



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI

RAFAEL QUETZ MARQUES OLIVEIRA

Mapeamento e Gestão de Riscos de Inundações no Setor Colônia do Marçal

SÃO JOÃO DEL-REI

2025

Mapeamento e Gestão de Riscos de Inundações no Setor Colônia do Marçal

RAFAEL QUETZ MARQUES OLIVEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenadoria do Curso de Geografia da
Universidade Federal de São João del-Rei,
como requisito parcial para obtenção do grau
de bacharel em Geografia.

Orientadora: Profa. Dra. Silvia Elena
Ventorini

SÃO JOÃO DEL-REI

2025

Aos que me apoiam e me incentivam.

AGRADECIMENTOS

Meus primeiros agradecimentos vão à minha mãe, pelo apoio incondicional, incentivo constante e paciência ao longo de toda a graduação.

Expresso meus sinceros agradecimentos à Profa. Dra. Silvia Elena Ventorini, pela orientação dedicada, pelo trabalho incansável e pelos valiosos ensinamentos transmitidos durante todo o período de convivência. Suas palavras, ensinamentos — e até mesmo as broncas — foram fundamentais para meu crescimento pessoal e acadêmico. Sua postura ética e inspiradora me motiva a buscar sempre o melhor em tudo o que faço.

Agradeço também aos membros da banca examinadora, em especial à Profa. Dra. Silvia Elena Ventorini, pela disponibilidade, pelas contribuições e pela atenção dedicada a este trabalho.

Aos professores do Departamento de Geociências (DEGEO), registro minha gratidão pelos conhecimentos compartilhados e pela formação sólida que me proporcionaram. Aos funcionários do DEGEO, deixo meu reconhecimento pela dedicação, apoio e profissionalismo.

À Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), ao Departamento de Geociências (DEGEO), ao Unificar Ações e Informações Geoespaciais (UAIGeo) e seus membros, e ao Laboratório de Cartografia, Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto (LabCar), agradeço pela infraestrutura, pelos equipamentos e pelo ambiente que tornaram possível o desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro concedido durante o período de iniciação científica, essencial para o aprimoramento da minha formação acadêmica.

Agradeço à Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis (PROAE) da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), órgão responsável pela gestão de programas e projetos voltados à assistência estudantil, ações afirmativas, permanência, saúde e atividades esportivas, culturais e sociais. Expresso minha gratidão, em especial, pela bolsa do Programa de Assistência Socioeconômica (PASE) concedida durante o período da graduação, a qual foi fundamental para a continuidade dos meus estudos e a conclusão deste curso.

Aos meus colegas de graduação, Jean Euzébio e Ana Luisa, deixo o agradecimento pela parceria, amizade e pelas experiências compartilhadas e aprendizados ao longo dessa jornada.

Por fim, a todos que contribuíram para a realização deste trabalho e para a concretização deste sonho, meu mais sincero muito obrigado!

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar a pesquisa para identificar e analisar as áreas suscetíveis às inundações no Setor Colônia do Marçal, em São João del-Rei (MG), a partir da integração de dados ambientais, urbanos e topográficos. A fundamentação teórico-metodológica teve como base a Teoria Geral dos Sistemas Aplicada À Geografia. Os procedimentos foram levantamento bibliográfico, análise documental, análise de imagens de satélite e elaboração de bases cartográficas em ambiente SIG. As análises permitiram compreender a influência do relevo, da impermeabilização do solo e da expansão urbana na intensificação dos eventos de inundação. Constatou-se que grande parte das ocupações no setor ocorreu sem planejamento adequado, avançando sobre áreas de preservação permanente e zonas de baixa declividade, o que agrava a vulnerabilidade local. Os resultados obtidos reforçam a importância do mapeamento temático como instrumento de gestão e planejamento territorial, contribuindo para a formulação de políticas públicas voltadas à mitigação dos impactos socioambientais e à ocupação sustentável do espaço urbano.

Palavras-chave: Cartografia; Inundações; Geoprocessamento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Chuvas inundam ruas na Colônia do Marçal.....	14
Figura 2 – Ponte do Bezerrão (via de ligação entre a Avenida Leite de Castro e a Colônia do Marçal), 2012.....	15
Figura 3 – Enxurradas na Avenida Luiz Giarola.....	16
Figura 4 – Imagem Aérea Colônia do Marçal.....	16
Figura 5 – Diferença de escoamento em área urbanizada e em área não urbanizada.....	23
Figura 6 – Plano de voo.....	28
Figura 7 – Drone DJI modelo Mini 2 SE.....	29

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Localização do Colônia do Marçal.....	13
Mapa 2 – Hipsometria e hidrografia do setor Colônia do Marçal – SJDR.....	31
Mapa 3 – Declividade do setor Colônia do Marçal – São João Del Rei.....	32
Mapa 4 – Expansão urbana do setor Colônia do Marçal – São João Del Rei – MG.....	33
Mapa 5 – Setor Colônia do Marçal - Pontos de Inundações.....	34
Mapa 6 – Uso e cobertura da terra do setor Colônia do Marçal – SJDR (1984 e 2020)	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de alterações em canais.....	20
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Uso e cobertura da terra no setor Colônia do Marçal (1984–2020)	36
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1 CAPÍTULO – GESTÃO DE RISCO EM AMBIENTES ANTRÓPICOS	17
1.1 A Gestão de Risco e a Influência da Ação Antrópica	19
1.2 Impactos Resultantes	21
2 MATERIAIS E MÉTODOS	24
2.1 Fundamentação teórica	24
2.2 Materiais e Métodos	25
2.2.1 Base cartográfica	25
3 RESULTADOS	28
3.1 Resultados da Pesquisa Bibliográfica	28
3.2 Resultado da Pesquisa Cartográfica e Análise das Bases	29
3.3 Geração dos mapas	39
3.4 Importância da metodologia utilizada	39
4 CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso apresenta os resultados e análises de uma pesquisa desenvolvida entre o primeiro semestre de 2022 e o segundo semestre de 2025, cujo foco recai sobre o mapeamento de áreas suscetíveis às inundações. O estudo abrange dois recortes temporais — 1984 e 2020 — e busca oferecer subsídios técnicos para o planejamento urbano e a gestão ambiental do Setor Colônia do Marçal, localizado no município de São João del-Rei, Minas Gerais.

A formação urbana de São João del-Rei remonta ao século XVII, quando a descoberta de ouro na região atraiu fluxos populacionais e impulsionou a ocupação das áreas de menor declividade da Serra do Lenheiro, área atualmente classificada como Zona de Proteção Ambiental (ZPA) pelo Plano Diretor Urbano (PDU). A água, elemento essencial à vida e à organização das sociedades humanas, sempre desempenhou papel estruturante — seja no abastecimento, na agricultura, no transporte ou na configuração dos assentamentos urbanos. No entanto, essa mesma substância, vital ao desenvolvimento humano, também se apresenta como elemento de risco, em razão de sua dinâmica natural e de sua capacidade de provocar desastres. Essa dualidade entre recurso e ameaça acompanha as civilizações desde a Antiguidade (MARCONDES, 1999).

