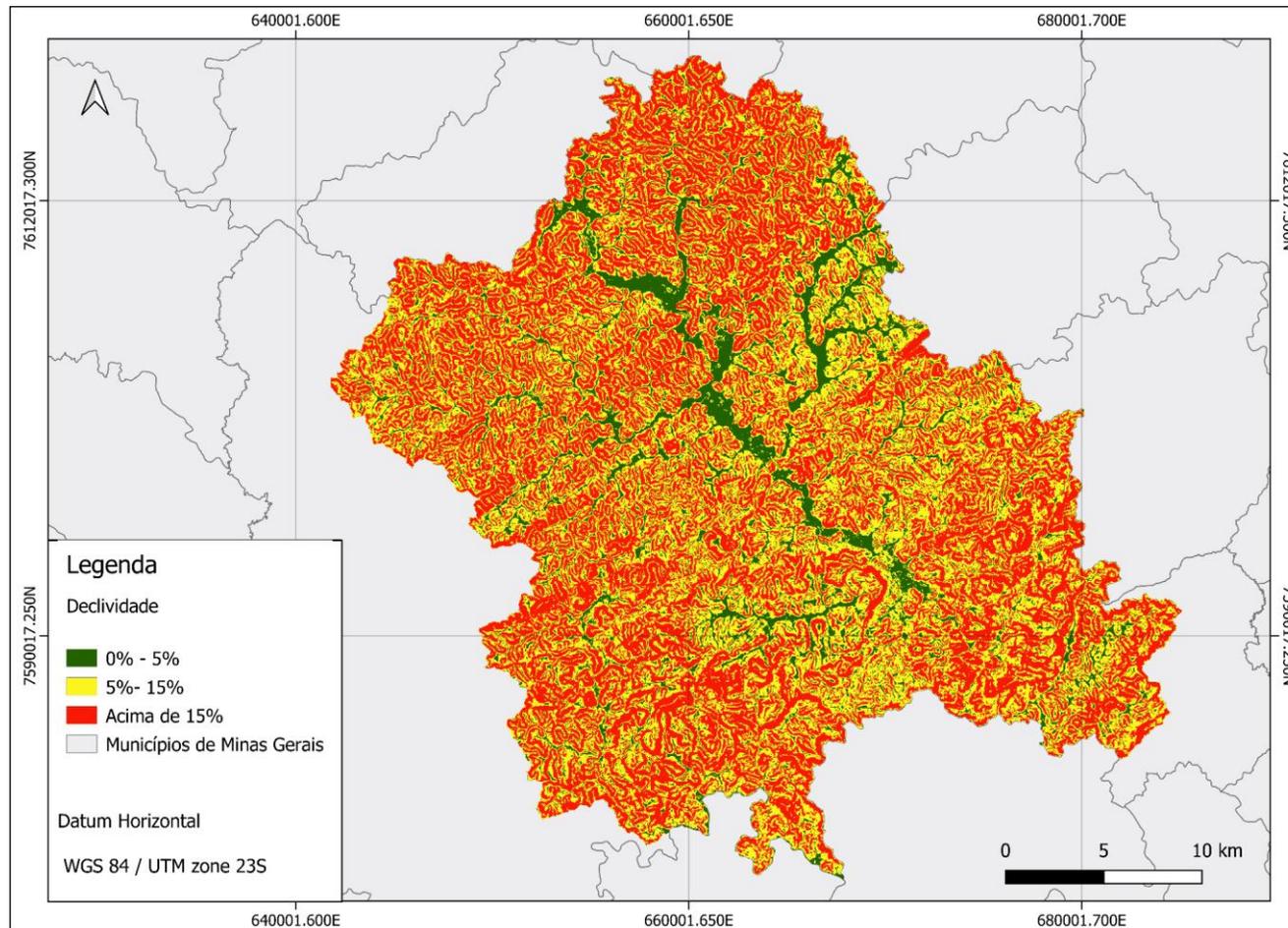
Nesse contexto, Rodrigues (2011) afirma que os grupos que contêm maior renda estão promovendo mudanças nas formas habitacionais tradicionais, “desterritorializando-se” dos bairros considerados tradicionais e migrando para áreas novas (condomínios) ou antigas, desde que remodeladas. Tal fato se reflete nos novos loteamentos fechados que se vinculam à questão do *status* e do afastamento dos problemas urbanos tais como congestionamentos, pobreza, poluição, violência, por exemplo (RODRIGUES, 2011). Dessa maneira, além dos motivos apresentados, o que torna altamente atrativo nesses loteamentos fechados é a “venda” de moradias integradas a espaços verdes.

Amaral (2018) e Rodrigues (2011) explicam que os loteamentos são dotados de muitas áreas verdes, ruas arborizadas e fluxo pequeno de veículos, sendo áreas

altamente valorizadas por terem uma excelente infraestrutura e que vendem o conceito de estar em harmonia com a natureza. Esses autores apresentam então que se trata de um mercado com “mercadorias verdes” que aparecem como meios para satisfazer a nova demanda por um espaço ambiental e ecológico de qualidade. Nesse sentido, há uma atenção ambiental maior envolvida, e assim, torna-se lógico o reflorestamento de áreas antes degradadas e, portanto, o aumento de áreas de “floresta” dentro da bacia hidrográfica. Por fim, ao retomar a Figura 12, é possível verificar que o aumento das áreas verdes ocorre justamente próximo às localidades onde se percebe o aumento da infraestrutura urbana ao longo dos anos, sobretudo na porção norte, oeste e sul.

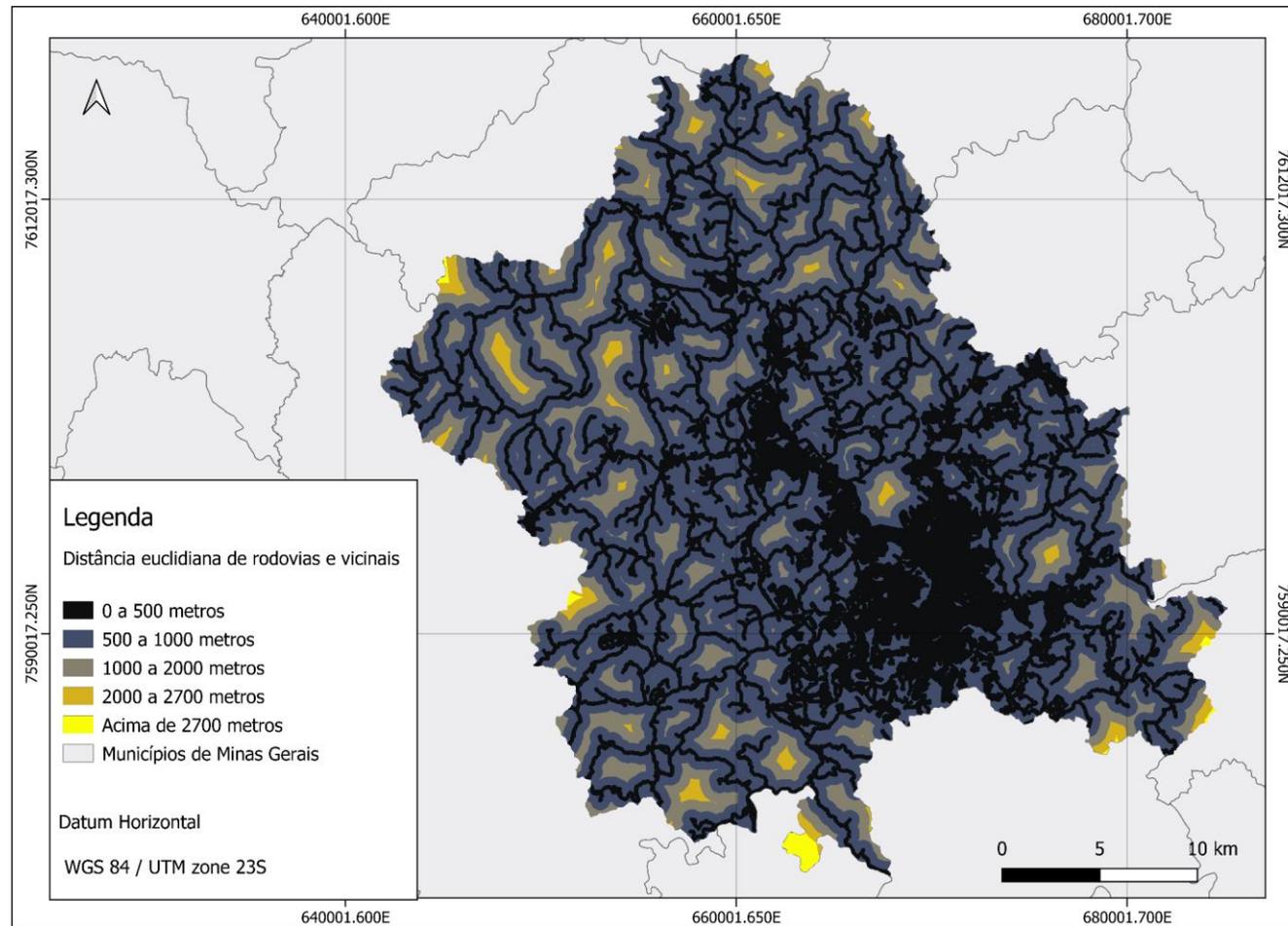
### **5.3 Simulação para 2030: análise de correlação das variáveis independentes**

Nas Figuras 14, 15 e 16 foram apresentados mapas para as variáveis independentes (declividade, rodovias e drenagem) categorizadas. Na Tabela 11, encontram-se os resultados da correlação  $V$  de Cramer para essas variáveis. O conjunto de variáveis foi considerado bom para realizar a simulação, uma vez que, os valores superaram 0,1 (MUHAMMAD *et al.*, 2022).



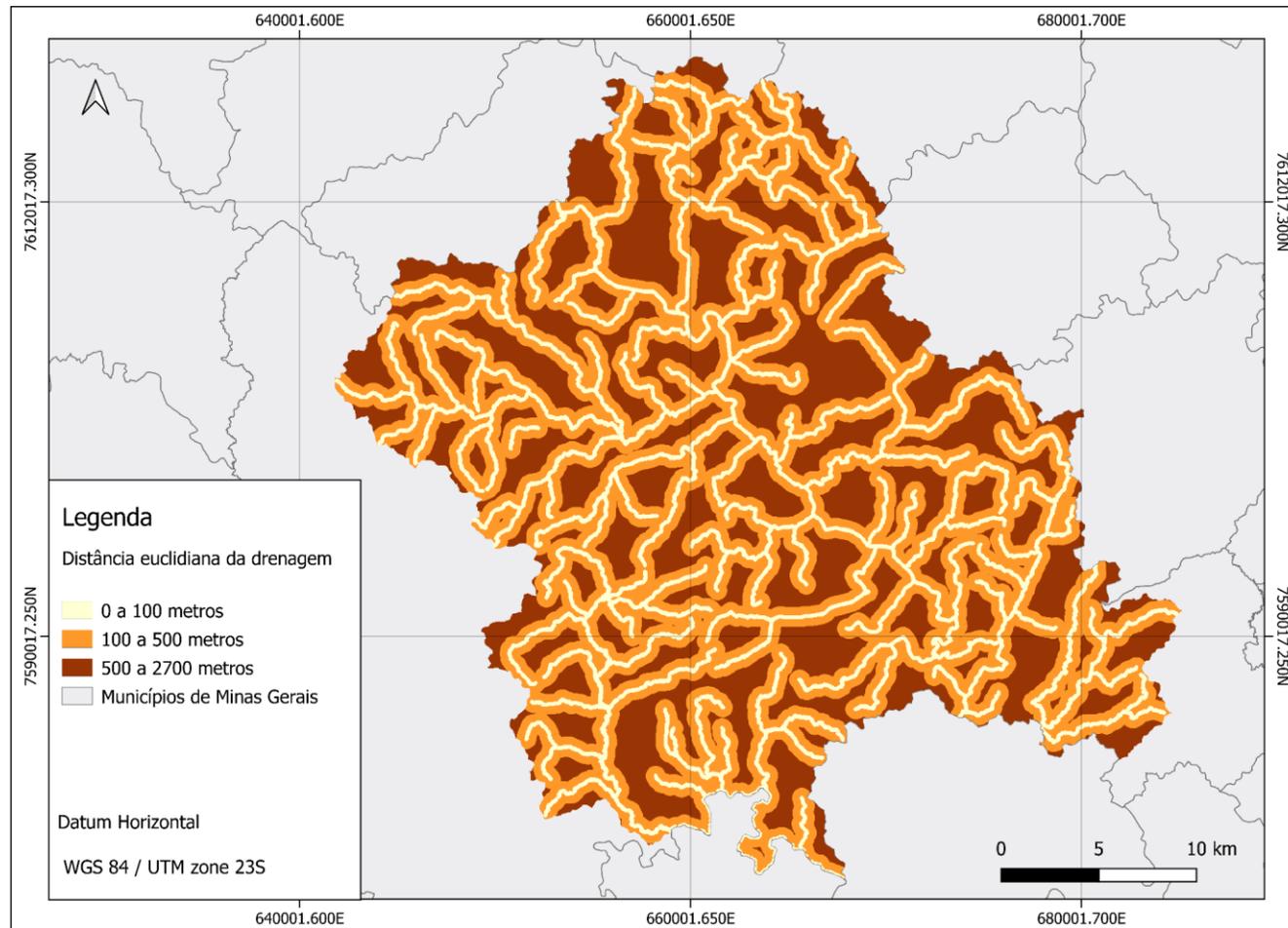
**Figura 14-** Mapa categorizado da variável declividade do município de Juiz de Fora

Fonte: elaborado pela autora (2023)



**Figura 15-** Mapa categorizado da variável distância de rodovias e vicinais do município de Juiz de Fora

Fonte: elaborado pela autora (2023)



**Figura 16-** Mapa categorizado da variável distância de drenagem do município de Juiz de Fora

Fonte: elaborado pela autora (2023)

**Tabela 12-** Resultados referentes ao teste de correlação V de Cramer para as variáveis independentes

	Declividade	Rodovias	Drenagem
Declividade	--	0,1509	0,1673
Rodovias		--	0,1743
Drenagem			--

Fonte: elaborado pela autora (2023)

A simulação levou em consideração o efeito dos fatores que influenciaram a expansão urbana no período considerado e mantém as condições influentes estáveis (variáveis independentes). Assim, em uma breve análise das variáveis utilizadas nesse trabalho, considerou-se que a declividade de fato não foi um fator que variou ao longo de 20 anos. Já a drenagem pode ter sofrido variações, no entanto, pelos resultados quantitativos apresentados à priori, os cursos d'água não tiveram alteração significativa em termos de porcentagem de área na bacia.

No que se refere à variável rodovias e vicinais, conforme discussão anterior, estas sofreram alterações ao longo dos anos pela expansão urbana e, conseqüente, aumento na infraestrutura urbana que tem uma relação forte com a abertura de novas vias em novas localidades habitacionais. No entanto, na simulação, os dados históricos são comparados fazendo uso da variável independente referente às condições atuais das rodovias e vicinais, assim, considerou-se que, a partir dos fatos históricos relacionados a novos empreendimentos na cidade, a variável permanecerá constante nos próximos 10 anos.