No contexto brasileiro, particularmente em cidades médias e pequenas, a ocupação desordenada do solo urbano e a deficiência da infraestrutura de drenagem têm contribuído para o aumento da vulnerabilidade da população diante de enchentes e inundações (BAPTISTA; CARDOSO, 2013; COSTA, 2006). Em São João del-Rei, a expansão urbana seguiu a lógica colonial de ocupação das margens de cursos d'água, inicialmente voltada às atividades mineradoras, de transporte e de abastecimento. O município, fundado no final do século XVII, teve seu núcleo urbano estruturado a partir do Córrego do Lenheiro, elemento central de sua organização espacial (SÃO JOÃO DEL-REI, 2017).

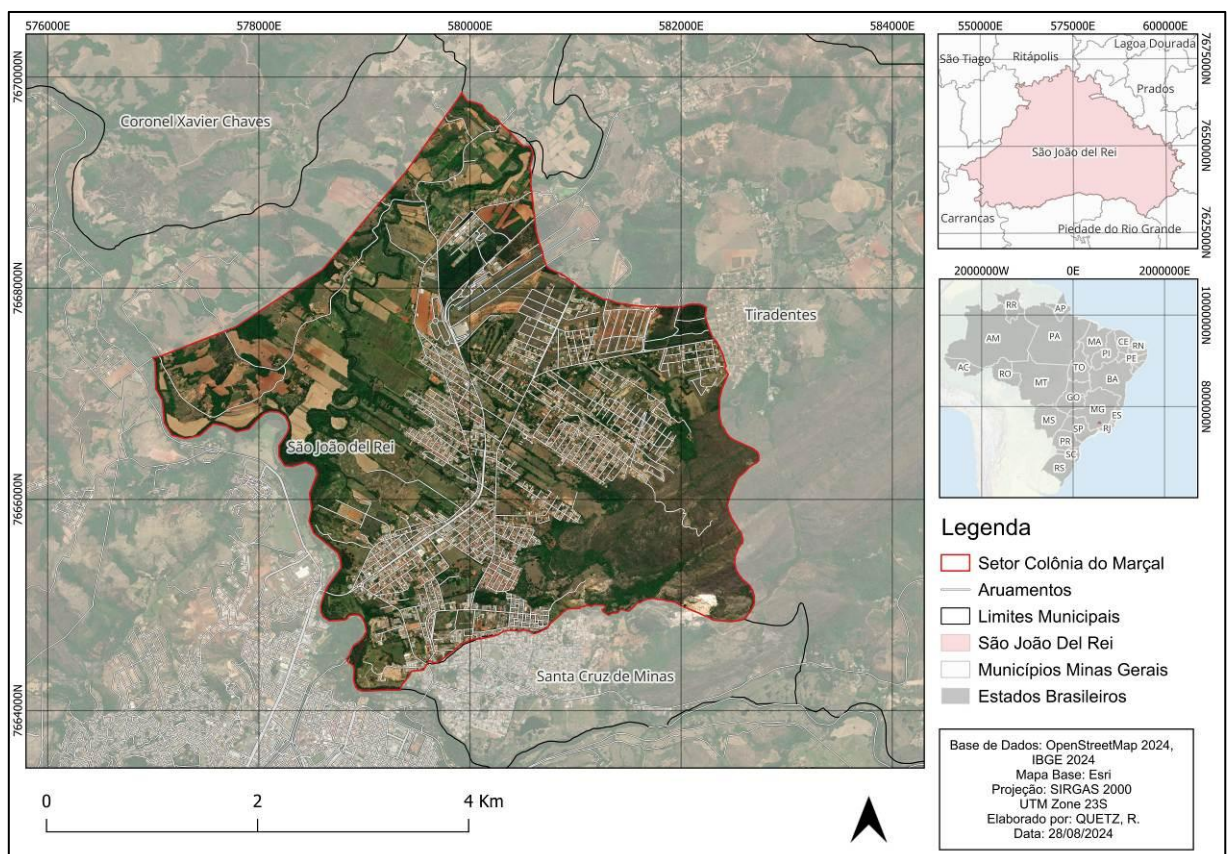
Com o declínio do ciclo do ouro no século XVIII, a cidade manteve relevância regional sustentada pela agricultura e pelo comércio. No século XIX, o crescimento das indústrias têxteis impulsionou a economia local, embora esse movimento tenha sido posteriormente enfraquecido pela construção da ferrovia que conectou os eixos Rio de Janeiro–São Paulo–Belo Horizonte, provocando a retração das indústrias locais de pequeno e médio porte (ANDRADE, 2013; BRASIL, 2014). O traçado urbano foi então reconfigurado em torno de dois eixos estruturantes — o curso do Córrego do Lenheiro e os trilhos da

ferrovia —, o que resultou na ampliação e abertura de novas vias. Nesse contexto, o Setor Colônia do Marçal se destacou por ter imigrantes italianos que se consolidaram como empreendedores locais (COTA; DIÓRIO, 2012).

No século XX, parte do centro histórico foi tombada pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), devido à sua arquitetura de influência portuguesa (ANDRADE, 2013). Contudo, as transformações urbanas recentes têm sido fortemente influenciadas pelo setor imobiliário, que impulsiona o crescimento da cidade sem considerar adequadamente as limitações ambientais e geomorfológicas (BRAGA, 2001).

A várzea do Marçal, correspondente ao atual bairro Colônia do Marçal, constitui um dos setores mais críticos quanto ao risco de inundação. Essa área caracteriza-se por baixa declividade (cerca de 1%), solos mal drenados e lençol freático superficial. No final do século XIX, chegou a ser cogitada como possível sede da nova capital de Minas Gerais, sendo descartada justamente por suas limitações hídricas e de drenagem (MINAS GERAES, 1893; LAET, 1993). Apesar das advertências técnicas, a urbanização intensificou-se a partir da segunda metade do século XX, substituindo áreas naturais e de pastagem por usos residenciais e comerciais, o que aumentou a impermeabilização do solo e agravou as ocorrências de inundações (ZACHARIAS, et. al., 2021). O Mapa 1 mostra a localização do Setor da Colônia do Marçal.

Mapa 1: Localização do Colônia do Marçal.



Os registros históricos confirmam a recorrência de eventos de inundação. Em 2005, chuvas intensas provocaram o transbordamento de canais, atingindo vias públicas e equipamentos urbanos, como a Escola Estadual Brighenti Cesare, colocando em risco a população local (GAZETA DE SÃO JOÃO DEL-REI, 2005). Situações semelhantes ocorreram em 2007, 2012, 2016, 2019 e 2020, resultando em danos materiais, famílias desalojadas e até óbitos (FERREIRA et al., 2022; DEFESA CIVIL, 2015). Além dos condicionantes físicos, a disposição topográfica das vias tem direcionado os fluxos hídricos para as partes mais baixas, ampliando os impactos das enchentes, conforme destaca a reportagem apresentada na figura 1.

Figura 1. Chuvas inundam ruas na Colônia do Marçal. Gazeta de São João del-Rei (2005, p. 2).



Fonte: FERREIRA, A (2023, p. 123).

O município de São João del-Rei apresenta clima quente e temperado (Cwb, segundo Köppen e Geiger), com temperatura média anual de 19,5 °C e precipitação de aproximadamente 1.266 mm. O mês mais seco, julho, registra em média 13 mm de chuva, enquanto dezembro, o mais chuvoso, alcança 243 mm. Durante o verão (dezembro a fevereiro), o acumulado pluviométrico pode chegar a 750 mm, aumentando a probabilidade de inundações, sobretudo em áreas impermeabilizadas e sem infraestrutura de drenagem adequada (BARUQUI et al., 2006; CAMPOS; COSTA; PEREIRA, 2014).

O cenário local se insere em um contexto mais amplo de agravamento dos desastres climáticos no Brasil. Entre 2012 e 2020, foram registradas 2.697 ocorrências de chuvas intensas, com destaque para as regiões Sul (998 casos, 35%) e Sudeste (593 casos, 22%). Tais eventos afetaram diversos setores, especialmente a agricultura e a infraestrutura urbana, resultando em 7,8 milhões de pessoas desalojadas ou desabrigadas, 4.307 mortes e prejuízos econômicos médios anuais de R\$ 18,26 bilhões (MDR; SEDEC; UFSC; CEPED, 2022). As figuras 2 e 3 ilustram áreas atingidas pelas chuvas no ano de 2012 e 2016.

Figura 2. Ponte do Bezerrão (via de ligação entre a Avenida Leite de Castro e a Colônia do Marçal), 2012



Fonte: FERREIRA, A. (2023, p. 128).

Figura 3: Alagamentos na Avenida Luiz Giarola, Colônia do Marçal. 2016.



Fonte: FERREIRA, A. (2023, p. 129).

A fotografia apresentada na Figura 4 foi registrada em 10 de janeiro de 2023, período em que a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) provocou intensas precipitações em diversas regiões de Minas Gerais.

Figura 4: Imagem Aérea Colônia do Marçal, 2023.



Fonte: LabCar-UFSJ.

Diante desse quadro, torna-se imprescindível compreender a urbanização como processo transformador da dinâmica natural dos sistemas ambientais. A ocupação de várzeas e margens de cursos d'água modifica o funcionamento dos corpos hídricos, gerando impactos

ambientais e sociais complexos (GIRÃO; CORRÊA, 2004; FRANCI; MANDANICI; BITELLI, 2015). Conforme apontam Sander et al. (2012) e Owens e Cowell (2002), tais alterações produzem efeitos diretos e indiretos, frequentemente cumulativos e incertos.

A partir da realidade descrita, surgiu a pesquisa descrita neste documento cuja hipótese é que a impermeabilização do solo e o avanço da urbanização desordenada intensificam a suscetibilidade às inundações, alterando o comportamento natural dos canais fluviais.

Para comprovar a hipótese, propôs como objetivo geral da pesquisa analisar a base de dados cartográfica do Setor Colônia do Marçal dos anos de 1984 e 2020 desenvolvido por Teixeira (2021), realizar coleta de dados com Veículo Aéreo Não Tripulado e GNSS/RTK de modo a fornecer subsídios técnicos para o planejamento urbano e a gestão de riscos. A justificativa fundamenta-se na elevada frequência de inundações no bairro, na ausência de bases cartográficas digitais na prefeitura do município e na necessidade de instrumentos técnicos que auxiliem na mitigação de desastres hidrológicos.

A fundamentação teórico metodológica foi a Teoria Geral dos Sistemas Aplicadas à Geografia e os procedimentos foram: estruturados em quatro etapas: (i) levantamento documental e bibliográfico; (ii), análise de base de dados cartográfico, aquisição de dados com VANT e GNSS e elaboração de base cartográfica digital; (iii) produção de mapas temáticos (declividade, uso e cobertura da terra, modelo digital de terreno e hidrografia); (iv) trabalhos de campo para validação e refinamento dos resultados.

Este documento está organizado em três capítulos além desta Introdução. No capítulo I apresenta-se o diálogo com autores sobre gestão de risco em ambientes antrópicos e suas implicações. No capítulo II descreve-se os materiais e métodos. No capítulo III discorre-se sobre os resultados e as análises, indicando medidas de mitigação que podem orientar o poder público. Por fim, a conclusão destaca a importância do mapeamento de áreas suscetíveis a inundações como subsídio essencial para a expansão urbana sustentável e a redução dos desastres ambientais.

1 CAPÍTULO – GESTÃO DE RISCO EM AMBIENTES ANTRÓPICOS

A compreensão do ser humano como uma força que transforma o meio ambiente mostra que suas ações têm impacto direto no equilíbrio e nos processos naturais. Desde o início da civilização, o homem modificou o espaço geográfico para melhorar suas condições de vida, o que demonstra uma relação muito forte entre sociedade e natureza. O relevo, nesse contexto, é um fator decisivo para a forma como as sociedades se desenvolvem, influenciando

onde se estabelecem e como organizam seus espaços (GIRÃO; CORRÊA, 2004, TEIXEIRA, 2021).

Já nas civilizações antigas, como as egípcias e mesopotâmicas, percebe-se uma tendência de ocupar planícies de inundação — áreas férteis e estratégicas —, mesmo que essa prática não esteja alinhada com as dinâmicas naturais desses locais.

Essa lógica ainda persiste nas cidades atuais, onde a busca pela expansão urbana e pelo funcionamento eficiente prevalece, muitas vezes ignorando as características geomorfológicas e hidrológicas do terreno. O aumento da densidade populacional, embora promova o crescimento econômico, também traz impactos ambientais decorrentes das modificações feitas pelo homem (TEIXEIRA, 2021).

A partir da metade do século XX, com o crescimento populacional e a urbanização intensa, as mudanças no ambiente tornaram-se mais evidentes, associadas a modelos de desenvolvimento que priorizam critérios técnicos e funcionais, desconsiderando as dinâmicas naturais do relevo (BOTELHO, 2011; PORATH, 2004).

A falta de planejamento adequado em vários municípios do Brasil levou à ocupação de áreas ambientalmente frágeis. Aumond, Loch e Comin (2012) apontam que a expansão urbana sobre espaços naturais causa degradação e destruição de áreas protegidas por lei, enquanto Moreira et al. (2014) reforçam que as infraestruturas urbanas alteram o regime e a qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

Nesse mesmo sentido, Moreira et al. (2014) destacam que as infraestruturas urbanas têm um impacto significativo sobre os recursos hídricos, alterando o regime e a qualidade das águas.

A urbanização substitui a vegetação por construções e superfícies que não são capazes de absorverem a água, alterando sua absorção pelo solo e como se movimenta nas áreas de drenagem. Isso aumenta o risco de desastres como enchentes (GIGOVIC et al., 2017). A transformação do ambiente natural para um urbano, substituindo a vegetação por áreas edificadas, impermeabiliza o solo, reconfigura os rios e canaliza cursos d'água, agravando problemas como o assoreamento e a contaminação da água, já que os rios refletem como o solo é usado e ocupado (AUMOND; LOCH; COMIN, 2012; FRANCI; MANDANICI; BITELLI, 2015; FRITZEN; BINDA, 2011; KNIGHTON, 1998).

O debate sobre o meio ambiente ganhou força mundial a partir da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo em 1972.

Essa reunião enfatizou a importância do planejamento do uso da terra para reduzir os impactos ambientais. Desde então, muitos países, especialmente os da União Europeia, têm

adotado políticas para gerenciar recursos hídricos de forma integrada e promover uma ocupação do solo sustentável (BLOWERS, 2000; CARTER, 2007).

As mudanças nas redes de drenagem, como as inundações, são resultados de transformações graduais no ambiente, causadas por fatores que atuam diretamente e indiretamente. Fatores diretos envolvem alterações físicas nos rios, enquanto os indiretos estão ligados ao uso e ocupação da terra, que muitas vezes aumentam a instabilidade ambiental e a ocorrência de eventos extremos (TEIXEIRA, 2021). Assim, as mudanças no ambiente podem ser tanto diretas quanto indiretas.