#### **5.4 Validação das simulações para 2010 e 2020 e resultado para 2030**

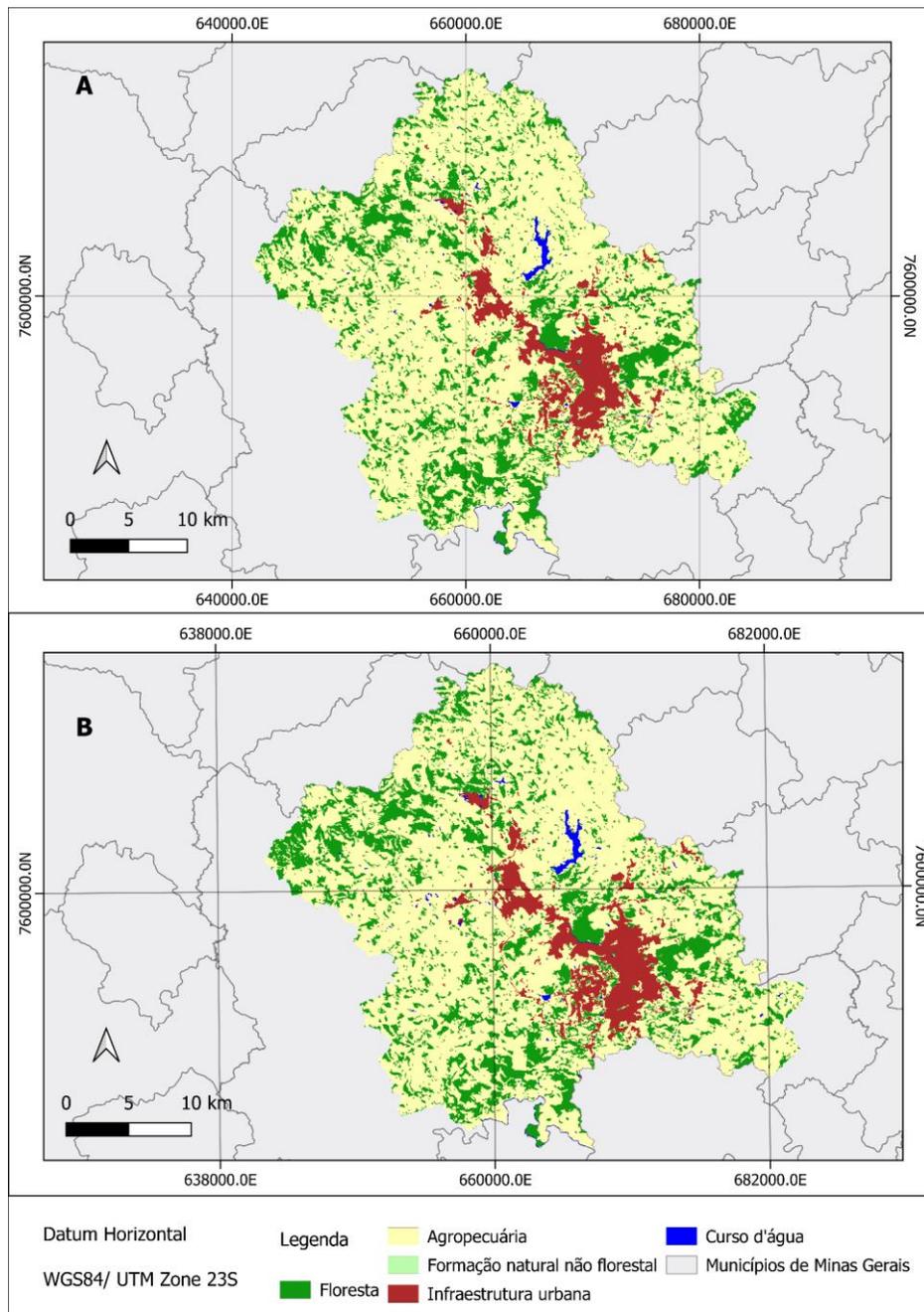
Para realizar a simulação para 2030 na bacia hidrográfica na qual Juiz de Fora encontra-se inserida, ou seja, reproduzir artificialmente as condições futuras desta, foi preciso realizar a validação das simulações para 2010 e 2020 por meio do índice Kappa Geral e o índice Kappa de localização (Tabela 12).

**Tabela 13-** Índices de validação das simulações

<b>Índice</b>	<b>Simulação 2010</b>	<b>Simulação 2020</b>
Kappa Geral	0,85	0,83
Kappa e localização	0,89	0,93
% de acerto	93,26	92,06

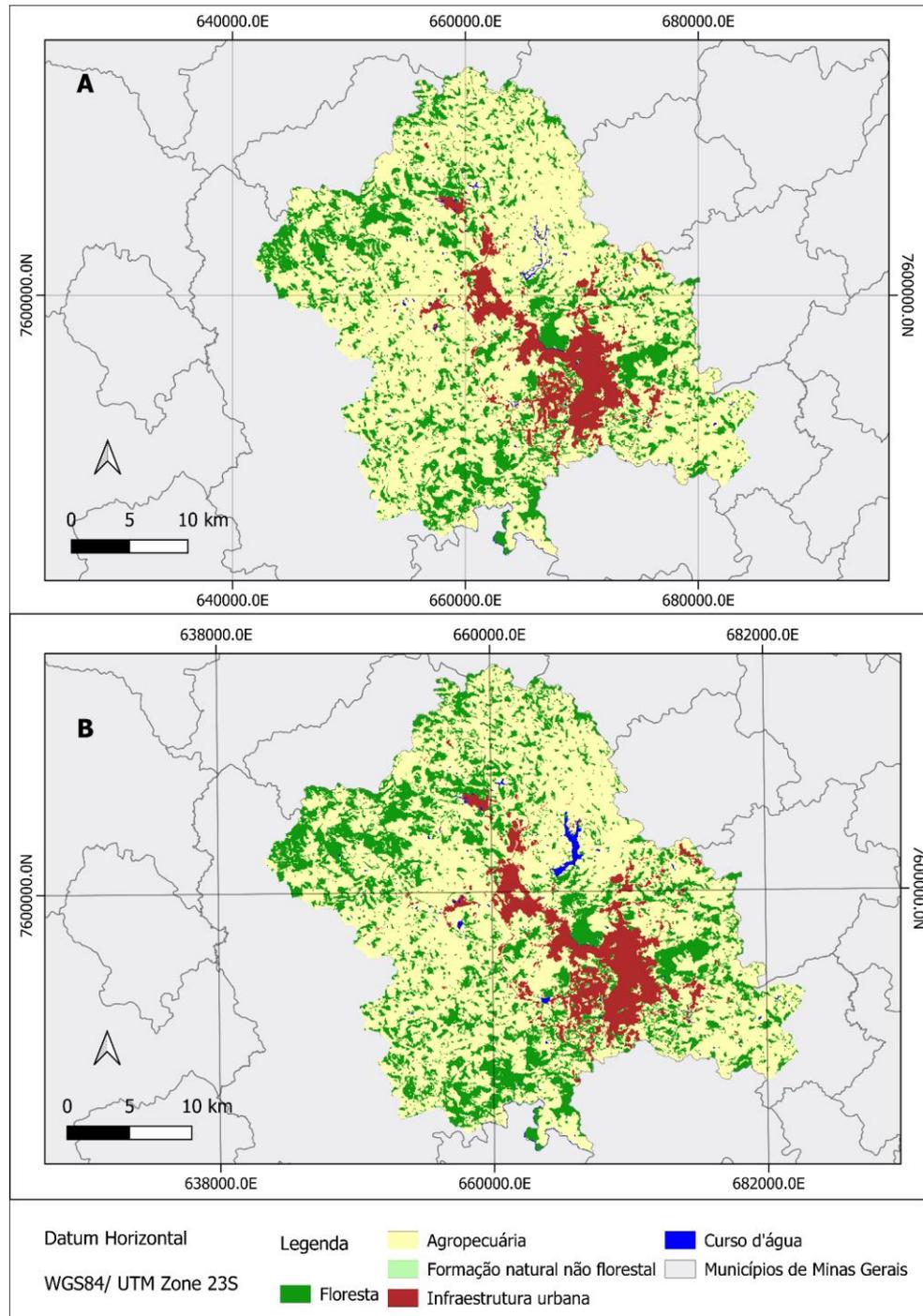
Fonte: elaborado pela autora (2023)

De acordo com a classificação dos valores do índice Kappa (Tabela 2), a simulação tanto para 2010 quanto para 2020, alcançaram valores de Kappa Geral considerados excelentes, estando entre 0,81 e 1. Dessa forma, as simulações puderam ser validadas e sugere-se que a simulação para 2030 será coerente. Além disso, os índices Kappa de localização encontram-se na faixa entre 0,85 e 1 e a porcentagem de acerto das simulações está acima de 90%, sendo mais um indicativo da qualidade destas. Em complemento às informações relacionadas aos índices Kappa obtidos, nas Figuras 17 e 18 pode-se fazer a comparação visual entre a simulação e o mapa real dos anos analisados.



**Figura 17-** Comparação de mapas do uso do solo em Juiz de Fora:  
 (a) simulação para 2010 realizada no MOLUSCE; (b) mapa real do uso e ocupação em 2010.

Fonte: elaborado pela autora (2023)



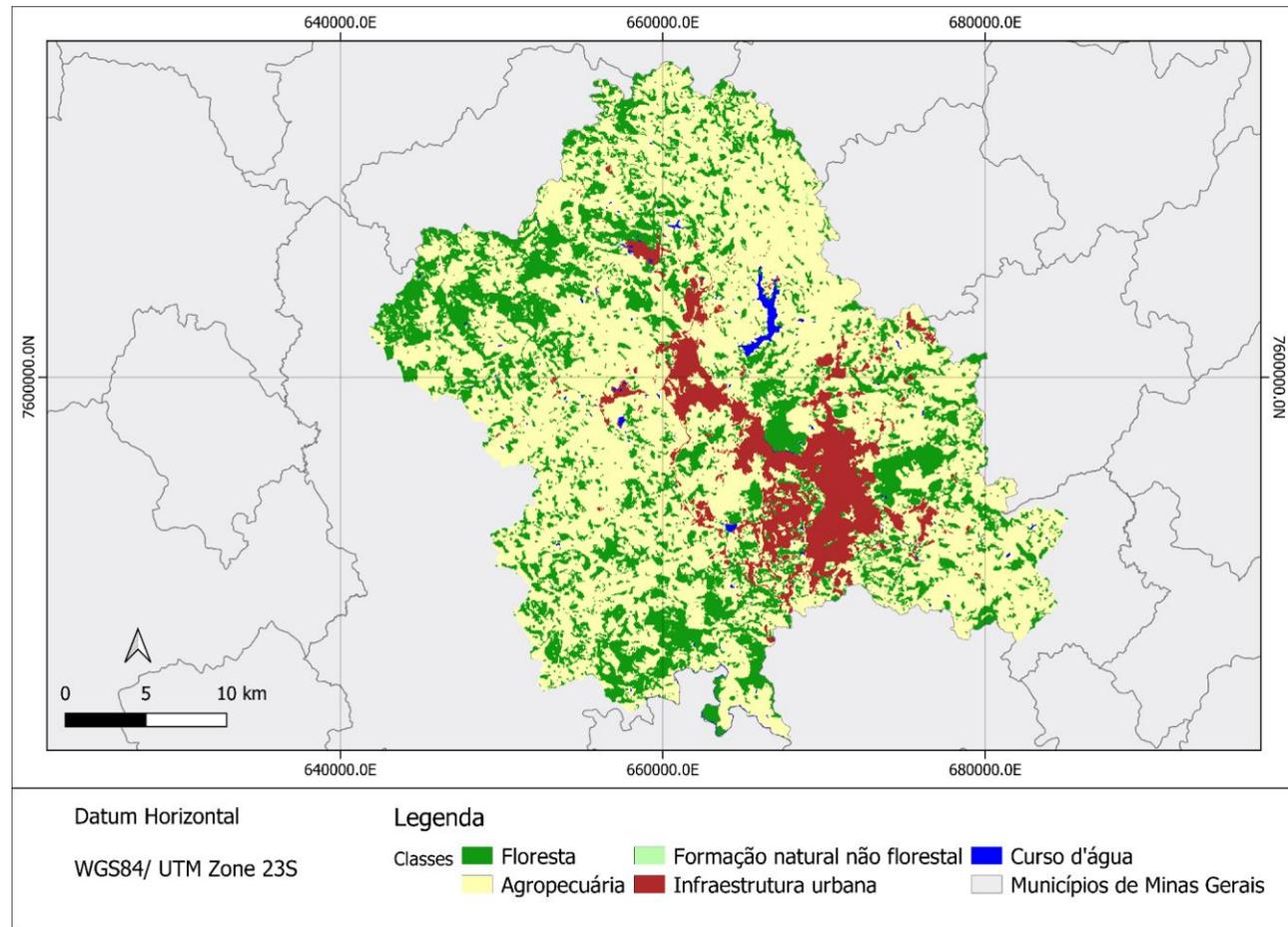
**Figura 18-** Comparação de mapas do uso do solo em Juiz de Fora:  
 (a) Simulação para 2020 realizada no MOLUSCE; (b) Mapa real do uso e ocupação em 2020

Fonte: elaborado pela autora (2023)

Na Figura 17, observa-se que o mapa simulado apresenta uma quantidade de área relacionada à infraestrutura urbana inferior ao mapa real para o uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica, em 2010. As demais classes, aparenta não ter sofrido variações tão perceptíveis quanto à infraestrutura urbana. Nesse sentido, pode-se dizer que a simulação para 2010 subestima o aumento da classe em questão, que pode ter sua explicação pautada nos fatos históricos relacionados à expansão urbana no município de Juiz de Fora a partir dos anos 2000, como discutido anteriormente.

No que tange à simulação para 2020, pela Figura 18 verifica-se que novamente a classe de infraestrutura urbana apresenta uma área menor em relação ao mapa real, no entanto, o que chama mais atenção é a redução da classe cursos d'água sobretudo na porção nordeste (em uma represa).

Por fim, como resultado desta etapa do trabalho, na Figura 19 encontra-se o mapa de uso e ocupação do solo para 2030, simulado a partir dos mapas reais de 2010 e 2020, referentes à bacia hidrográfica na qual Juiz de Fora está inserida. E nas Tabelas 13 e 14, estão dispostos os dados quantitativos das classes para os mapas reais de 2010, 2020 e para a simulação de 2030.



**Figura 19-** Mapa simulado para 2030 do uso e ocupação do solo na sub-bacia hidrográfica na qual Juiz de Fora está inserida

Fonte: elaborado pela autora (2023)

**Tabela 14-** Evolução temporal das classes de uso e ocupação, em hectares

Ano	Infraestrutura urbana (ha)	Agropecuária (ha)	Floresta (ha)	Formação natural não florestal (ha)	Curso d'água (ha)
2010	7366,09	64898,56	21682,18	17,3	650,05
2020	8379,93	60243,38	25339,81	41,13	609,17
2030	8378,69	59860,47	25737,7	39,14	597,41

Fonte: elaborado pela autora (2023)

**Tabela 15-** Evolução temporal das classes de uso e ocupação, em porcentagem

Ano	Infraestrutura urbana (%)	Agropecuária (%)	Floresta (%)	Formação natural não florestal (%)	Curso d'água (%)
2010	7,77	68,54	22,89	0,018	0,68
2020	8,85	63,62	26,76	0,04	0,64
2030	8,84	63,21	27,18	0,04	0,63

Fonte: elaborado pela autora (2023)

A simulação mantém o padrão observado para o intervalo entre 2010 e 2020. A infraestrutura urbana praticamente não se altera em termos de porcentagem de área na bacia, sugerindo que a expansão urbana em Juiz de Fora tende a sofrer uma certa “estagnação”. Tal comportamento pode ser observado, uma vez que o município está crescendo nessa classe, porém com taxas decrescentes. Tal fato pode ser comparado ao número de habitantes no município: a população estimada para 2021 era de 577.532 pessoas, no entanto, a população verificada pelo censo de 2022 foi de 540.756 pessoas (IBGE CIDADES, 2023).

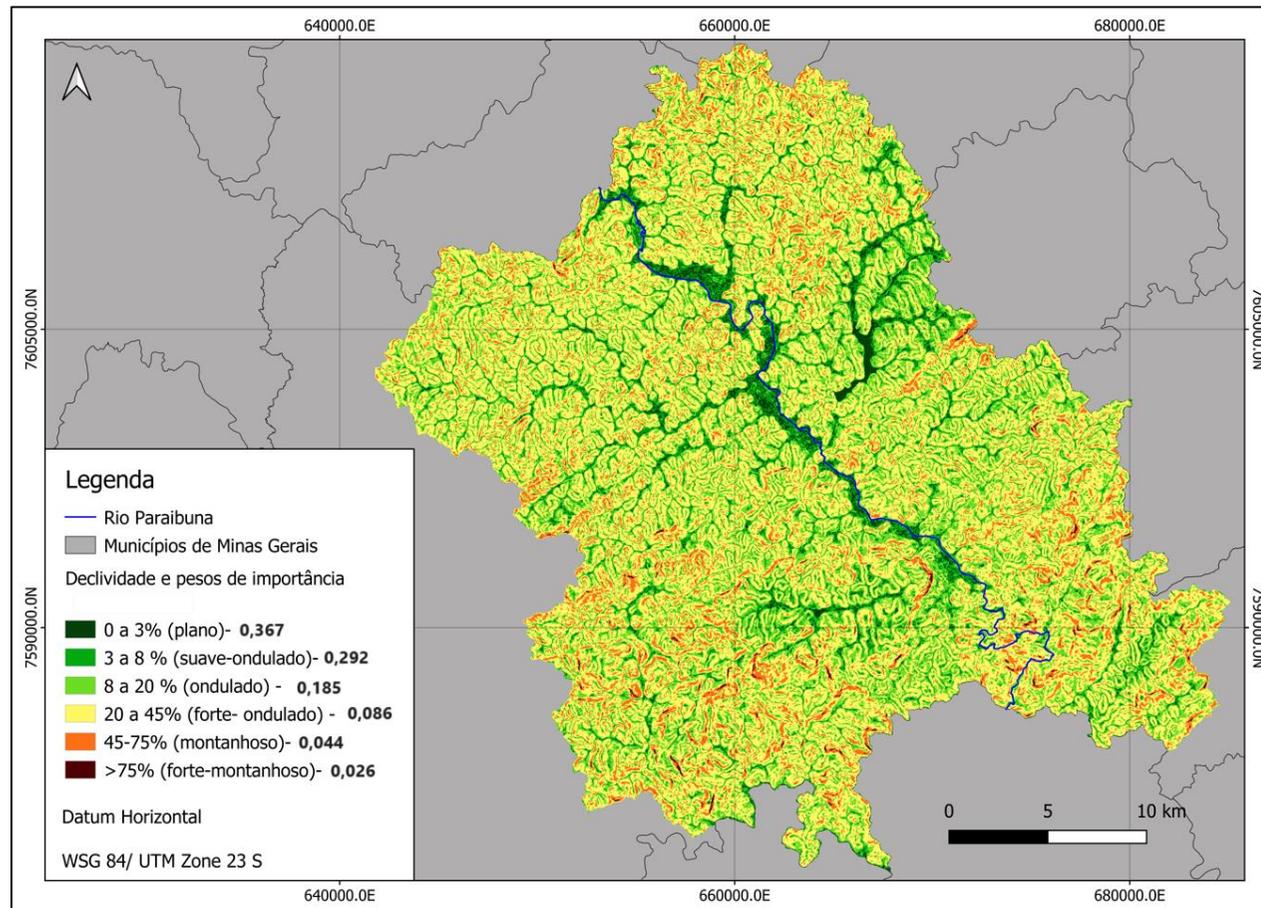
A situação em discussão pode estar atrelada aos novos padrões habitacionais da cidade e a nova dinâmica desta em decorrência das obras de grande porte que promovem atratividade às cidades vizinhas, mas “empurram” os moradores das áreas ao entorno para outros lugares dentro do município e talvez, outras cidades (RODRIGUES, 2011). No que diz respeito às outras classes, a agropecuária se mantém sofrendo uma redução e a floresta, um aumento, em proporções menores do que no intervalo de 2010 a 2020. Por fim, a formação natural não florestal mantém-se

com o mesmo valor e os cursos d'água sofrem uma redução (0,01%), nada expressiva.