1.1 A Gestão de Risco e a Influência da Ação Antrópica

Em ambientes antrópicos, os riscos ambientais surgem da interação entre fenômenos naturais e fraquezas sociais causadas pela ocupação irregular e pela falta de planejamento adequado. Segundo a Autoridade Nacional de Proteção Civil (2016), a gestão do risco é um processo contínuo e integrado, que busca identificar, avaliar e reduzir as ameaças que colocam em risco a segurança das pessoas e a sustentabilidade do território. Nesse contexto, a gestão do risco de inundação deve ser considerada parte essencial do planejamento urbano e ambiental, envolvendo políticas públicas, normas legais e estratégias para a prevenção de desastres.

A expansão desordenada das cidades e a substituição da vegetação por superfícies impermeáveis modificam profundamente a dinâmica hidrológica e geomorfológica das bacias de drenagem, aumentando o escoamento superficial e a ocorrência de eventos extremos (GIGOVIC et al., 2017).

Essa situação leva ao aumento da erosão, do acúmulo de sedimentos e da contaminação dos cursos d'água, prejudicando o equilíbrio ecológico e a segurança das comunidades (FRANCI; MANDANICI; BITELLI, 2015; FRITZEN; BINDA, 2011; KNIGHTON, 1998).

Conforme definido pela ISO 31000:2009, o risco é entendido como "o efeito da incerteza nos objetivos", e sua gestão deve seguir princípios de identificação, análise, avaliação e mitigação. A aplicação desses princípios em contextos urbanos exige a compreensão das interações entre o uso do solo, as características do relevo, a capacidade de drenagem e a vulnerabilidade social (APA, 2016).

Os processos hidráulicos estão diretamente ligados às condições ambientais das bacias hidrográficas, sendo o uso e ocupação da terra fatores que determinam a dinâmica das águas superficiais (SANDER et al., 2012). Como já foi discutido, a urbanização modifica as características naturais dos cursos d'água, uma vez que altera o uso do solo.

Nesse contexto, as intervenções antrópicas sobre o meio físico podem ser classificadas em diretas e indiretas, conforme apresentado no Quadro 1. As modificações indiretas referem-se às transformações do uso da terra que influenciam de maneira mediata os sistemas fluviais, como o desmatamento, o reflorestamento, a urbanização e a mineração. Já as alterações diretas correspondem às intervenções físicas realizadas nos próprios canais, incluindo práticas de regulação, retificação, dragagem e controle de margens.

Quadro 1 - Tipos de alterações em canais.

INDIRETA	DIRETA
Alterações no uso da terra	Regulação
-Desmatamento; -Reflorestamento;	-Segurar a água (P.ex. açudes); -Desvio de água (P.ex. irrigação)
Conversão de áreas de pastagem para áreas cultiváveis	Gerência do canal
-Urbanização; -Mineração. Drenagem de terra: -Agrícola -Esgoto superficial	-Extração de sólidos; -Retificação; -Controle de inundação; -Construções para conter erosão de margens; -Dragagem.

Fonte: Teixeira, 2021 (p.17)

O impacto imediato dessas intervenções é o aumento do escoamento superficial, que acarreta maiores taxas de erosão e incremento da carga sedimentar transportada pelos cursos d'água. Entre os principais efeitos discutidos por Sander et al. (2012) destacam:

- Alterações no regime de descarga dos canais, resultantes da remoção da vegetação, da compactação do solo e da consequente diminuição da infiltração e da capacidade de armazenamento;
- Aumento do transporte de sedimentos, provenientes de encostas erodidas e áreas de captação intensamente;

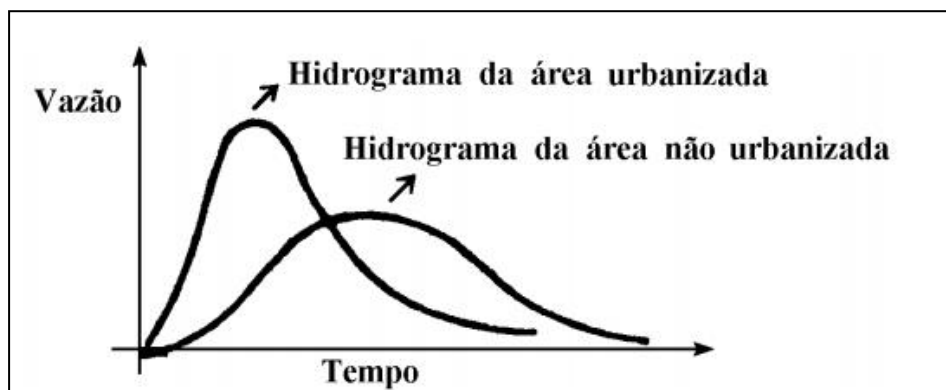
- c) Assoreamento fluvial, decorrente da deposição de materiais em trechos de baixa declividade, comprometendo a vazão e a estabilidade do canal;
- d) Erosão de margens e alterações na calha fluvial, frequentemente intensificadas durante eventos de alta pluviosidade;
- e) Deslocamento de nascentes e variação da extensão dos fluxos hídricos, em razão da impermeabilização e da perda de permeabilidade dos solos a montante;
- f) Contaminação das águas superficiais e subterrâneas, causada pelo lançamento de efluentes domésticos, resíduos industriais e uso de agrotóxicos, agravada pela drenagem inadequada e pela falta de cobertura vegetal.

As alterações diretas, como canalização, retificação e dragagem, são comumente justificadas pelo controle de inundações e pela melhoria das condições de saneamento nas cidades (ASSUMPÇÃO; MARÇAL, 2012, TEIXEIRA, 2021). Porém, essas intervenções diminuem a curva natural dos rios, aumentam a velocidade da água e, podem agravar os períodos de cheia nas áreas mais baixas das bacias hidrográficas, gerando impactos significativos no ambiente (KELLER, 1978; TUCCI; BERTONI, 2003; SANTOS; PINHEIRO, 2002).

1.2 Impactos Resultantes

A Autoridade Nacional de Proteção Civil (2016) destaca que, os efeitos dessas mudanças são agravados quando o planejamento urbano não leva em conta as limitações naturais do terreno. Cidades localizadas em planícies aluviais ou nas margens de rios costumam ter índices elevados de risco, principalmente quando as obras de drenagem e contenção são realizadas sem estudos hidrológicos adequados. A urbanização promove mudanças físicas, químicas e biológicas nos ambientes naturais, tanto nas áreas centrais quanto nas regiões a jusante (NASCIMENTO; HELLER, 2005). As transformações resultantes da expansão urbana alteram a circulação da água, energia e matéria, gerando novos sistemas ambientais (DOUGLAS, 1983), como mostra a figura 5.

Figura 5 - Diferença de escoamento em área urbanizada e em área não urbanizada.



Fonte: Tucci (2007, p. 17).

A Resolução CONAMA nº 1/1986 destaca que, impacto ambiental é toda modificação física, química ou biológica do meio ambiente causada por atividades humanas que afetam a saúde, a segurança, o bem-estar e a qualidade dos recursos naturais (BRASIL, 1986).

A impermeabilização do solo é um dos principais fatores de alteração da dinâmica hídrica urbana. Ao impedir a infiltração da água, aumenta o volume de escoamento superficial e reduz a recarga dos aquíferos (ALLASIA et al., 2000). Segundo Tucci (2000), apenas 7% de impermeabilização já duplica o volume de escoamento superficial; quando essa taxa atinge 80%, o volume pode ser até oito vezes maior. Esses processos contribuem para enchentes, enxurradas e inundações (MAUS; RIGHES; BURIOL, 2007).

As construções em áreas próximas a cursos d'água alteram as dimensões naturais das calhas e favorecem a erosão das margens (CUNHA, 2003; VIEIRA; CUNHA, 2001). Além disso, a ocupação irregular dessas áreas contraria o Código Florestal Brasileiro (Lei nº 4.771/1965), que define as Áreas de Preservação Permanente (APPs) como essenciais à manutenção da estabilidade geológica, da biodiversidade e da qualidade dos recursos hídricos (BRASIL, 1965).

Intervenções com planejamentos insuficientes, como o estreitamento artificial de seções fluviais, geram inundações localizadas e falhas em obras de drenagem (TUCCI, 2007). A expansão irregular dos loteamentos urbanos, geralmente conduzida pela iniciativa privada, agrava o problema, pois ocorre sem a devida análise dos impactos ambientais e hidrológicos (COELHO, 2005; RIGATTI, 2002). Na área de estudo da pesquisa relatada neste documento observa-se essa realidade.

A substituição de áreas naturais por superfícies impermeáveis reduz a infiltração e aumenta o escoamento superficial, intensificando o risco de inundações (FONTES; BARBASSA, 2003). O acúmulo de resíduos sólidos nas vias urbanas e nos canais de drenagem agrava o problema, diminuindo a capacidade de escoamento e elevando a frequência de alagamentos (CUNHA, 2003; VALENTE; GOMES, 2005; BRASIL, 2007).

De acordo com a Defesa Civil (2015), no município de São João del-Rei, cerca de 50% dos registros de inundações entre 2004 e 2012 ocorreram no Setor Colônia do Marçal. A expansão desordenada, associada à especulação imobiliária e à ausência de planejamento territorial, favoreceu a ocupação de áreas suscetíveis, incluindo zonas de baixa declividade e APPs. Esse cenário evidencia a necessidade urgente de mapeamentos sistemáticos como instrumento de gestão e planejamento urbano sustentável.

A gestão de risco em ambientes antrópicos exige a articulação entre planejamento territorial, gestão de recursos hídricos e políticas ambientais. A Diretiva 2007/60/CE, incorporada ao ordenamento português pelo Decreto-Lei n.º 115/2010, estabelece que a avaliação e o mapeamento das zonas de inundação são essenciais para reduzir as perdas humanas e materiais. Esses instrumentos, aliados aos Planos de Gestão das Regiões Hidrográficas (PGRH), permitem integrar as medidas estruturais (barragens, canais, bacias de retenção) e não estruturais (educação ambiental, seguros, restrições de uso do solo) (APA, 2016).

Como defendem Freire et al. (2015), a mitigação de riscos deve basear-se na prevenção e na adaptação, incorporando critérios de resiliência ao planejamento urbano. Isso inclui a criação de sistemas de alerta, o mapeamento participativo de áreas vulneráveis e o incentivo a soluções baseadas na natureza, como corredores verdes e recuperação de matas ciliares, capazes de restaurar o equilíbrio hidrológico.

A expansão desordenada e a falta de integração entre políticas públicas e ambientais intensificam os riscos e fragilizam a resiliência urbana. Estudos da Defesa Civil (2015) mostram que, em municípios como São João del-Rei, mais de 50% dos registros de inundações entre 2004 e 2012 ocorreram em áreas de expansão recente, como o Setor Colônia do Marçal, evidenciando a ocupação de zonas de baixa declividade e Áreas de Preservação Permanente. Esse quadro revela a necessidade de aprimorar os mecanismos de monitoramento, fiscalização e participação social, reforçando o papel da gestão preventiva como pilar do desenvolvimento sustentável.

Assim, a gestão do risco em ambientes antrópicos deve ser compreendida como uma prática interdisciplinar, fundamentada na integração entre conhecimento técnico, legislação

ambiental e planejamento participativo. O desafio principal consiste em compatibilizar o uso do território com sua capacidade natural de suporte, promovendo cidades mais seguras, sustentáveis e resilientes.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Fundamentação teórica

A fundamentação teórico-metodológica foi a Teoria Geral dos Sistemas Aplicadas à Geografia. Von Bertalanffy, biólogo integrante do círculo de Viena, em 1973 propôs a Teoria Geral do Sistemas, concebendo o modelo do sistema aberto e entendido como “complexo de elementos em interação e em intercâmbio contínuo com o ambiente” (MOTTA, 1971, p. 1) e Cristofolletti (1979) a aplicou na Geografia. Suas hipóteses mostravam descrença na visão mecanicista dos fenômenos biológicos, por exemplo, em seu modelo conceitual (BERTALANFFY, 1968), que se refere a um organismo vivo como um sistema aberto, ou seja, contínuo à interação com o ambiente (VALE, 2012).

A partir da teoria proposta por Bertalanffy (1977), rompeu-se com o reducionismo da física, de modo que a busca por generalizações de conceitos científicos e modelos se tornasse mais presente. O aparecimento de modelos que representassem os aspectos interativos entre as variáveis naturais fez com que novas categorias de pensamento e de pesquisa surgissem. Os modelos trouxeram resoluções para problemas no campo da biologia, por exemplo, que “exigia novos instrumentos conceituais para tratar os problemas da complexidade organizada” (VALE, 2012, p. 90). Esses modelos teóricos, de onde surgem os instrumentos, tinham que ser interdisciplinares, já que se aplicam a fenômenos em diversos domínios. Bertalanffy ressaltava também em suas obras a inserção da teoria nas ciências humanas e a aplicação dessa concepção de sistema a um panorama mais amplo, ou seja, em sua totalidade, tendo em vista o problema da história humana amplia com a possível ideia sistêmica.

Essa interdisciplinaridade é fundamental no estudo de problemáticas urbanas, já que não dissocia a cidade e o ambiente, considerando-os como partes das relações complexas de *input* e *output* dos fluxos de matérias e energias e em estudos ambientais paisagísticos (CHORLEY; KENNEDY, 1971; MARQUES NETO, 2008; ZACHARIAS, 2010).

A definição de sistema na Teoria consiste no complexo de componentes em interação e aplica-se aos fenômenos concretos, portanto o sistema é o conjunto dos elementos e suas respectivas relações entre os seus atributos que funcionam executando processos para obter respostas (CRISTOFOLETTI *et al.*, 1979).

Christofoletti (2004) ressalta que os sistemas ambientais são dinâmicos e complexos, formados por elementos interligados, com capacidade de troca entre eles e adaptação de sua estrutura interna como consequência disso. Diante dessa complexidade, o uso de modelos para análise é fundamental, sendo necessária a identificação de quais entradas e saídas são relevantes no ambiente e o quanto isso influencia o sistema (AUMOND; LOCH; COMIN, 2012; DAENZER; HUBER, 1994).

A teoria enfatiza que as mudanças no ambiente repercutem nos canais fluviais, alterando sua dinâmica em suas formas e processos (CHRISTOFOLETTI, 1980), por exemplo, o *input* (entrada) de água no sistema se converte em vazão (SILVA *et al.*, 2014). Zacharias (2010) defende o uso da TGS no planejamento ambiental, já que esse é definido pela integração de informações, diagnósticos do ambiente, prevenção e normatização de ações e do uso por meio de uma linha ética desenvolvimentista, bem como Moura (2003) defende a ideia de que os processos incorporados pelo geoprocessamento requerem abordagem sistêmica em toda sua totalidade.