## **5.5 Análise de suscetibilidade à inundação e alagamento**

### **5.5.1 Declividade**

O mapa gerado referente ao fator declividade encontra-se na Figura 20. Na análise deste, é possível identificar que a grande parte da bacia possui relevo classificado como forte-ondulado, ou seja, com declividade entre 20 e 45 %. Os relevos montanhoso e forte-montanhoso possuem presença pouco expressiva na bacia. Os locais de relevo plano, suave-ondulado e ondulado são aqueles nos quais há a presença de curso d'água ou represas. Destaca-se que grande parte da área urbana se encontra nos locais com baixa declividade e, portanto, nos locais em que a declividade favorece a ocorrência de inundação e alagamento, sobretudo o centro do município e a expansão urbana ocorrida ao longo dos anos.



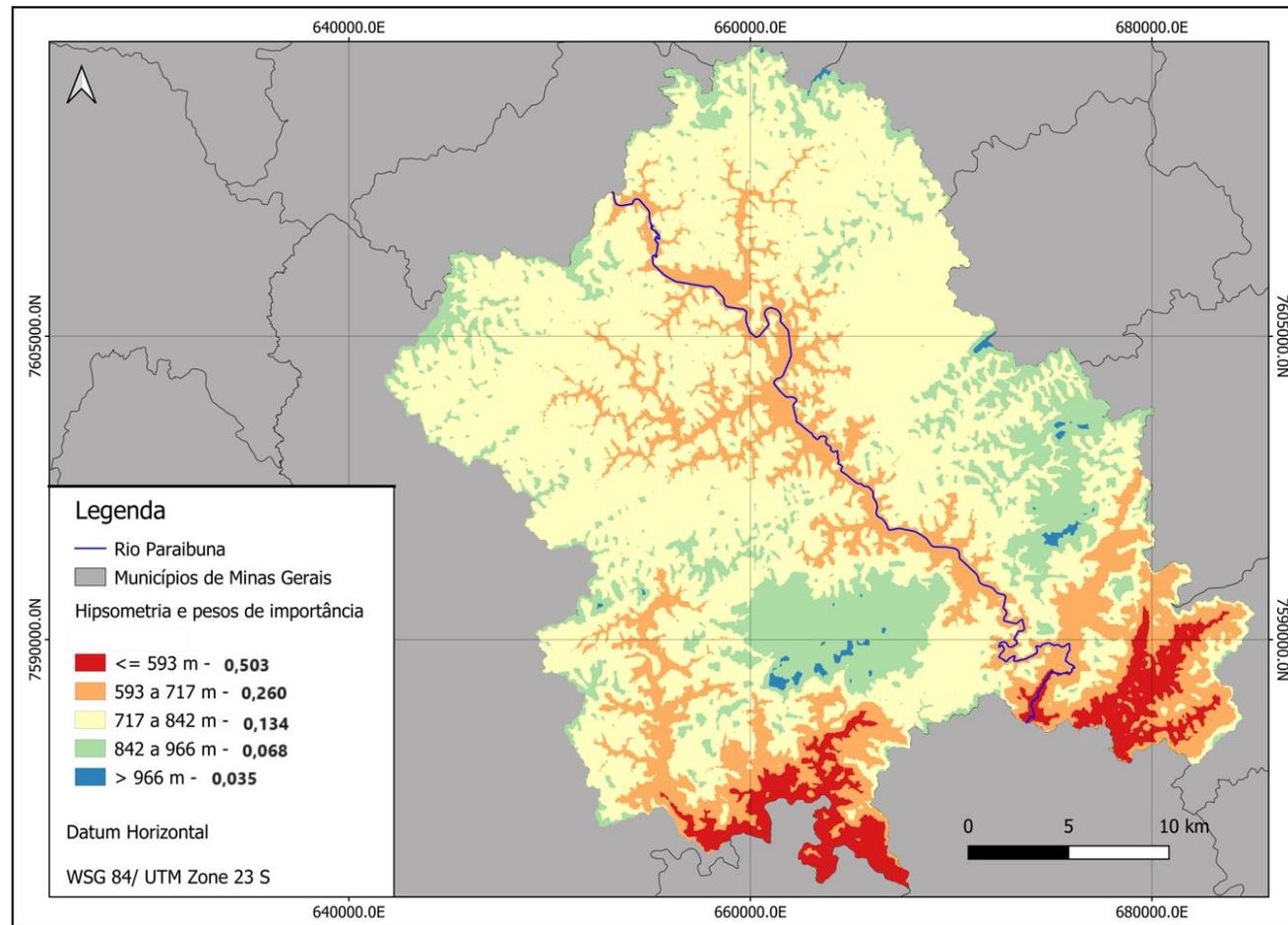
**Figura 20-** Classes de declividade e seus respectivos critérios de importância quanto ao favorecimento de ocorrência à inundação

Fonte: elaborado pela autora (2023)

### 5.5.2 Hipsometria

Na Figura 21 encontra-se o mapa hipsométrico. Nota-se que as altitudes superiores a 966 metros não são expressivas na bacia. Para a classe que varia de 842 a 966 metros, considerada a segunda mais elevada, é perceptível a presença nas áreas limítrofes na sub-bacia, fato esperado, uma vez que o critério de delimitação de uma bacia hidrográfica se dá por meio dos pontos de maior altitude. Contudo, na porção sul e leste da sub-bacia, é notória a presença mais expressiva dessa classe e, quando comparado ao mapa de declividade, é possível observar que embora sejam áreas mais elevadas, possuem baixa declividade, sendo, portanto, áreas elevadas, com alta energia potencial em relação às áreas com altitude mais baixa, mas que possui relevo favorável à inundação e alagamento.

No que se refere às demais altitudes, a maioria da bacia possui uma altitude entre 717 e 842 metros, classe intermediária. As áreas mais baixas (409 a 593 metros) estão na porção sul e leste em locais que acompanham o direcionamento do rio Paraibuna em sua continuação. A segunda classe de altitude mais baixa compreende os locais nos quais há presença de curso d'água e nas áreas de menores declividades, que também são os locais nos quais a presença de infraestrutura urbana é mais expressiva. Nesse sentido, dado que altitudes mais baixas em conjunto com declividades baixas possuem uma maior probabilidade de ocorrência de inundações e alagamentos, os menores valores encontrados na sub-bacia em análise, estão exatamente na área urbana de Juiz de Fora.

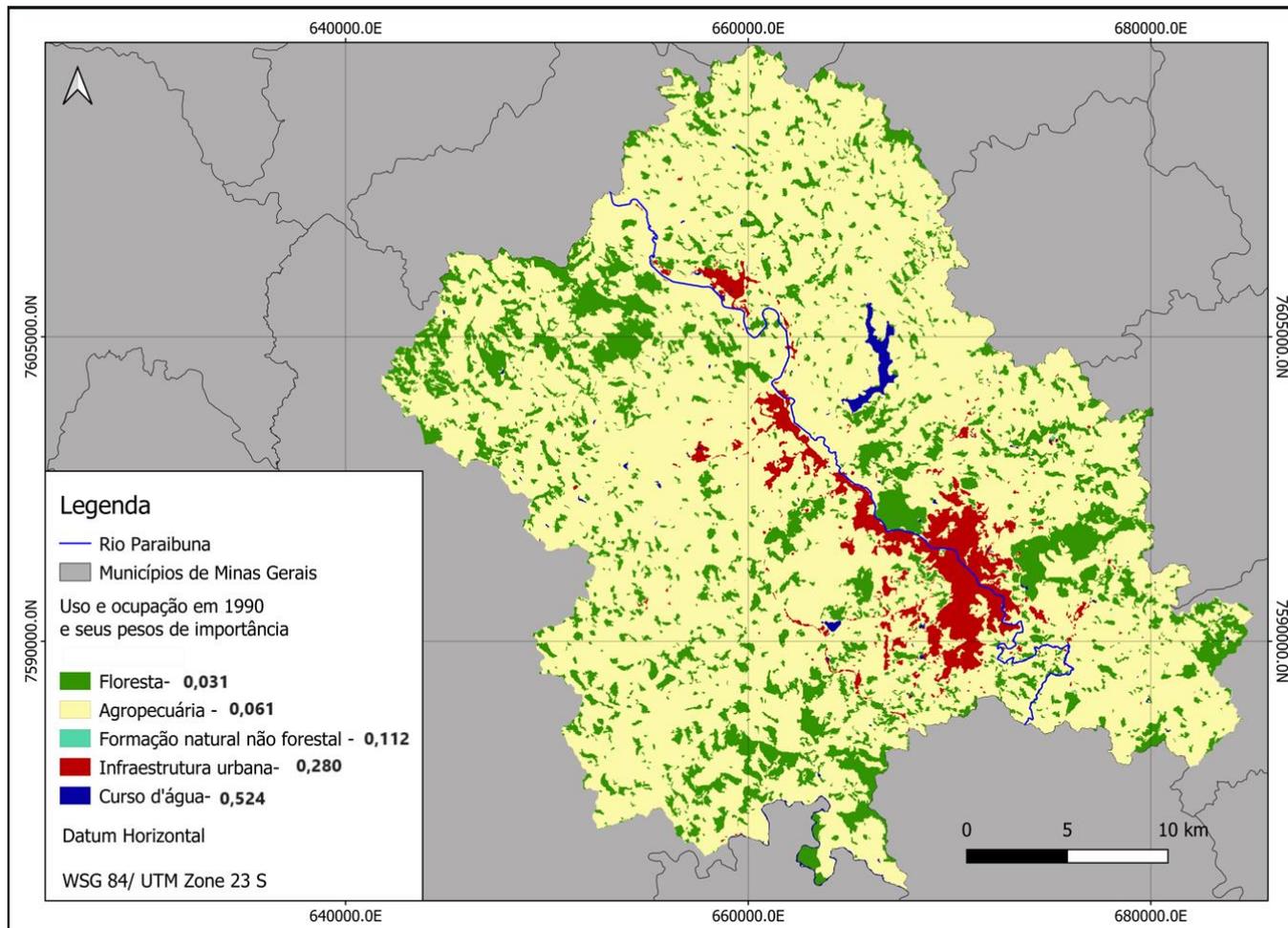


**Figura 21-** Classes de hipsometria e seus respectivos critérios de importância quanto ao favorecimento de ocorrência à inundação

Fonte: elaborado pela autora (2023)

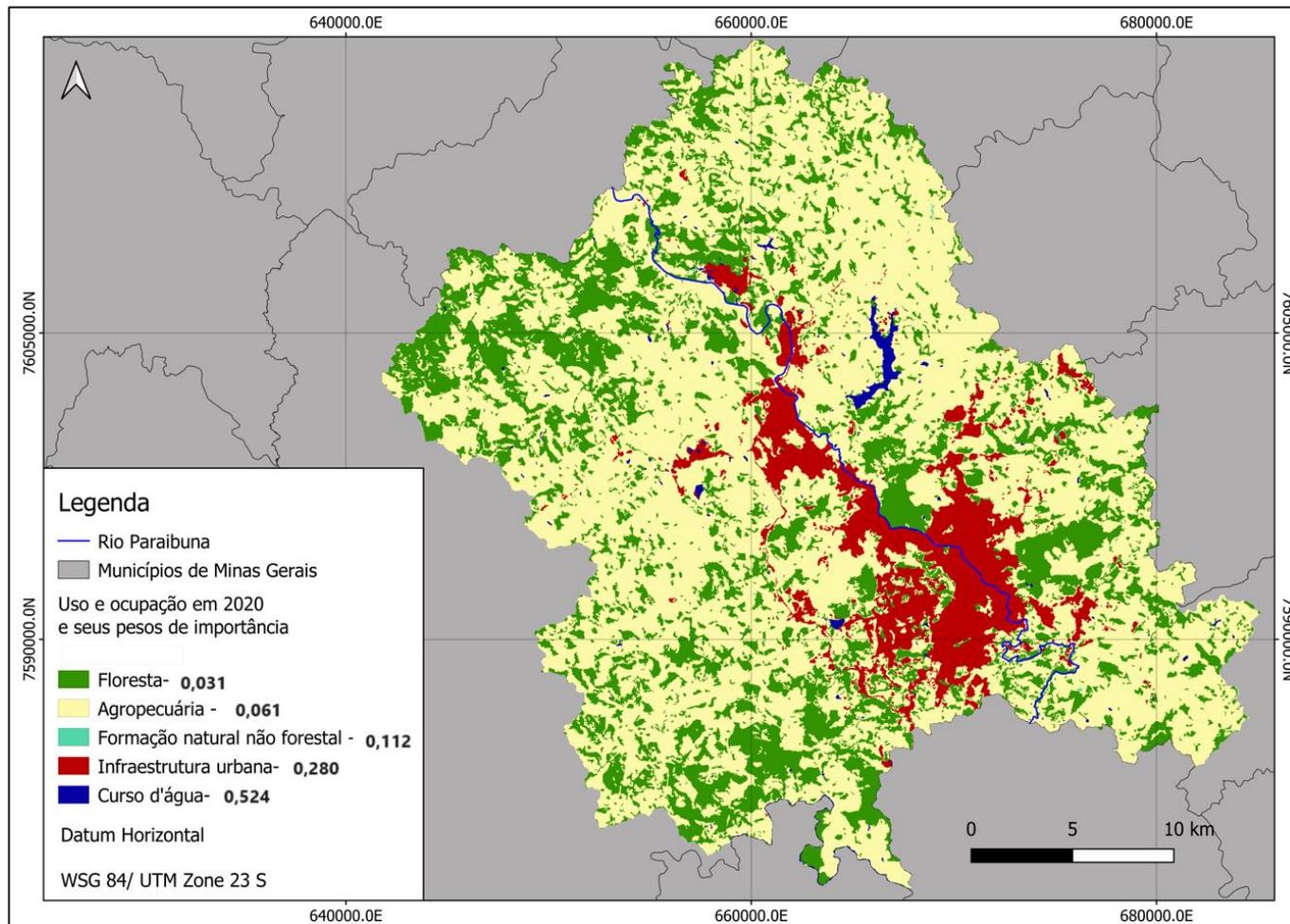
### **5.5.3 Uso e ocupação**

Uma análise temporal com maior detalhamento do fator uso e ocupação do solo foi realizada em etapas anteriores. Desta forma, nas Figuras 22, 23 e 24 são apresentados os mapas de uso e ocupação do solo em 1990, 2020 e 2030 para fins de visualização em mapa dos pesos de importância atribuídos a cada classe.



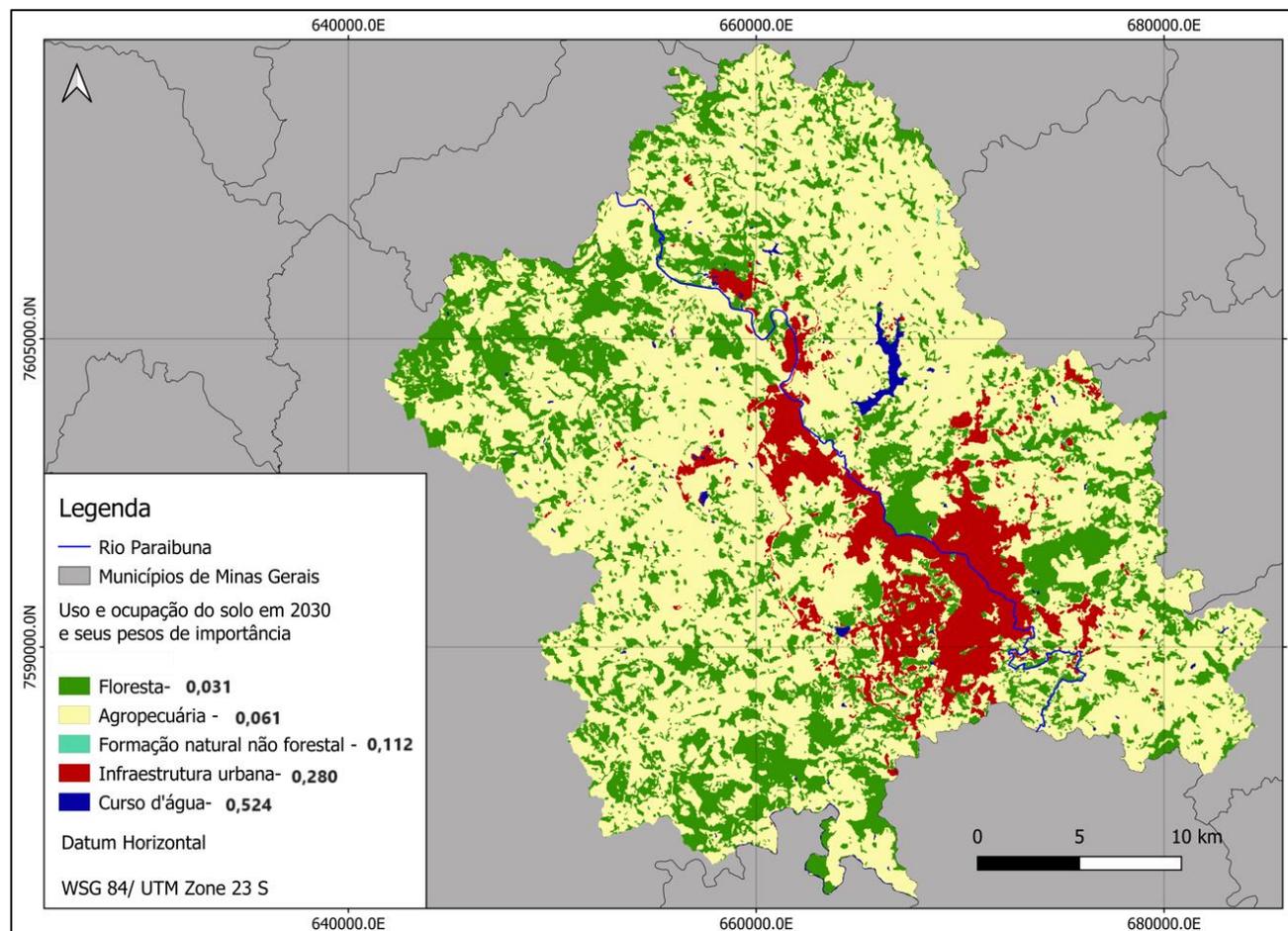
**Figura 22-** Classes de uso do solo em 1990 e seus respectivos critérios de importância quanto ao favorecimento de ocorrência à inundação

Fonte: elaborado pela autora (2023)



**Figura 23-** Classes de uso do solo em 2020 e seus respectivos critérios de importância quanto ao favorecimento de ocorrência à inundação

Fonte: elaborado pela autora (2023)



**Figura 24-** Classes de uso do solo em 2030 e seus respectivos critérios de importância quanto ao favorecimento de ocorrência à inundação

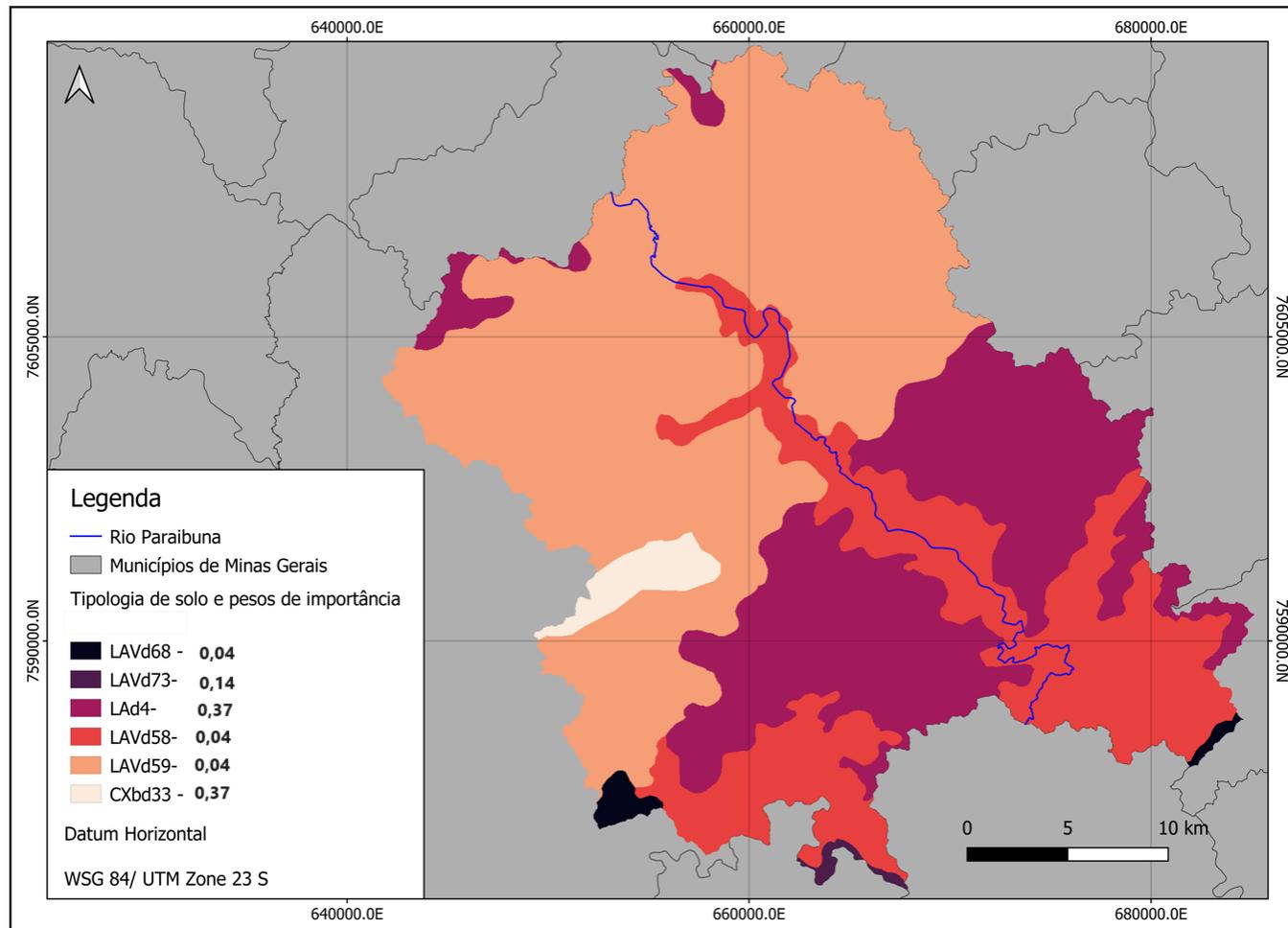
Fonte: autora (2023)

#### **5.5.4 Tipo de solo**

Na Figura 25 encontra-se o mapa dos tipos de solo e seus pesos de importância. De acordo com a classificação realizada, dentre os seis tipos de solos encontrados na sub-bacia hidrográfica de Juiz de Fora, três deles são considerados solos mais propensos aos eventos de inundação e alagamentos. No que tange à área urbana de Juiz de Fora, a tipologia presente são os latossolos vermelho-amarelo distróficos (LVAd58, LVAd593) e o latossolo amarelo distrófico (LAd4), nos quais apenas o último está na classificação de grupo hidrológico C, ou seja, um solo que favorece os eventos de inundação e alagamentos.

De acordo com a Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC) (2021), os latossolos vermelho-amarelos (LVAd), de maneira geral, estão presentes em ambientes bem drenados e nos relevos plano, suave-ondulado ou ondulado. Em uma análise do mapa, é perceptível que estes solos se encontram nos locais cuja declividade é baixa na sub-bacia, abrangendo grande parte da área urbana do município. No que se refere aos latossolos-amarelos, estes possuem condições físicas de retenção de umidade e permeabilidade consideradas boas, e sua ocorrência está associada ao relevo plano ou suavemente ondulado (AGEITEC, 2021).

Por fim, os cambissolos háplicos (Cxbd), podem ser identificados em variados ambientes, contudo sua presença está mais associada às áreas que possuem relevos ondulados a montanhosos (AGEITEC, 2021). Assim, a disposição dos solos mencionados na sub-bacia, encontra-se em concordância com as características de relevo da área analisada.



**Figura 25** - Classes de solos e seus respectivos critérios de importância quanto ao favorecimento de ocorrência à inundação

Fonte: elaborado pela autora (2023)

### 5.5.5 Matriz pareada e autovetores determinados

Segundo a metodologia proposta, a matriz pareada construída por Rezende (2023) foi usada para julgar os relacionamentos entre os fatores. Sendo assim, a matriz encontra-se na Tabela 15 na qual também se apresenta a soma das colunas (uma das etapas de cálculo). Em sequência, foram realizados os procedimentos detalhados na metodologia, assim, os resultados destes encontram-se dispostos nas Tabelas 16 e 17.

**Tabela 16-** Matriz pareada com a soma dos valores de cada uma de suas colunas, como pré-requisito para normalização dos valores

Inundação	Hipsometria	Declividade	Uso do solo	Tipo de solo
Hipsometria	1,00	0,17	0,25	3,00
Declividade	6,00	1,00	0,50	8,00
Uso do solo	4,00	2,00	1,00	8,00
Tipo de solo	0,33	0,13	0,13	1,00
Soma	11,33	3,30	1,88	20,0

Fonte: elaborado pela autora (2023)

**Tabela 17-** Matriz normalizada a partir da divisão de cada elemento pela soma dos valores de suas respectivas colunas e conferência da normalização por meio do somatório destas

Inundação	Hipsometria	Declividade	Uso do solo	Tipo de solo
Hipsometria	0,09	0,05	0,13	0,15
Declividade	0,53	0,30	0,27	0,40
Uso do solo	0,35	0,61	0,53	0,40
Tipo de solo	0,03	0,04	0,07	0,05
Soma	1,00	1,00	1,00	1,00

Fonte: elaborado pela autora (2023)

A normalização dos dados e sua conferência, Tabela 16 acima, é fundamental para se obter o peso de todos os fatores. Sendo assim, os valores dos autovetores (w) foram determinados a partir da média aritmética de cada linha da Tabela 16, sendo nada mais do que uma matriz constituída por apenas uma coluna com valores derivados de uma operação linear, que é apresentada na Tabela 17.

**Tabela 18-** Resultado dos autovetores

<b>Inundação</b>	<b>Autovetor</b>
Hipsometria	0,11
Declividade	0,37
Uso e ocupação do solo	0,47
Tipo de solo	0,05
<b>Soma</b>	<b>1,00</b>

Fonte: elaborado pela autora (2023)

Os autovetores definem e representam os pesos dos fatores analisados na ocorrência de inundação, e nesse caso, o uso e ocupação do solo, apresenta-se como fator mais representativo para ocorrência do fenômeno estudado, recebendo uma importância de 47%. O segundo maior fator de influência é a declividade com uma porcentagem de importância na problemática de 37%. Por fim, a hipsometria e tipo de solo são os que possuem uma porcentagem de influência menor, 11% e 0,05%, respectivamente.

Com a finalidade de averiguar se os resultados dos julgamentos estão dentro de um intervalo coerente, fez-se a conferência prevista na metodologia proposta por Saaty (1991), na qual utiliza-se IC e o IR. Os valores de IR foram tabelados por Saaty (1991) e apresentados na Tabela 8 do item 4.3.6, já o valor do IC foi calculado por meio da Equação 5. Os resultados dos equacionamentos encontram-se dispostos nas Tabelas 18 e 19.

**Tabela 19-** Equacionamentos para conferência de consistência dos julgamentos

Inundação	Autovetor	Produto vetorial	Lambda	Lambda máximo	Índice de consistência
Hipsometria	0,11	0,43	4,05		
Declividade	0,37	1,62	4,33	<b>4,19</b>	<b>0,06</b>
Uso do solo	0,47	2,02	4,27		
Tipo de solo	0,05	0,19	4,09		

Fonte: elaborado pela autora (2023)

**Tabela 20-** Resultado da razão de consistência

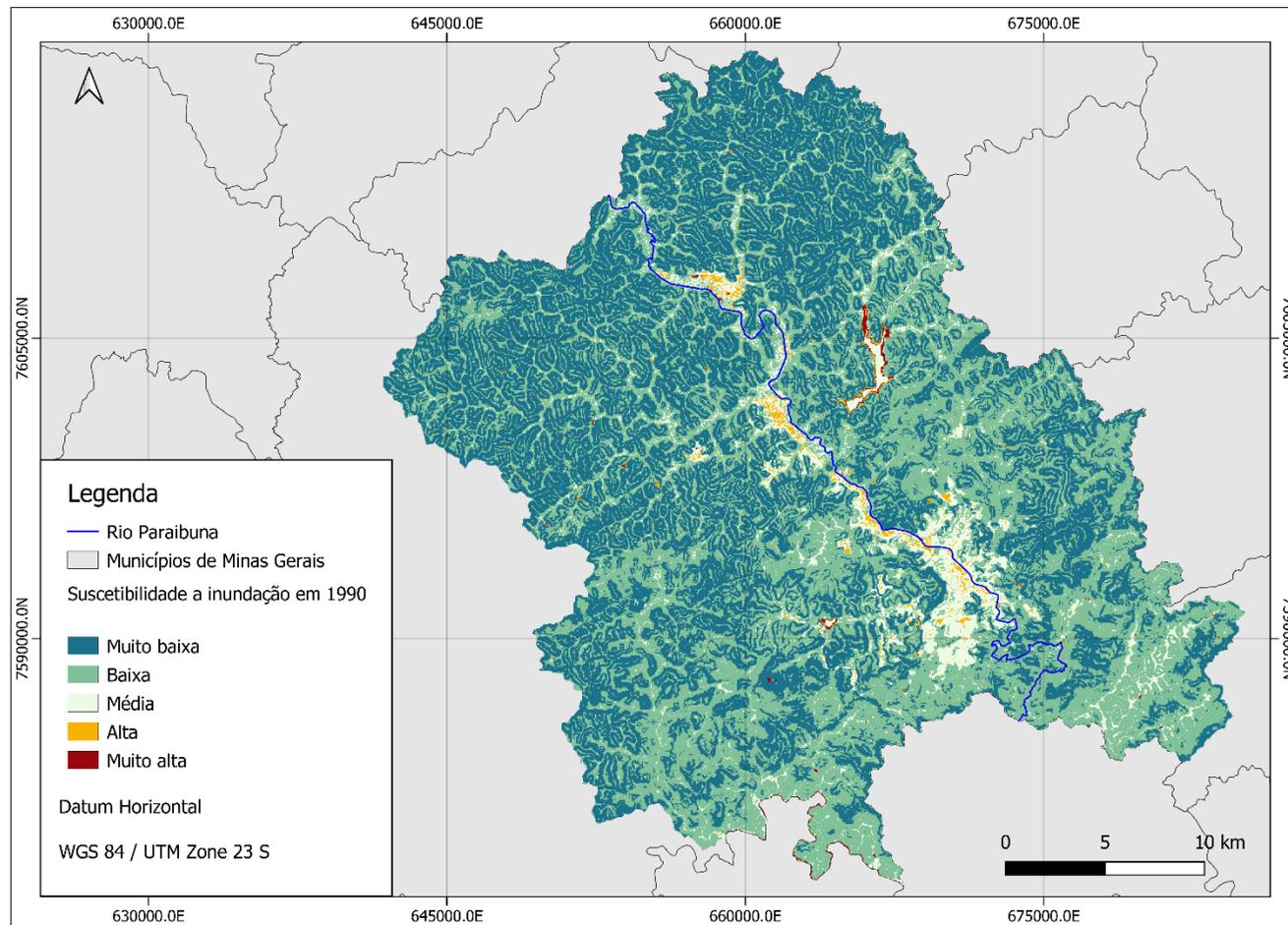
Lambda máximo	IC	IR	RC
4,19	0,06	0,9	0,06

Fonte: elaborado pela autora (2023)

O principal objetivo para o cálculo da razão de consistência é constatar por meio de métodos matemáticos que os critérios adotados inicialmente com uma certa subjetividade, possuem lógica de aplicação e os pesos podem ser utilizados para análise do produto final. A razão de consistência encontrada foi um valor inferior a 0,1, que assegura, segundo a literatura, que os julgamentos realizados são considerados consistentes e adequados à proposta (SAATY, 1991).