2.2 Materiais e Métodos

2.2.1 Base cartográfica

Os procedimentos metodológicos foram levantamento bibliográfico e documental, pesquisa, aquisição, elaboração e análise de mapas temáticos. Destaca-se também a utilização do estudo de Ferreira *et al.* (2022), que apresenta um inventário histórico-geográfico dos eventos de inundação e deslizamentos na cidade entre 1774 e 2021, e que serviu como base para a sistematização de ocorrências específicas no bairro Colônia do Marçal. Foram também considerados artigos acadêmicos relacionados à geomorfologia urbana, à hidrologia e à gestão de riscos (BAPTISTA; CARDOSO, 2013; LEÃO *et al.*, 2013; ZACHARIAS, *et al.* 2021).

Os dados cartográficos sobre a área de estudo foram adquiridos a partir de bases elaboradas por pesquisadores vinculados ao Laboratório de Cartografia da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), principalmente da base produzida por Teixeira (2021).

Essa base integra o acervo do Banco de Dados em Geotecnologias e Cartografia (BDGC/UFSJ) e serviu como referência fundamental para a modelagem cartográfica utilizada neste trabalho.

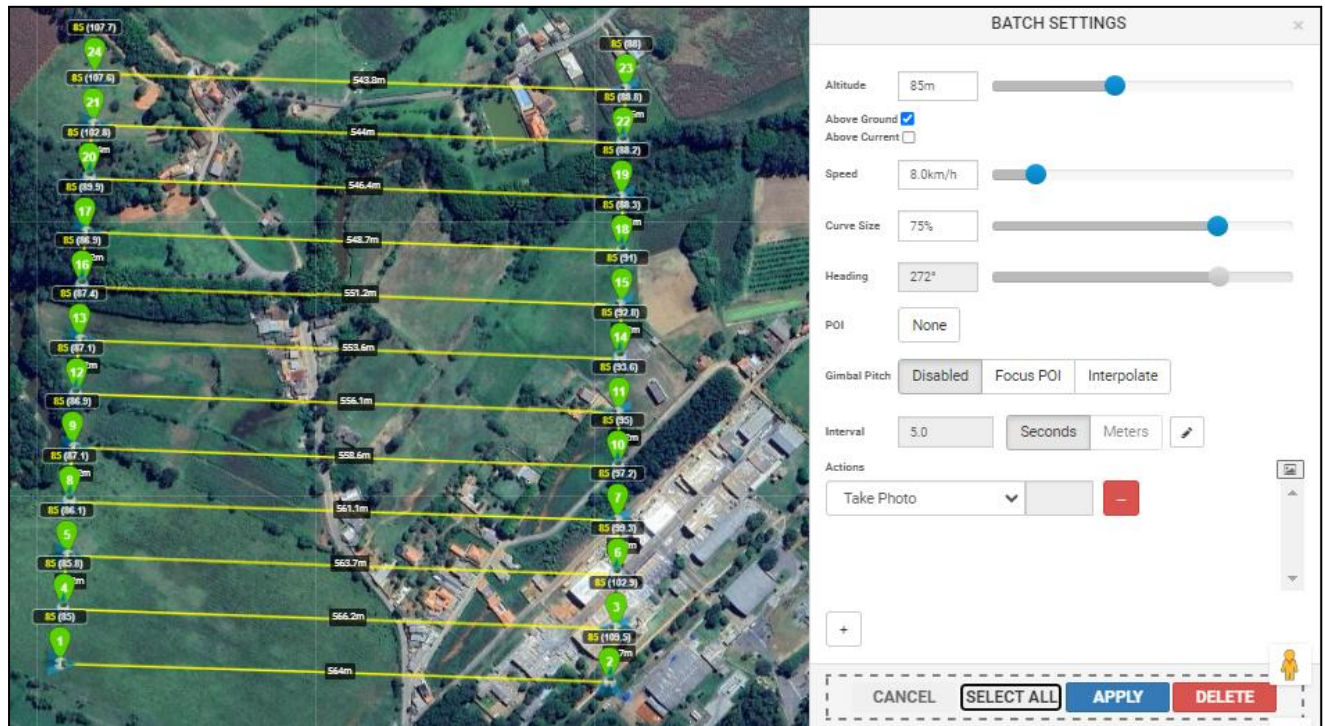
O presente estudo também dialoga com o trabalho de Teixeira (2021), *Mapeamento de áreas suscetíveis às inundações no Setor Colônia do Marçal – São João del-Rei, Minas Gerais*, desenvolvido no mesmo laboratório, que contribui significativamente para a compreensão das dinâmicas ambientais e da vulnerabilidade do setor analisado.

Primeiramente, analisou-se possíveis erros nos vetores dos mapas que representam a altimetria, declividade e a expansão urbana para dois cenários, ano de 1984 e 2020. A projeção cartográfica adotada foi SIRGAS 2000, zona UTM 23S. Essa análise permitiu identificar as transformações espaciais no setor Colônia do Marçal ao longo de 36 anos.

O Mapa Expansão Urbana Setor Colônia do Marçal São João Del Rei - MG foi gerado a partir dos dados da plataforma OpenStreetMap que se baseia nos métodos Crowdsourcing e o Volunteered Geographic Information - Informação Geográfica Voluntária (VGI), que são respectivamente a otimização do fornecimento de dados para a criação de mapas, utilizando o trabalho em conjunto realizado por um grupo de pessoas que, virtualmente, mapeiam uma determinada área através do OpenStreetMap (GAMA et al., 2019) e o VGI usa uma fonte de dados gerados pelo esforço apenas de usuários voluntários a fim de descrever algum local de interesse (GOODCHILD, 2007). Inicialmente foram identificadas as feições mapeadas anteriormente, após foi realizado o mapeamento e a correção das feições que necessitavam de ser atualizadas na área de estudo. Com a conclusão dos edifícios mapeados no OpenStreetMap, foi feito o download dos dados do OpenStreetMap para o QGIS; realizando a correção da tabela de atributos, verificando e corrigindo possíveis erros e confirmando a veracidade das feições mapeadas no Setor Colônia do Marçal.

Para a elaboração do Mapa do Setor Colônia do Marçal - São João Del Rei Pontos de Inundações do ano 2023, foi realizado o planejamento dos voos no aplicativo Litch, disponível para sistemas Android e IOS, com a área de estudo definida, onde o cálculo dos parâmetros de voo se baseia nas informações do sensor e na resolução espacial final pretendida. Assim, foi utilizado neste trabalho, uma resolução espacial de 6cm com sobreposições de imageamentos longitudinais e laterais na ordem de 75% e 65%, respectivamente tendo em vista os seguintes parâmetros: velocidade a 8km/h, altitude do voo a 85 metros a partir do solo, tempo de voo máximo de 21 minutos, captura das fotos com intervalo de 5 segundos e posicionamento da câmera a 90°, conforme Figura 6.

Figura 6: Plano de Voo.



Fonte: Autor, 2023.

Após a execução do planejamento inicial, foi realizado o levantamento fotogramétrico no dia 05 abril de 2023 onde utilizamos um drone da marca DJI, modelo Mini 2, conforme demonstrado na Figura 7.