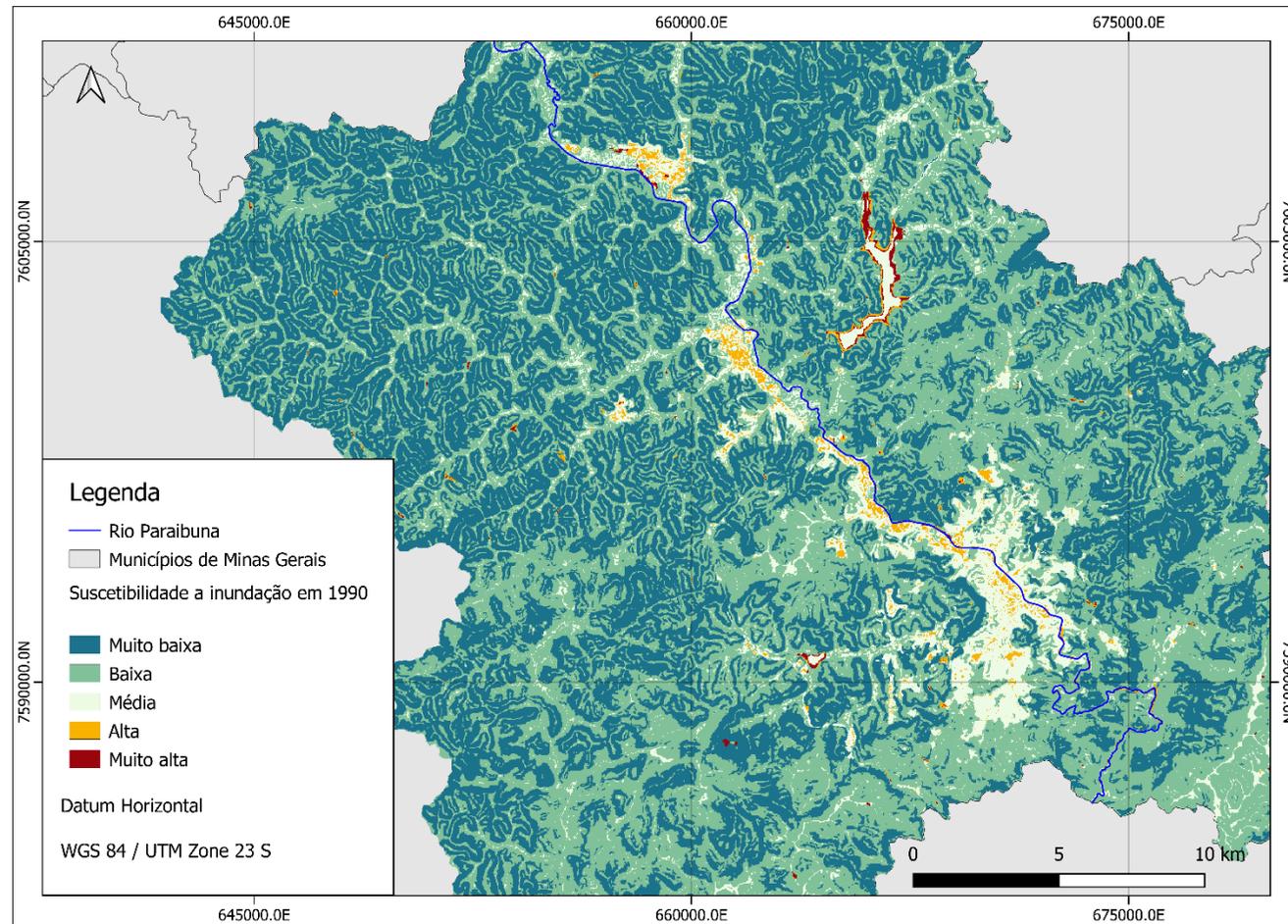
### 5.5.6 Mapas de suscetibilidade a inundação

Os mapas de suscetibilidade a inundações foram gerados a partir da álgebra de mapas como detalhado nas etapas metodológicas e dessa forma, os mapas de suscetibilidade de 1990, 2020 e 2030 são apresentados em sequência nas Figuras 27, 29 e 31, respectivamente, assim como suas ampliações, nas Figuras 28, 30 e 32, que favorecem a visualização.



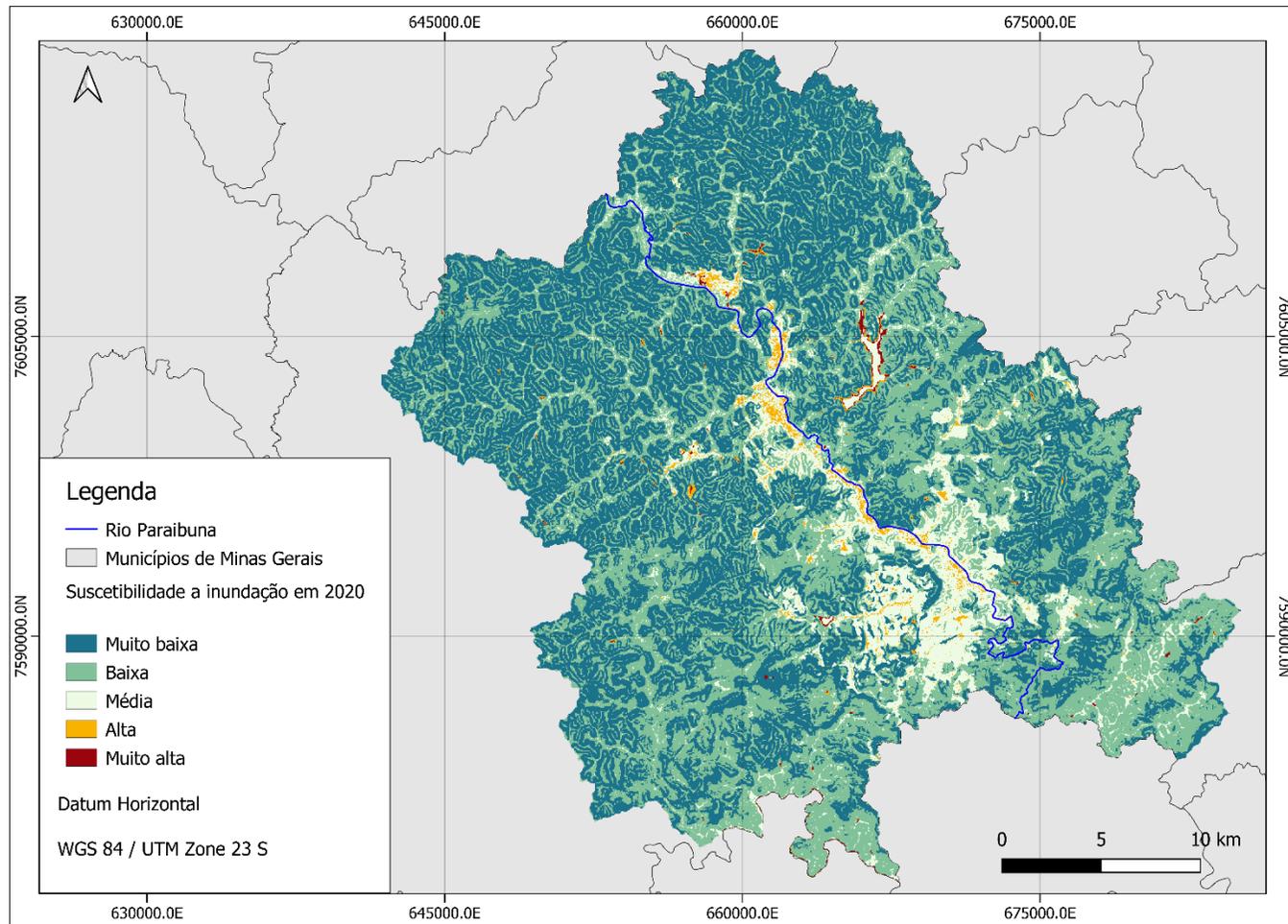
**Figura 26-** Mapa de suscetibilidade a inundações da sub-bacia hidrográfica de Juiz de Fora com uso e ocupação do solo em 1990

Fonte: elaborado pela autora (2023)



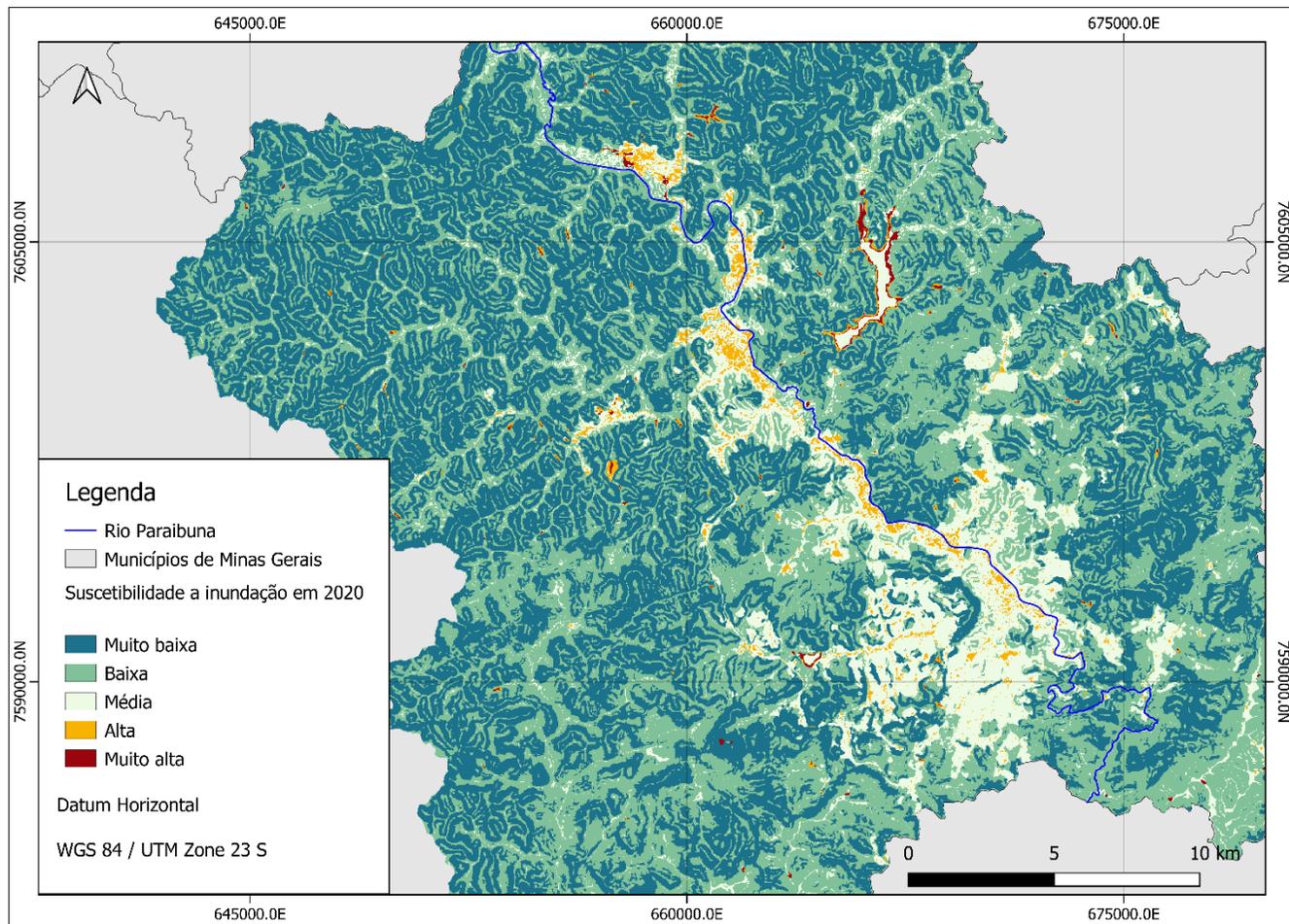
**Figura 27-** Mapa de suscetibilidade a inundações da sub-bacia hidrográfica de Juiz de Fora ampliado, com uso e ocupação do solo em 1990

Fonte: elaborado pela autora (2023)



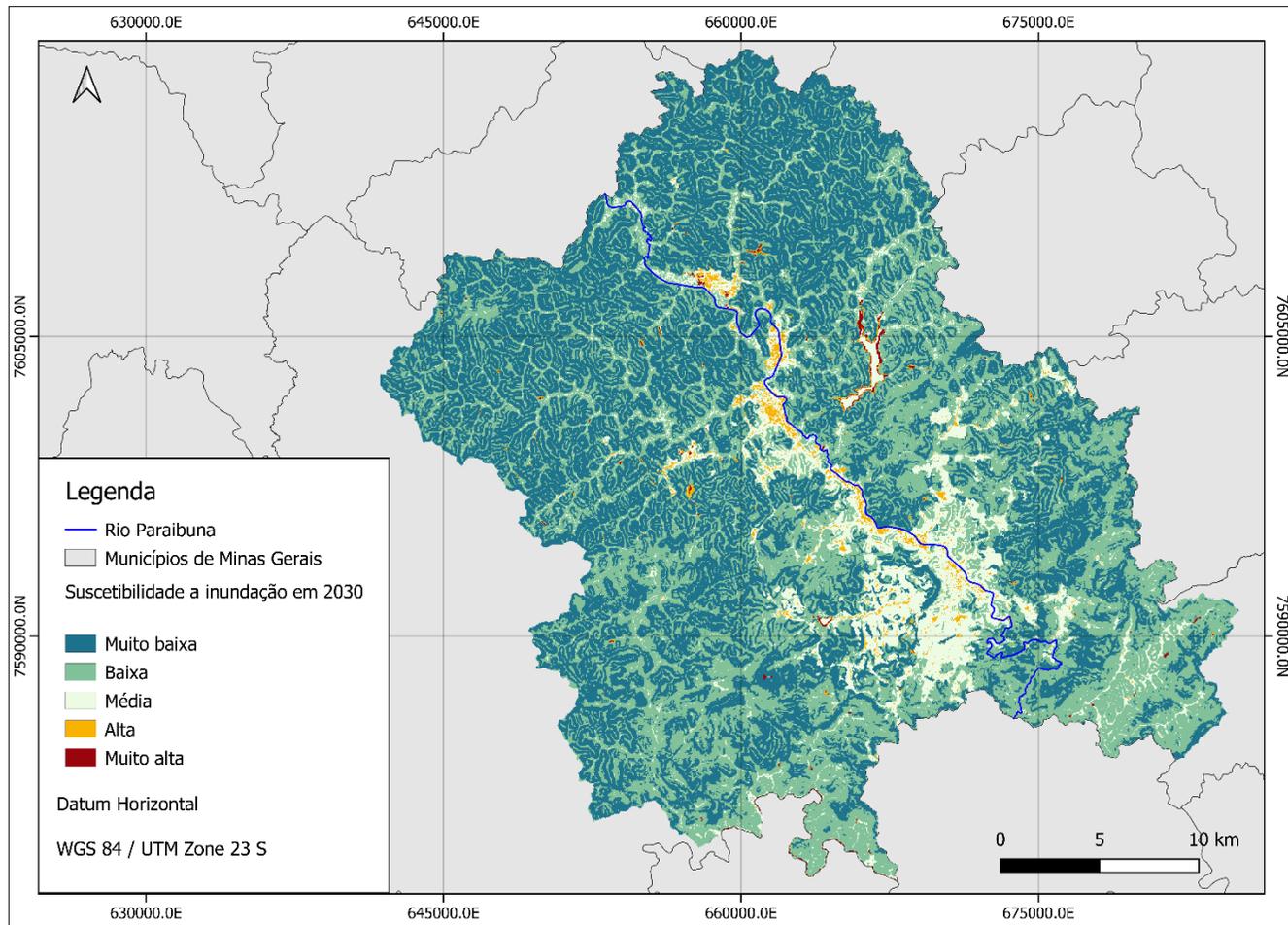
**Figura 28-** Mapa de suscetibilidade a inundações da sub-bacia hidrográfica de Juiz de Fora com uso e ocupação do solo em 2020

Fonte: elaborado pela autora (2023)



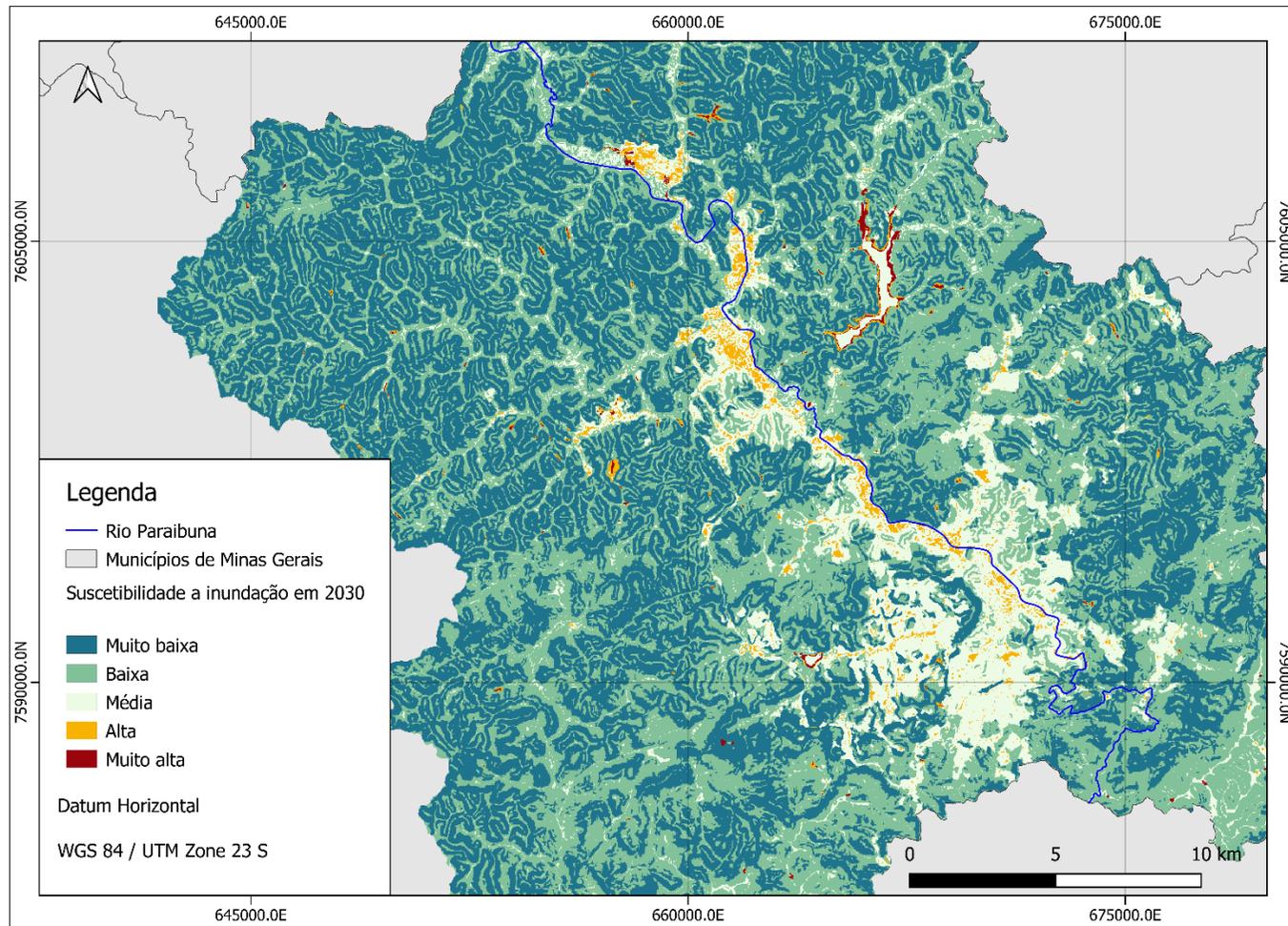
**Figura 29-** Mapa de suscetibilidade a inundações da sub-bacia hidrográfica de Juiz de Fora ampliado, com uso e ocupação do solo em 2020

Fonte: elaborado pela autora (2023)



**Figura 30-** Mapa de suscetibilidade a inundações da sub-bacia hidrográfica de Juiz de Fora com uso e ocupação do solo em 2030

Fonte: elaborado pela autora (2023)



**Figura 31-** Mapa de suscetibilidade a inundações da sub-bacia hidrográfica de Juiz de Fora ampliado, com uso e ocupação do solo em 2030

Fonte: elaborado pela autora (2023)

Em análise das cinco classes de suscetibilidades apresentadas para o mapa de 1990, é notório que as áreas classificadas com alta e muito alta suscetibilidade a inundações estão na região da cidade de Juiz de Fora, sobretudo na sua parte central e nos locais onde possuem represas. O resultado está em concordância com o observado nos mapas dos fatores, principalmente o da declividade. Os locais com suscetibilidade a inundações mediana encontram-se em maior parte na porção central (área urbana), sul e leste da sub-bacia hidrográfica e no que se refere às áreas de baixa a muito baixa suscetibilidade a inundações, estas se localizam em grandes áreas também nas porções sul e leste se fazendo presente com expressividade, na região noroeste da sub-bacia.

De forma comparativa, para o mapa de suscetibilidade do cenário atual, ou seja, 2020, observa-se uma alteração considerável da mancha de suscetibilidade. No que se refere às áreas de alta e muito alta suscetibilidade a inundações nota-se que a mancha acompanhou a expansão urbana, conforme o esperado, haja vista que o fator uso e ocupação do solo é o que possui o maior peso dentre os quatro analisados e que a infraestrutura urbana recebe um peso de grande importância dentro do fator. A expansão urbana aumentou a mancha de suscetibilidade mediana e alguns locais nos quais em 1990 eram classificados em suscetibilidade mediana, no mapa atual, passam a integrar a classe de suscetibilidade alta e muito alta, inclusive o “cinturão da BR 040”.

Em concordância com as discussões anteriores referentes ao aumento da classe floresta e diminuição da agropecuária, sobretudo em áreas próximas a vetores de crescimento urbano, nota-se que a classe de baixa suscetibilidade sofre um aumento principalmente nas porções norte e sul do território.

No que toca ao possível mapa de suscetibilidade a inundações para 2030, o que se observa é que a mancha de suscetibilidade sofreu pouca ou quase nada de alteração, resultado em concordância com a análise quantitativa do uso e ocupação do solo, na qual não foram apontadas grandes mudanças em relação ao estado atual. O mapa gerado para 2030 está de acordo com o decréscimo da taxa de crescimento populacional em Juiz de Fora e dessa maneira, aponta que as áreas de suscetibilidade tendem a permanecer constantes.

### 5.5.7 Validação do AHP

O levantamento de locais que sofrem com inundações e alagamentos em Juiz de Fora encontra-se no Quadro 6 e o mapa em imagem de satélite com tais locais em cruzamento com a mancha de suscetibilidade a inundações para 2020, na Figura 33. Para favorecer a análise, fez-se a ampliação deste mapa (Figura 34).

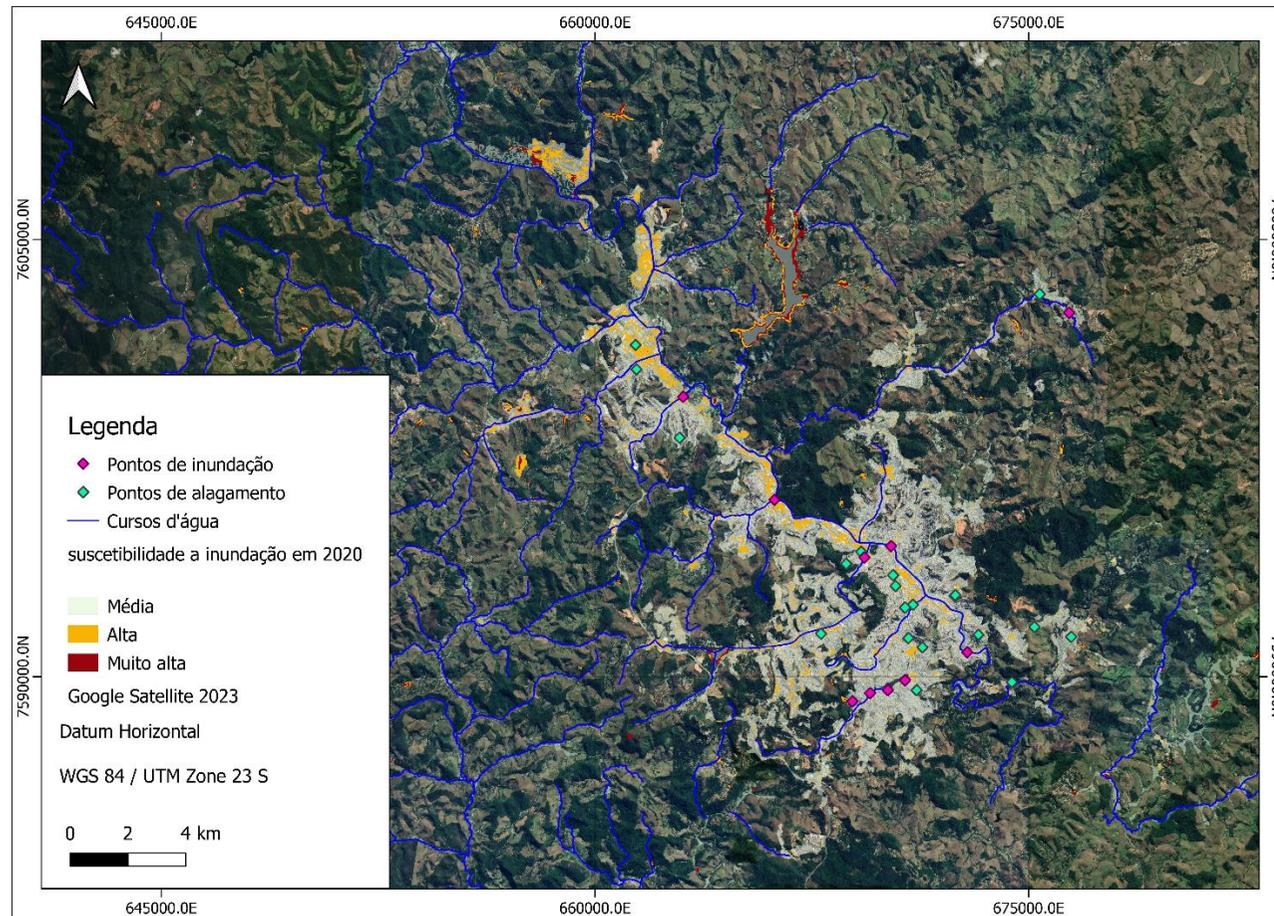
**Quadro 6-** Locais de ocorrência de alagamentos e inundação em Juiz de Fora, segundo notícias de jornais (continua)

<b>Endereço</b>	<b>Evento</b>	<b>Referência</b>
Rua Henrique Dias, bairro Nova Benfica, zona norte	Alagamento	Tribuna de minas (2018)
Ruas Eurico de Melo e Bárbara Campagnacci Borboni, Bairro Aracy, região Sudeste	Alagamento	Tribuna de minas (2018)
Rua Domingos Del Duca, bairro Nossa Senhora de Lourdes, região Sudeste	Alagamento	Tribuna de minas (2018)
Bairros: Santa Luzia, Terras Altas, Jardim Esperança, Linhares e Granbery, além de Nova Era, Democrata e Mariano Procópio	Alagamento	Tribuna de minas (2018)
Rua Professora Violeta Santos.	Inundação	Tribuna de minas (2018)
Bairro Filgueiras	Alagamento	Tribuna de minas (2018)
Rua General Almerindo da Silva Gomes com a Avenida Presidente Juscelino Kubitschek, Bairro Nova Era, Zona Norte	Inundação	Tribuna de minas (2018)
Rua Paracatu, Bairro Bandeirantes	Inundação	Tribuna de minas (2017)
faixas da Avenida Presidente Costa e Silva, Bairro São Pedro	Alagamento	Tribuna de minas, (2017)
Rua Padre Gabriel, bairro Benfica e no Largo do Riachuelo, no Centro	Alagamento	Tribuna de minas (2017)
Avenida José Procópio Teixeira, Bairro Bom Pastor	Alagamento	G1 (2023)

**Quadro 6-** Locais de ocorrência de alagamentos e inundação em Juiz de Fora, segundo notícias de jornais (conclusão)

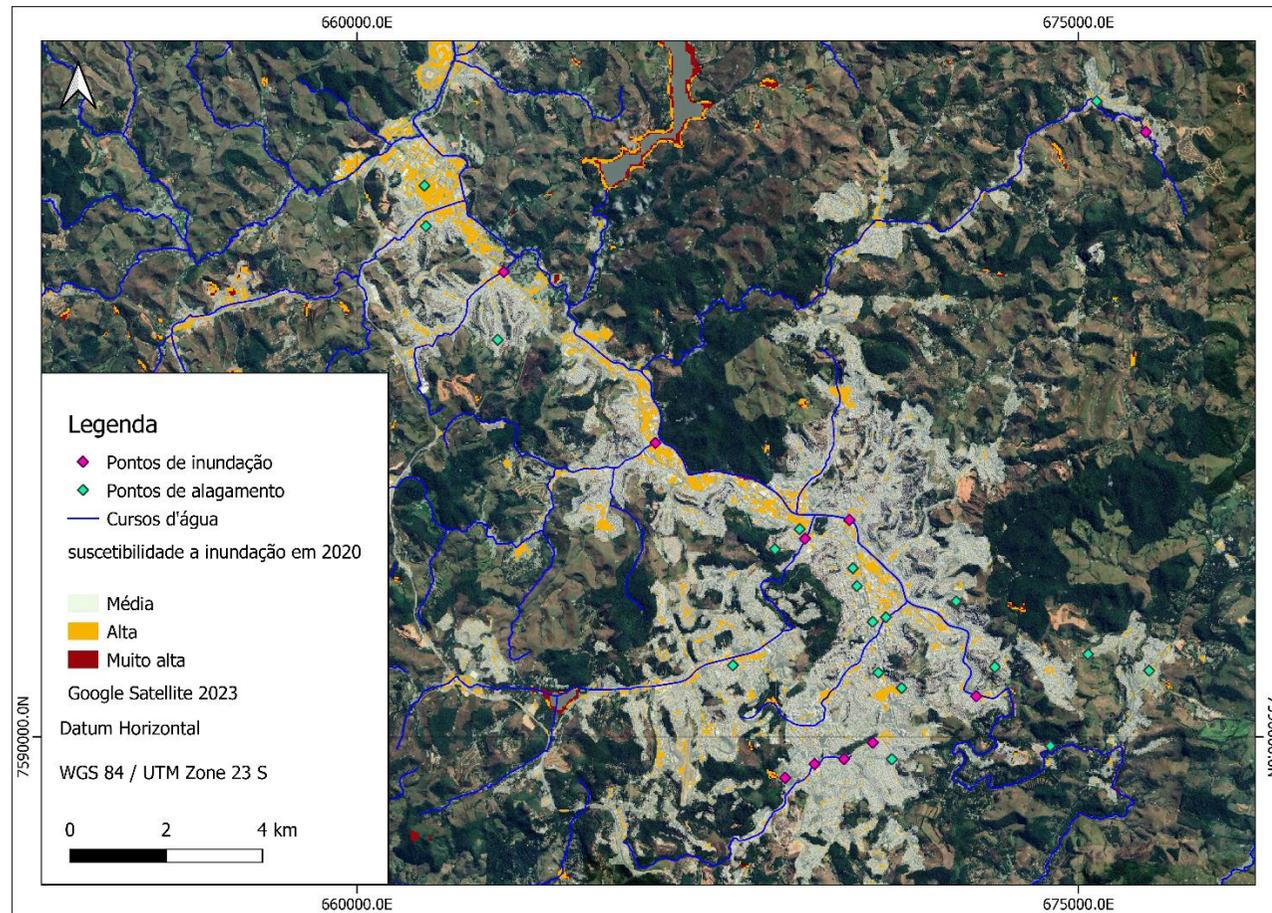
<b>Endereço</b>	<b>Evento</b>	<b>Referência</b>
Avenida Rio Branco, na altura do Bairro Alto dos Passos; Rua Ibitiguaia, Bairro Santa Luzia; Avenida Itamar Franco, bairro São Mateus.	Inundação	G1(2023)
Bairro Santa Luzia, na zona sul	Inundação	Estado de minas (2023)
Rua Doutor José Cesário	Alagamento	Estado de minas (2023)
As avenidas Barão do Rio Branco e Itamar Franco	Inundação	Estado de minas, 2023
Bairro industrial	Inundação	Juiz de Fora (2021)
rua Ibitiguaia, Santa Luzia	Inundação	Acessa (2023)
Bairro Vila Ideal	Inundação	Acessa (2023)
Avenida Rio Branco	Inundação	Acessa (2023)
Rua Barão de Cataguases	Inundação	Minas Hoje (2019)

Fonte: elaborado pela autora (2023)



**Figura 32-** Mapa de suscetibilidade a inundações da sub-bacia hidrográfica de Juiz de Fora com imagem de satélite, com os pontos de inundação e alagamentos recorrentes

Fonte: elaborado pela autora (2023)



**Figura 33-** Mapa de suscetibilidade a inundações da sub-bacia hidrográfica de Juiz de Fora com imagem de satélite, ampliado, com os pontos de inundação e alagamentos recorrentes

Fonte: elaborado pela autora (2023)

Conforme observado, a mancha urbana de Juiz de Fora, em sua grande maioria, enquadra-se como áreas com suscetibilidade a inundações mediana, alta e muito alta pelo mapeamento AHP e, quanto aos pontos de ocorrência de inundações e alagamentos, estes mostraram-se exatamente nas áreas em que a suscetibilidade foi dada como alta no município. Assim, o local de inserção da mancha urbana de Juiz de Fora é naturalmente propenso a inundações pelas características físicas e mais ainda pelas influências do processo de urbanização.

Em seu trabalho, Gerheim (2016) estudou as ocorrências de alagamentos, enxurradas e inundações em Juiz de Fora para as sub-bacias hidrográficas dos córregos São Pedro e Ipiranga, no período de 2000 a 2014. Tais sub-bacias encontram-se na porção oeste e sul do município, respectivamente e, a análise das características naturais destas apontou que para São Pedro, a maior probabilidade de ocorrência de inundação apresenta-se na região de baixo curso do córrego (GERHEIM, 2016). Além disso, dos 81 eventos de inundações nessa sub-bacia ocorridos no período de tempo analisado, foi observado a predominância destes no médio e baixo curso d'água, locais nos quais há maior concentração de infraestrutura urbana (GERHEIM, 2016). O resultado vai de encontro com o mapeamento de suscetibilidade a inundação pelo método AHP, uma vez que essa área está na mancha de suscetibilidade alta mapeada.