Figura 7: Drone DJI modelo Mini 2 SE



Fonte: dji.com/br/mini-2 2023.

O voo sobre a área de interesse, foi realizado dentro do que se chama de janela de voo que tem o seu início entre as nove e meia da manhã e as três e meia da tarde, em circunstâncias climáticas ideais, ou seja, um dia ensolarado e sem nuvens.

O processamento dos dados foi através do software OpenDroneMap é um sistema de código aberto para fotogrametria aérea desenvolvido por Piero Toffanin e Dakota Benjamin,

com contribuições de diversos outros desenvolvedores através da plataforma GitHub. O sistema integra software original com componentes de outros projetos de código aberto, como o sistema OpenSfM para structure from motion e o software de visão estéreo múltipla (SMVS, sigla em inglês) para a construção de modelos tridimensionais densos, empregado na síntese dos modelos de superfície (Digital Surface Models (DSMs)) necessários à geração dos ortofotos (Piatti; Lerma, 2014).

3 RESULTADOS

3.1 Resultados da Pesquisa Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica forneceu como base os fundamentos teóricos para a compreensão das relações entre urbanização, dinâmica hidrológica e vulnerabilidade ambiental. Autores como Baptista e Cardoso (2013), Costa (2006), e Almeida (2010) destacam que o risco de inundações urbanas resulta da interação entre fatores naturais e antrópicos, sendo a impermeabilização do solo um dos principais agravantes dos desastres hidrológicos.

As contribuições permitiram demonstrar a situação da Colônia do Marçal como exemplo representativo dos processos de urbanização desordenada em cidades médias brasileiras, em que a expansão urbana sobre áreas de várzea tem implicado perdas ambientais e sociais significativas.

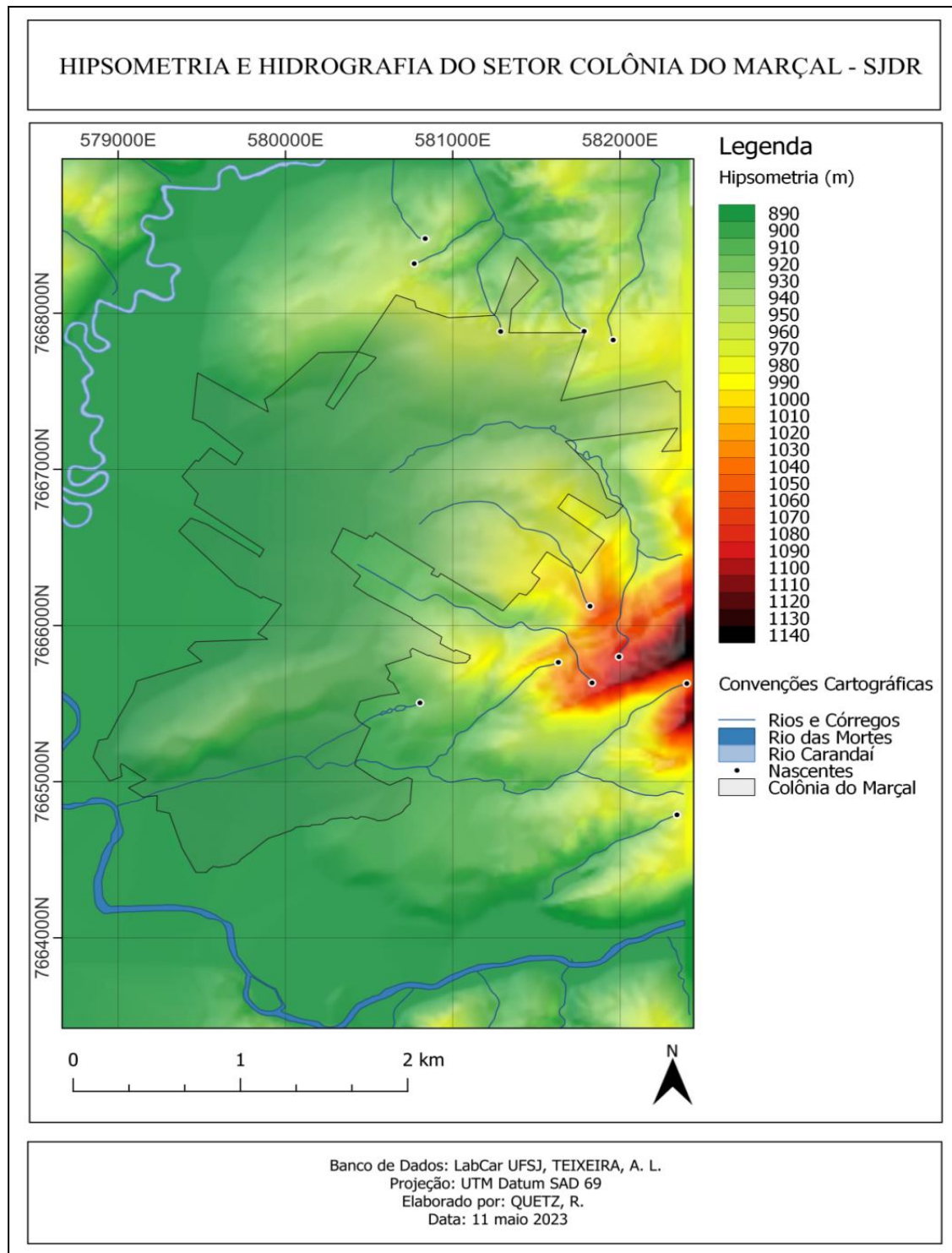
A literatura utilizada reforça que a ausência de planejamento urbano adequado, combinada à ocupação irregular e à falta de infraestrutura de drenagem, o que amplia a vulnerabilidade e diminui a capacidade de resiliência da rede urbana diante de eventos extremos.

Além da base teórica que também evidenciou a importância de compreender a evolução do uso e da cobertura da terra em perspectiva temporal, relacionando-a aos padrões de drenagem e declividade. Dessa forma, a pesquisa bibliográfica orientou o delineamento metodológico da investigação, fundamentando as análises cartográficas e espaciais.