Segundo Gerheim (2016) o córrego Ipiranga, apresentou maior probabilidade de ocorrência a enchentes súbitas e possíveis inundações no canal principal do que o Córrego São Pedro em termos de característica naturais, uma vez que tende a ter um fluxo de águas mais rápido, com concentração maior a jusante. A partir da análise da ocupação urbana do Córrego Ipiranga, o autor pontua que essa sub-bacia supera a do Córrego São Pedro em relação a área ocupada, aumentando a probabilidade de eventos de inundação pela elevação no volume de contribuição de água nos picos de cheia. Assim, para 86 eventos de inundação nessa sub-bacia no período analisado (2000 a 2014), observou-se a ocorrência a jusante, justamente nas áreas de grande concentração urbana (GERHEIM, 2016). O resultado mostra-se compatível com o mapeamento de suscetibilidade a inundação empregado nesse trabalho.

Em observação às áreas pontuais que no mapa estão enquadradas como de suscetibilidade alta ou muito alta, mas que se encontram mais afastadas dos cursos d'água ou em áreas de maior elevação, é provável que sejam áreas nas quais alagamentos são recorrentes. Nesse contexto, é possível perceber que o mapeamento resultante do método aplicado se mostra fidedigno às realidades do município e pode ser amplamente utilizado para o estudo de suscetibilidade a inundações em Juiz de Fora. Além disso, a identificação de áreas possíveis de alagamentos permite auxiliar em estratégias para melhorias do sistema de drenagem existente.

## 6 CONCLUSÃO

A metodologia empregada permitiu a análise visual e quantitativa das alterações do uso do solo em um intervalo de 30 anos da sub-bacia hidrográfica na qual Juiz de Fora encontra-se inserida. Dessa forma, foi possível compreender as especificidades do desenvolvimento urbano do município e a importância que o planejamento urbano exerce na dinâmica de uma cidade, haja vista que investimentos em grandes obras e incentivo à vinda de empresas de grande porte dependem da governança exercida no local.

A simulação do cenário futuro do uso e ocupação da sub-bacia para 2030, com base em tendência histórica, foi realizada. Obteve-se resultados satisfatórios em termos de índice de concordância e dessa forma constatou-se que o município tende a sofrer uma “estagnação” na expansão urbana em termos de área da sub-bacia, fato que pode estar relacionado ao mesmo comportamento da taxa de crescimento populacional do município.

O uso do AHP permitiu visualizar o comportamento da mancha de suscetibilidade a inundações em detrimento das alterações do uso do solo. Foi constatado que a mancha de suscetibilidade se alterou consideravelmente nos últimos 30 anos, principalmente devido à expansão urbana. Dessa forma, as áreas antes consideradas de baixa suscetibilidade passaram a se enquadrar em suscetibilidade média, alta e muito alta. E no que diz respeito à localização destas áreas, as de suscetibilidade alta e muito alta se encontram na área urbana de Juiz de Fora. Em concordância com a análise da simulação do uso e ocupação para 2030, a mancha de suscetibilidade também não apresentou mudanças expressivas, tendendo a permanecer a mesma nos próximos dez anos.

Por fim, a metodologia empregada mostrou-se como uma ferramenta para estudos do uso e ocupação do solo em sub-bacias hidrográficas e suas implicações, a partir da validação do AHP. Assim, acredita-se que esta metodologia pode ser utilizada em auxílio de planejamentos referentes à expansão urbana bem como a ações necessárias para mitigação dos problemas de inundação e alagamentos nos municípios.

## 6.1 Sugestões para trabalhos futuros

No que se refere à simulação do cenário futuro, recomenda-se que sejam utilizadas mais variáveis independentes de acordo com as características da localidade, desde que se mostrem influentes no modelo, a partir da análise de correlação. Considerando as possibilidades do MOLUSCE, recomenda-se que estas sejam exploradas para fins de comparação de melhor metodologia para simulação e listagem de prós e contras referente a utilização.

Com relação ao método AHP, mais especificamente para suscetibilidade a inundações, com a finalidade de aprimorar o mapeamento, o agrupamento de classes de uso e ocupação do solo pode ser mais discretizado, assim como a atribuição de pesos de importância de forma que se obtenha áreas de suscetibilidade mais refinadas em meio urbano. Além disso, no lugar da hipsometria pode-se usar o *HAND model*, para ganhos na análise em termos de precisão de fluxo. Por fim, em futuros trabalhos com área de estudo em Juiz de Fora recomenda-se que haja um estudo mais detalhado do comportamento da classe floresta de forma a considerar todas as possibilidades para as mudanças observadas longo dos anos.

## REFERÊNCIAS

ANA-AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Bacia do Rio Paraíba do Sul**. Hidrografia. 2022. Disponível em: <https://www.google.com/url?q=http://gripbsul.ana.gov.br/Hidrografia.html&sa=D&source=docs&ust=1666305998800234&usq=AOvVaw1aWLSIGDKeU4YySoW-nZRc>

Acesso em: 20 de Out. 2022

ABABIO, B. **Forest cover monitoring in Southwestern Ghana with remote sensing and GIS**. Tese (Doutorado) - Masters program in Geoespatial Technologies, Universidade NOVA de Lisboa, 2023.

ACESSA. Juiz de Fora registra diversos pontos de alagamento durante chuva nesta terça feira (14). 2023. Disponível em: <https://www.acesa.com/cidade/2023/02/129170-juiz-de-fora-registra-diversos-pontos-de-alagamento-durante-chuva-nesta-terca-feira-14.html>

Acesso em: 30 de Jul. 2023

AGEITEC, Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Árvore do Conhecimento: Solos Tropicais. Cambissolos Háplicos**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/cambissolos/cambissolos-haplicos>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2023.

AGEITEC, Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Árvore do Conhecimento: Solos Tropicais. Latossolos vermelho e amarelos** [s.d.]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/latossolos/latossolos-vermelho-amarelos>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2023.

AGEITEC, Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Árvore do Conhecimento: Solos Tropicais. Latossolos amarelos**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/latossolos/latossolos-amarelos>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2023.

AMARAL, S.F. do. **O quadro urbano-regional de Juiz de Fora–MG: processos, dinâmicas e as novas relações com sua região de influência.** Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018.

ALSHARI, E. A.; GAWALI, B. W. Modeling Land Use Change in Sana'a City of Yemen with MOLUSCE. **Journal of Sensors**, v. 2022, p. 1-15, 2022.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O. Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 29- 49, 2002.

BARROS, M. C. V. **Modelagem da dinâmica espacial do uso e ocupação do solo no município de Pitimbu - PB** . Monografia (Graduação), Universidade Federal Da Paraíba Centro de Tecnologia, Curso De Graduação em Engenharia Ambiental, João Pessoa, 2018.

BENEDETTI, A. C. P. **Modelagem dinâmica para simulação de mudanças na cobertura florestal das serras do sudeste e campanha meridional do Rio Grande do Sul.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2010.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.3, p.555-560. 2001.

BRAGA, S. E. et al. Aplicação da Análise Hierárquica para mapeamento de risco de inundação: O caso no município de Limoeiro (Pernambuco-Brasil). **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 2, n. 1, 2020.

BRASIL. 1997. "Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos". **Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997.** Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.htm#:~:text=Institui%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de,28%20de%20dezembro%20de%201989](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm#:~:text=Institui%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de,28%20de%20dezembro%20de%201989). Acesso em: 17, setembro, 2022.

BRASIL ESCOLA. **Bacia hidrográfica**. 2022. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/bacias-hidrograficas.htm>. Acesso em: 27 de Out. de 2022

BRITO, M. M. de. **Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre, RS**. Dissertação de mestrado. Programa de pós graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

BRUNO, L. O. Aplicabilidade de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) livres nas ciências ambientais: o uso do QGIS. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 4, n. 8, p. 321-326, 2017.

BURROUGH, R; McDONNELL, R. **Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment**. New York: Oxford University Press, 1998.

CALDAS, V. I. S. P.; SILVA, A. S. da.; SANTOS, J. P. C. dos. Suscetibilidade à erosão dos solos da bacia hidrográfica lagos–São João, no Estado do Rio de Janeiro–Brasil, a partir do método AHP e análise multicritério. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 04, p. 1415-1430, 2019.

CAMPIOLI, P. F.; VIEIRA, C. V. Avaliação do risco a inundação na bacia hidrográfica do rio Cubatão do Norte, Joinville/SC. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 01, p. 124-138, 2019.

CAMPOS, Pedro Antônio; RIBEIRO, Christian Ricardo. **Avaliação da qualidade ambiental urbana da Bacia de contribuição da Represa de São Pedro-município de Juiz de Fora (MG)**. Monografia, Engenharia Ambiental e Sanitária, Rede de ensino Doctum, Unidade Juiz de Fora Dom Orione, 2020.

CAMPOS, R. J. de.; BRANCO, P. OCUPAÇÃO DESORDENADA DOS ESPAÇOS URBANOS E SUAS CONSEQUÊNCIAS SOCIOAMBIENTAIS. **Revista Thêma et Scientia**, v. 11, n. 2E, p. 216-227, 2021.

CARVALHO, A. T. F. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. **Caderno Prudentino De Geografia**, 1(42), 140–161, 2020.

CARVALHO, A. T. F.; GIRÃO, O. da S. & CABRAL, J. J. da S. P. Efeitos do revestimento de canal e impermeabilização do solo à dinâmica de inundação do Rio Arrombados –PE. **Revista Geociências**, v. 36, n. 1, 2017. p. 76-88, 2017.

CARVALHO, J. A. M. de. **Crescimento populacional e estrutura demográfica no Brasil**. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 2004.

CHAVES, T. Estudo de caso-a cidade de Juiz de Fora MG-sua centralidade e problemas sócio-econômicos. **Revista GEOMAE**, v. 2, n. especial, p. 155-170, 2011.

CHOWDHURY, M.; HASAN, M. E.; ABDULLAH-AL-MAMUN, M. M. Land use/land cover change assessment of Halda watershed using remote sensing and GIS. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**. v. 23, n. 1, p. 63-75, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.11.003>

CONCEIÇÃO, R. A. C.; SIMÕES, P. M.L. **Modelagem de suscetibilidade a inundação utilizando processo analítico hierárquico (ahp) e lógica fuzzy**. *in*: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE- Santo, São Paulo, 2019.

COSTA, F. R. da.; SOUZA, R. F. de.; SILVA, S. M. P. da. Análise das vulnerabilidades natural e ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (RN). **Geosciences**, v. 40, n. 02, p. 459-475, 2021.

COSTA, H. G. **Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão**. Niterói: HGC, 2002

COSTA, C. W. et al. Monitoramento da expansão urbana, cenários futuros de crescimento populacional e o consumo de recursos hídricos no município de São Carlos, SP. **Geosciences**, v. 32, n. 1, p. 63-80, 2013.

COSTA, S.O.S et al. (2014). **A Cartografia no Auxílio do Planejamento Territorial Urbano do Município de Garanhuns-PE**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, p. 1101-1108, 2014.

CPRM -SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. DICART -Divisão de Cartografia. 2014. **Nota Técnica Explicativa IPT**. Rio de Janeiro: CPRM, 2014.

CRUZ, A. M. B. da. **Avaliação de riscos e ordenamento do território: aplicação a um caso prático na região de Estremoz.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Évora, 2022.

DALANHOL, I. et al. **Identificação de áreas suscetíveis a inundações no perímetro urbano de Pato Branco-PR, por meio da integração SIG e AHP.** Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020.

DIAS, M. B.; GALINA, N. R.; ALVES, C. N. Mapeamento da suscetibilidade a inundações em áreas urbanas: estudo de caso no município de Marabá, Sudeste do estado do Pará, Região Norte do Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 6, p. 347-359, 2021

DIAS, V. S. B.; SILVA, A. de B. AHP na modelagem da vulnerabilidade ambiental do mini corredor ecológico Serra das Onças (BA). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 6, p. 1363-1377, 2014.

DUARTE, M. L., SILVA, T. A. Avaliação do Desempenho de Três Algoritmos na Classificação de Uso do Solo a Partir de Geotecnologias Gratuitas. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 21, 1, p. 6-16, 2019. <http://dx.doi.org/10.7867/1983-1501.2019v21n1p6-16>

DUARTE, M. L.; MENDONÇA, J. F.; BONFANTI, D. C. Dinâmica do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pimenta, região sudeste do estado de Rondônia: avaliação e cenários futuros. **Sociedade e território**, v. 33, n. 1, p. 54-71, 2021.

ECOJUSTUS. **Informação.** MOLUSCE (MODULES FOR LAND USE CHANGE EVALUATION). 2022. Disponível em: <http://ecojustus.com.br/informacao/95970/molusce+modules+for+land+use+change+evaluation> Acesso em: 02 Out. 2022

ECOJUSTUS.[s.d]. MOLUSCE. **Modules for Land Use Change Evaluation. Guia Rápido.** Disponível em : <http://ecojustus.com.br/molusce-guia-rapido/> Acesso em: 02 Out. 2022.

EL-TANTAWI, A. M. et al. Monitoring and predicting land use/cover changes in the Aksu-Tarim River Basin, Xinjiang-China (1990–2030). **Environmental monitoring and assessment**, v. 191, p. 1-18, 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ)**. Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

ESTADO DE MINAS. Temporal em Juiz de Fora: moradores pedem socorro durante enchente. 2023. Disponível em : [https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2023/02/14/interna\\_gerais,1457548/temporal-em-juiz-de-fora-moradores-pedem-socorro-durante-enchente.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2023/02/14/interna_gerais,1457548/temporal-em-juiz-de-fora-moradores-pedem-socorro-durante-enchente.shtml) Acesso em 30 de Jul. 2023

FERRARI JÚNIOR, J. C. Limites e potencialidades do planejamento urbano. Estudos Geográficos: **Revista Eletrônica de Geografia**, v. 2, n. 1, p. 15-28, 2004.

FONTANA, A. G. **Mapeamento temporal e predição da área da mancha urbana da região metropolitana de Porto Alegre-RS, utilizando geotecnologias e sensores remotos**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2022.

FUJIMOTO, N. S. V. M.; DIAS, T. S. **Estudo sobre a suscetibilidade à inundação no setor sul do município de Porto Alegre-RS: bacia hidrográfica do Arroio do Salso**. In: VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2010.

GERHEIM, D. K. M. **Alagamentos, enxurradas e inundações na área urbana de Juiz de Fora: Um olhar sobre as bacias hidrográficas dos Córregos São Pedro e Ipiranga**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2016.

GERALDO, W. M. de J. **A Reestruturação Urbana Pós-Fordista de Juiz de Fora**. Dissertação de Mestrado. Niterói: PPGeo/UFF, 2014.

GIRÃO, O. da S. & CORRÊA, A. C. B. Progressos nos estudos de Geomorfologia fluvial urbana ao final do século XX. **GeoUERJn**. 26, p. 245-269, 2015.

GOERL, R. F.; MICHEL, G. P.; KOBİYAMA, M. Mapeamento de áreas susceptíveis a inundação com o modelo HAND e análise do seu desempenho em diferentes resoluções espaciais. **Revista brasileira de cartografia**. Vol. 69, n. 1 (2017), p. 61-69, 2017.

GOLDONI, T. R.; VESTENA, L. R. **Mapeamento das áreas de risco à inundação na cidade de Guarapuava–PR**. In: Encontro Nacional de geógrafos- A construção do Brasil: geografia, ação política e democracia, v. 18, p. 14-30, 2016.

GOMES, K.G. A .**Um método multicritério para localização de unidades celulares de intendência da FAB**. 2009. Tese de Doutorado. PUC-Rio. Disponível em:<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=14984@1>

**G1.Chuva em Juiz de Fora: temporal causa transtornos e alagamentos em vários bairros**. 2022. Disponível em : <https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2022/02/15/chuva-em-juiz-de-fora-temporal-causa-transtornos-e-alagamentos-em-varios-bairros.ghtml> . Acesso em: 20 de Out. 2022.

G1 Zona da Mata e TV integração. **Nível do córrego de Santa Luzia baixa, mas moradores reclamam das constantes enchentes em Juiz de Fora: 'Qualquer chuva tá acabando com tudo'**. 2023. Disponível em: [https://www.google.com/url?q=https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2023/01/25/nivel-do-corrego-de-santa-luzia-baixa-mas-moradores-reclamam-das-constantes-enchentes-em-juiz-de-fora-qualquer-chuva-ta-acabando-com-tudo.ghtml&sa=D&source=docs&ust=1690741997551752&usg=AOvVaw0-CoezwvmzO\\_jY1DmNNvMH](https://www.google.com/url?q=https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2023/01/25/nivel-do-corrego-de-santa-luzia-baixa-mas-moradores-reclamam-das-constantes-enchentes-em-juiz-de-fora-qualquer-chuva-ta-acabando-com-tudo.ghtml&sa=D&source=docs&ust=1690741997551752&usg=AOvVaw0-CoezwvmzO_jY1DmNNvMH). Acesso em: 03 de Mar. 2023.

**G1. Fotos e vídeos: Temporal volta a alagar ruas em Juiz de Fora; casa teve desabamento parcial**.2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2023/02/14/temporal-volta-a-alagar-ruas-em-juiz-de-fora-ventos-passaram-dos-50kmh.ghtml> Acesso em: 30 de Jul. 2023

G1 Zona da Mata e Tv Integração. **VÍDEOS: Córrego Santa Luzia transborda em nova tarde de temporal em Juiz de Fora**. 2023. Disponível em: <https://www.google.com/url?q=https://g1.globo.com/mg/zona-da>

[mata/noticia/2023/01/24/juiz-de-fora-tem-nova-tarde-de-alagamentos-corrego-santa-luzia-volta-a-transbordar.ghtml&sa=D&source=docs&ust=1690742648847288&usg=AOvVaw0re3UONN6csom0\\_Q-bS5C](https://www.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2023/01/24/juiz-de-fora-tem-nova-tarde-de-alagamentos-corrego-santa-luzia-volta-a-transbordar.ghtml&sa=D&source=docs&ust=1690742648847288&usg=AOvVaw0re3UONN6csom0_Q-bS5C) Acesso em: 03 Mar. 2023

G1 Zona da Mata e TV Integração. **'O panorama é a cidade embaixo d'água' diz Margarida Salomão ao decretar estado de emergência em Juiz de Fora.** 2022. Disponível em: <https://www.google.com/url?q=https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2022/01/11/o-panorama-e-a-cidade-embaixo-dagua-diz-margarida-salomao-ao-decretar-estado-de-emergencia-em-juiz-de-fora.ghtml&sa=D&source=docs&ust=1690742738225941&usg=AOvVaw0Rwc2ZgIEONvKcUACCcqQp> Acesso em: 03 Mar.2023

HAKIM, A. M. Y. et al. **Spatial dynamic prediction of landuse/landcover change (case study: tamalanrea sub-district, makassar city).** *In*: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2019. p. 012023. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. Juiz de Fora. 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/juiz-de-fora/panorama> Acesso em: 10 de Out. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. Juiz de Fora. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/juiz-de-fora/panorama> Acesso em : 10 de Out. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades, 2023. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/juiz-de-fora/panorama>>. Acesso em: 02 fevereiro 2023.

ITATIAIA. **Ruas de Juiz de Fora ficam debaixo d'água após forte chuva em Minas Gerais.** 2021. Disponível em: <https://www.google.com/url?q=https://www.itatiaia.com.br/noticia/ruas-de-juiz-de-fora-ficam-debaixo-dagua-apos-forte-chuva-em-minas-gerais&sa=D&source=docs&ust=1690742752709250&usg=AOvVaw0SwwwpjINp63IM1wDO11O5> Acesso em: 20 de Out. 2022.

JUIZ DE FORA. Prefeitura municipal de. **A cidade- População**.2021. Disponível em: <https://pjf.mg.gov.br/cidade/populacao.php> . Acesso em: 20 de Out. 2022 .

JUIZ DE FORA. Prefeitura municipal de. **A cidade**. 2021. Disponível em: <https://www.pjf.mg.gov.br/institucional/cidade/caracteristicas.php> Acesso em: 20 de Out. 2022

JUIZ DE FORA. Prefeitura municipal de. **Bairro Industrial - Prefeito determina mutirão da SSSDA na área atingida por alagamento**. 2021. Disponível em: <https://www.pjf.mg.gov.br/noticias/view.php?modo=link2&idnoticia2=12530> Acesso em: 30 de Jul. 2023

KAMARAJ, M.; RANGARAJAN, S. Predicting the future land use and land cover changes for Bhavani basin, Tamil Nadu, India, using QGIS MOLUSCE plugin. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 57, p. 86337-86348, 2022.

KÖPPEN, W. Roteiro para classificação climática. Mimeo. 6p. 1970.

KUMAZAWA, V. R. **Aplicação das ferramentas de geoprocessamento para georreferenciamento de partes das rodovias e estradas vicinais do Estado de São Paulo**. 2014. 54 f. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Geografia) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Câmpus Experimental de Ourinhos, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/156191>>

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. **Biometrics**, 33(1), 159. 1977. doi:10.2307/2529310

LIMA, L. M. M. de. **Mapeamento da suscetibilidade à inundação na bacia hidrográfica do Arroio do Salso, Porto Alegre-RS**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em geografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre- RS, 2010.

MACHADO, M.F. **Geodiversidade do estado de Minas Gerais**.Organização Marcelly Ferreira Machado [e] Sandra Fernandes da Silva. — Belo Horizonte: CPRM, 2010.131 p.

MAGALHÃES, I. A. L.; THIAGO, C. R. L.; AGRIZZI, D. V.; SANTOS, A. R. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES:

Uma análise comparativa entre dois métodos. **Cadernos de Geociências**, v. 8, n. 2, p. 63-70, 2011.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomias – Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**.2022. Disponível em : <https://mapbiomas.org/> Acesso em:10 de Out. 2022.

MAPBIOMAS. **Códigos de legenda. Coleção 7.0**. 2022. Disponível em: [https://www.google.com/url?q=https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/downloads/Legenda\\_Cole%25C3%25A7%25C3%25A3o\\_7\\_-\\_Descri%25C3%25A7%25C3%25A3o\\_Detalhada\\_-\\_PDF\\_PT.pdf&sa=D&source=docs&ust=1690723733143684&usq=AOvVaw3xYaPx0Hyo6P0MiScAi8Vw](https://www.google.com/url?q=https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/downloads/Legenda_Cole%25C3%25A7%25C3%25A3o_7_-_Descri%25C3%25A7%25C3%25A3o_Detalhada_-_PDF_PT.pdf&sa=D&source=docs&ust=1690723733143684&usq=AOvVaw3xYaPx0Hyo6P0MiScAi8Vw) Acesso em: 01 janeiro 2023

MAPA DE SOLOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS: LEGENDA EXPANDIDA. Universidade Federal de Viçosa; Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente**, 2010.

MARINS, Cristiano Souza; SOUZA, Daniela de Oliveira; BARROS, Magno da Silva. O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais—um estudo de caso. **Xli Sbpo**, v. 1, p. 49, 2009.

MARTINS, B. C. Planejamento Urbano e Regional. **Atena Editora**, 2019.

MARTINS, V. E.; BERGMANN, M. D.; SCHMIDT, M. A. R. Integração de SIG com técnica AHP na identificação de locais com vulnerabilidade a erosão hídrica de uma micro bacia hidrográfica em contexto de mata atlântica. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 38, n. 3, 2021.

MINAS HOJE. Chuva forte deixa vários pontos de Juiz de Fora alagados. 2019. Disponível em: <https://minashoje.com/2019/04/chuva-forte-deixa-varios-pontos-de-juiz-de-fora-alagados/> Acesso em : 30 de Jul. 2023

MIRANDA, N. M. G. et al. Processo Hierárquico Analítico (AHP) em Modelagem Espacial da Vulnerabilidade à Inundação em Ambientes Mistos. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 4, p. 172-181, 2019.

MIYABARA, H.M; SCHIMIDT,F.; FONSECA, R. C. B. Método AHP: Tomada de Decisão para Metodologias de Determinação de Contaminantes Emergentes em Água Superficial. **Revista Virtual de Química**, v. 13 n. 6, 2021.

MOURA, M. M de. et al. Suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica do rio Piratini-RS. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 6, n. 2, p. 17-25, 2019.

MUHAMMAD, R.; Zhang, W.; Abbas, Z.; Guo, F.; Gwiazdzinski, L. Spatiotemporal Change Analysis and Prediction of Future Land Use and Land Cover Changes Using QGIS MOLUSCE Plugin and Remote Sensing Big Data: A Case Study of Linyi, China. **Land**, 11, 419, 2022. <https://doi.org/10.3390/land11030419>

NASCIMENTO, D. A. do. **Suscetibilidade a inunda es na bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema**. Monografia (Gradua o em Engenharia Ambiental) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022.

PESSOA NETO, A. G.; BARBOSA, I. M. B. R.; SILVA, S. R. da. **Mapeamento das áreas de risco de inunda o da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, em Pernambuco, utilizando o método AHP (AnalyticHierarchy Process)**. In: IX ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto. Pará. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/228934/vol%2003%20-83-94.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; MOMO, M. R.; SEVERO, D. L.; PINHEIRO, A.; NOBRE, C. A. HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent. **Hydrological Processes**, v. 30, n. 2, p. 320-333, 2016.

OLIVEIRA, E. B. de.(2020). **SIG aplicado ao mapeamento da suscetibilidade   inunda o no município de Serra/ES**. In: nan. Santa Teresa, 2020

O PHAROL. **O Natal mais triste da história de Juiz de Fora**. 2021. Disponível em:<https://jornalopharol.com.br/2021/12/o-natal-mais-triste-da-historia-de-juiz-de-fora/> Acesso em: 20 de Out. 2022.

PEREIRA, M. D. R.; CRISTO, S. S. V. de. Análise da susceptibilidade a inunda o na bacia hidrográfica do córrego São João, Porto Nacional-TO. **Revista Interface (Porto Nacional)**, v. 16, n. 16, p. 82-96, 2018.

PONTIUS, R. G. Statistical methods to partition effects of quantity and location during comparison of categorical maps at multiple resolutions. **Photogrammetric engineering and remote sensing**, v. 68, n. 10, p. 1041, 2002.

PORTO, M, F. A; PORTO, R. La. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

PORTELA, B. M. et al. Análise da vulnerabilidade à inundação na Bacia Hidrográfica do rio Sirinhaém, utilizando o Método de Análise Hierárquica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 03, p. 1247-1262, 2023.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation.** 2022. Disponível em: [http://qgis.osgeo.org/pt\\_BR/site/](http://qgis.osgeo.org/pt_BR/site/). Acesso em: 02 Out. 2022.

REZENDE, M. E. F. S. **Análise de suscetibilidade à inundação no município de Itabirito - MG.** Monografia (Graduação em Engenharia Urbana) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023.

REZENDE, P. S.; MARQUES, D.V.; OLIVEIRA, L. A. Construção de modelo e utilização do método de Processo Analítico Hierárquico–AHP para mapeamento de risco á inundação em área urbana. **Revista Caminhos da Geografia**, 2017.

ROCHA, J. **Sistemas complexos, modelação e geosimulação da evolução de padrões de uso e ocupação do solo.** Tese de doutoramento, Geografia (Ciências da Informação Geográfica), Universidade de Lisboa, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, 2012

RODRIGUES, R. **Análise dos fatores que contribuem para a classificação de riscos geológicos e movimentos de massa na cidade de Joinville/SC.** Monografia (bacharelado). Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, 2021.

RODRIGUES, A. de S. R. Formas urbanas de expansão do espaço urbano-residencial da cidade média de Juiz de Fora-MG, Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, n. 47E, 2011.

RODRIGUES, P. R. S. **Análise Espacial de Suscetibilidade a Inundação da Bacia Hidrográfica do Tucunduba-Belém-PA**. Orientador: Prof. Dra. Silvana do Socorro Veloso Sodré. 2019. 83 p. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental & Energias Renováveis) -Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, 2019.

SAATY, T. L. The analytic hierarchy process (AHP). **The Journal of the Operational Research Society**, v. 41, n. 11, p. 1073-1076, 1980.

SAATY, T. H. A scaling method form priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SAATY, T. L. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. **European Journal Of Operational Research**. North-holland, p. 9-26. set. 1990.

SAATY, T.L. Some mathematical concepts of the analytic hierarchy process. **Behaviormetrika**, v. 18, n. 29, p. 1-9, 1991.

SALAZAR, J. P. C. **Determina o de cenários futuros de uso e cobertura do solo e sua influência na vulnerabilidade ambiental: o caso do Município de Formosa – GO**. Disserta o de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publica o PTARH. DM – 175/2015, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 112p, 2015.

SANTOS, A. M. S. P. Planejamento urbano: para quê e para quem?. **Revista de Direito da Cidade**, v. 1, n. 1, p. 51-94, 2006.

SANTOS, M. S.; NASCIMENTO, P. S. R. Análise da suscetibilidade e vulnerabilidade   erosão hídrica pelo processo analítico hierárquico (ahp). **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, p. 1-19, 2021.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classifica o hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conserva o do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classifica o. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 05-18, 2005.

SAYEMUZZAMAN, M.; JHA, M. K. Modeling of future land cover land use change in North Carolina using Markov chain and cellular automata model. **American Journal of Engineering and Applied Sciences**. v.7, n. 3, p. 295-306, 2014.

SILVA, W.F.; MOLLERI, G.S.F.; PINTO, M.B.P, ARAÚJO JUNIOR, G.J.L.D. **Análise do modelo HAND para a indicação de áreas suscetíveis a eventos críticos de cheias.** In: Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. São José dos Campos: Inpe. p. 7001-7008, 2013.

SILVA e OLIVEIRA, V. C. da. Inovação gerencial em municípios: análise exploratória das práticas de gestão do Plano Estratégico de Juiz de Fora. **Cadernos EBAPE.BR**, Vol IV nº 4, 2006

SILVA, E. R. **Modelagem integrada para controle de cheias, previsão e alerta de inundações: estudo de caso da bacia do rio Una em Pernambuco.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2015.

SILVA, R.C. F. da. **Caracterização morfométrica de microbacia para definição de setores inundáveis.** Monografia. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará-UNIFESSPA. Marabá, 2018.

SILVA, N. A. L. de A., LIMA, V. A relação entre a produção do espaço urbano e a ocorrência de enchentes, alagamentos e inundações na cidade de Campo Grande – MS, Brasil. **Delos: desarrollo local sostenible**, 16(42), 153–171, 2023. <https://doi.org/10.55905/rdelosv16.n42-012>

SILVA, C. V. F. da. **Planejamento do uso e ocupação do solo urbano integrado ao mapeamento de áreas com risco de inundação.** Dissertação de mestrado. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo-USP. São Paulo, 2013.

SILVEIRA, G.L.; TUCCI, C.E.M. Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa de disponibilidade hídrica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 3, p. 97-110, 1998.

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.

SOUZA, C. D. S. ; RIBEIRO, C. R. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do ribeirão das Rosas–Juiz de Fora (MG)**. Monografia. Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora, 2020.

SOUZA, M. L. de. et al. **Involução Metropolitana e Desmetropolização: Sobre a Urbanização Brasileira nas Décadas de 80 e 90**. *In*: Brasil. Modernização e Globalização: Congresso da Associação Alemã de Pesquisas sobre América Latina (ADLAF), de 7 a 9 de outubro de 1998, na Universidade de Tübingen. 2001. p. 121-146.

SOUZA COSTA, S.O et al. A cartografia no auxílio do planejamento territorial urbano do município de Garanhuns-PE. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 1101-1108, 2014.

SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L. DINAMICA- A stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **Ecological Modeling**, n. 154, p. 217- 235, 2002.

TEDESCO, A. M.; OLIVEIRA, G. A.; TROJAN, F. Avaliação da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas por meio dos métodos AHP e TOPSIS. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, p. 401-407, 2021

TRIBUNA DE MINAS. **Chuvas voltam a causar inundações em Juiz de Fora**. 2021. Disponível em : <https://www.google.com/url?q=https://tribunademinas.com.br/noticias/cidade/11-01-2021/chuvas-voltam-a-causar-inundacoes-em-juiz-de-fora.html&sa=D&source=docs&ust=1666315258787378&usq=AOvVaw12HnCzXYm0mSXthx0QSjU3> Acesso em: 20 de Out. 2022.

TRIBUNA DE MINAS. **Em 5 horas, JF registra 70% da chuva prevista para todo o mês de março**. 2018. Disponível em : <https://tribunademinas.com.br/noticias/cidade/11-03-2018/em-5-horas-jf-registra-70-da-chuva-prevista-para-todo-o-mes-de-marco.html> Acesso em: 30 de Jul. 2023

TRIBUNA DE MINAS. **JF registra diversos pontos de alagamento nesta manhã**. 2017. Disponível em: <https://tribunademinas.com.br/noticias/cidade/20-11-2017/jf-registra-diversos-pontos-de-alagamento-nesta-manha.html> Acesso em: 30 Jul. 2023

TUCCI, C. EM. **Gestão da drenagem urbana**. Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48.50p. Escritório no Brasil/IPEA, 2012.

UGEDA JÚNIOR, J. C. Planejamento da paisagem e planejamento urbano: reflexões sobre a urbanização brasileira. **Revista Mato-Grossense de Geografia**, v. 17, n. 01, 2014.

VAEZA, R. F. et al. Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. **Floresta e Ambiente**, v. 17, n. 1, p. 23-29, 2010.

VILELA, T. A. **Avaliação do desmatamento e seus possíveis impactos nas mudanças climáticas da bacia do Rio Turvo Sujo-MG**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia; Saneamento ambiental) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

XAVIER, A. P. C. **Modelagem temporal da dinâmica do uso e ocupação do solo nas e deposição de sedimentos na Bacia do Rio Tapacurá (PE)**. Dissertação submetida ao Programa de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba. [S.l.], p.102. 2017.

ZACCHI, R. C. et al. Fatores morfométricos como condicionantes da ocorrência de enchentes na bacia do córrego Serafim, sub-bacia do rio Paraibuna, Juiz de Fora, MG. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, Campos dos Goytacazes/ RJ, v. 6, n. 1, p. 151-160, 2012.