3.2 Resultado da Pesquisa Cartográfica e Análise das Bases

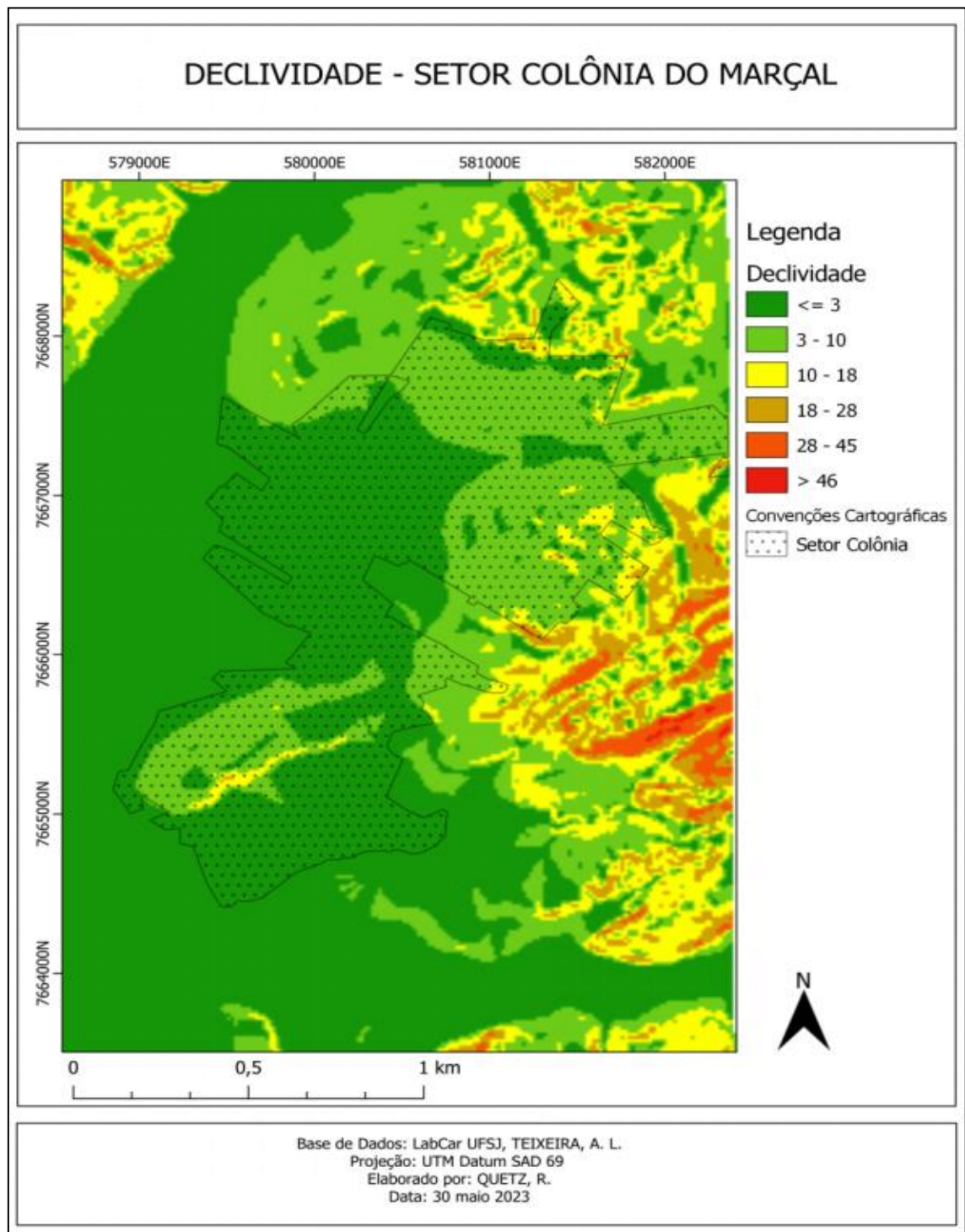
A base cartográfica elaborada por Teixeira (2021), a partir de cartas topográficas, imagens de satélite e inspeções de campo e validação a partir de dados sobre aspectos naturais e antrópicos deu confiabilidade aos mapas temáticos e foram fundamentais para a compreensão da configuração física e socioambiental do Setor Colônia do Marçal.

O Mapa Hipsométrico (Mapa 2) mostrou uma variação de alturas de cerca de 225 metros, desde a planície de inundação do Rio Carandaí até as regiões da Serra de São José. Essa diferença considerável de nível do terreno, combinada com a declividade predominante entre 0° e 9° (Mapa 3), apresentou obstáculos importantes para o escoamento da água da chuva, principalmente nas partes das encostas.



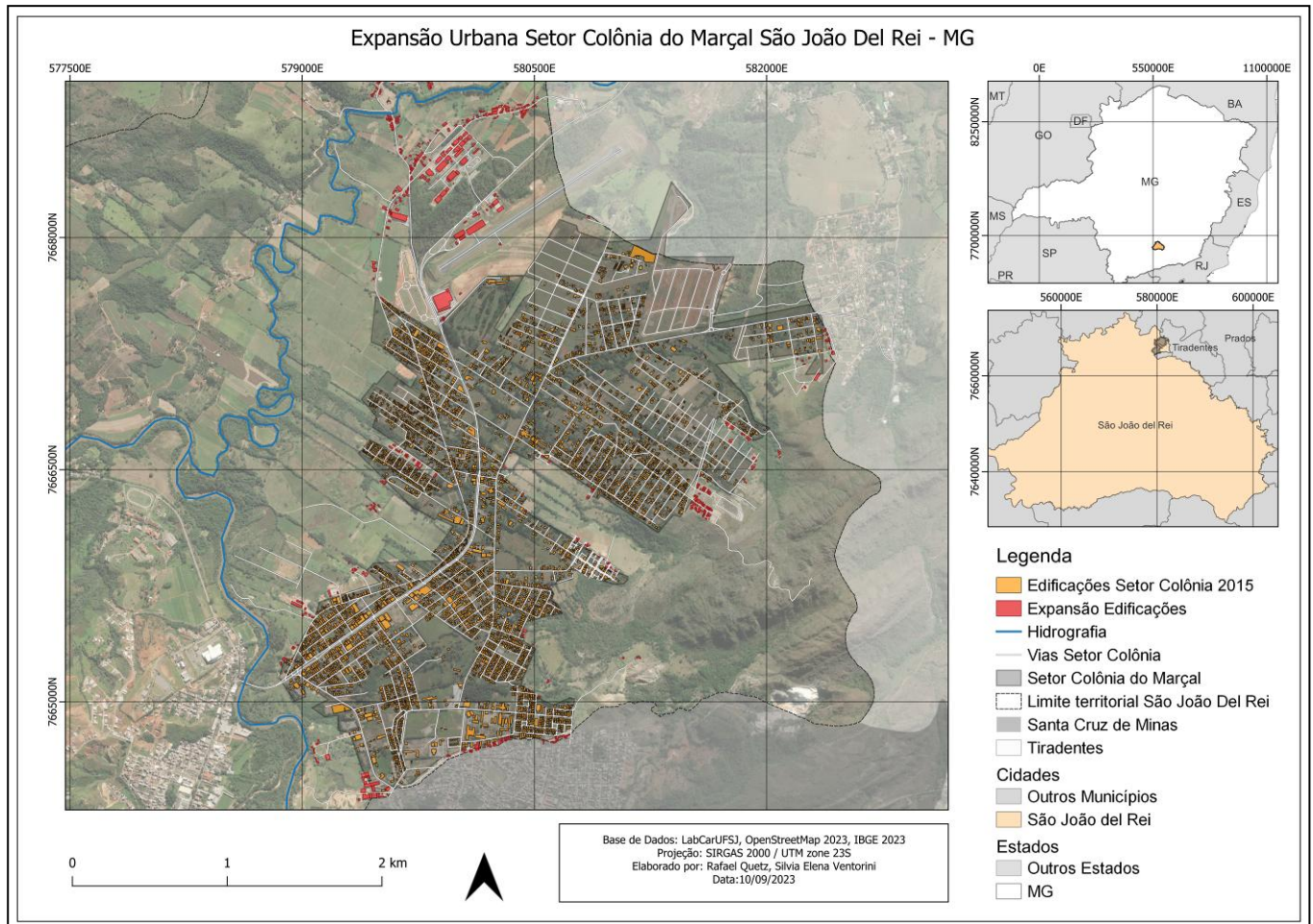
Mapa 2: Hipsometria e hidrografia do setor Colônia do Marçal -SJDR

Mapa 3: Declividade setor Colônia do Marçal - São João Del Rei



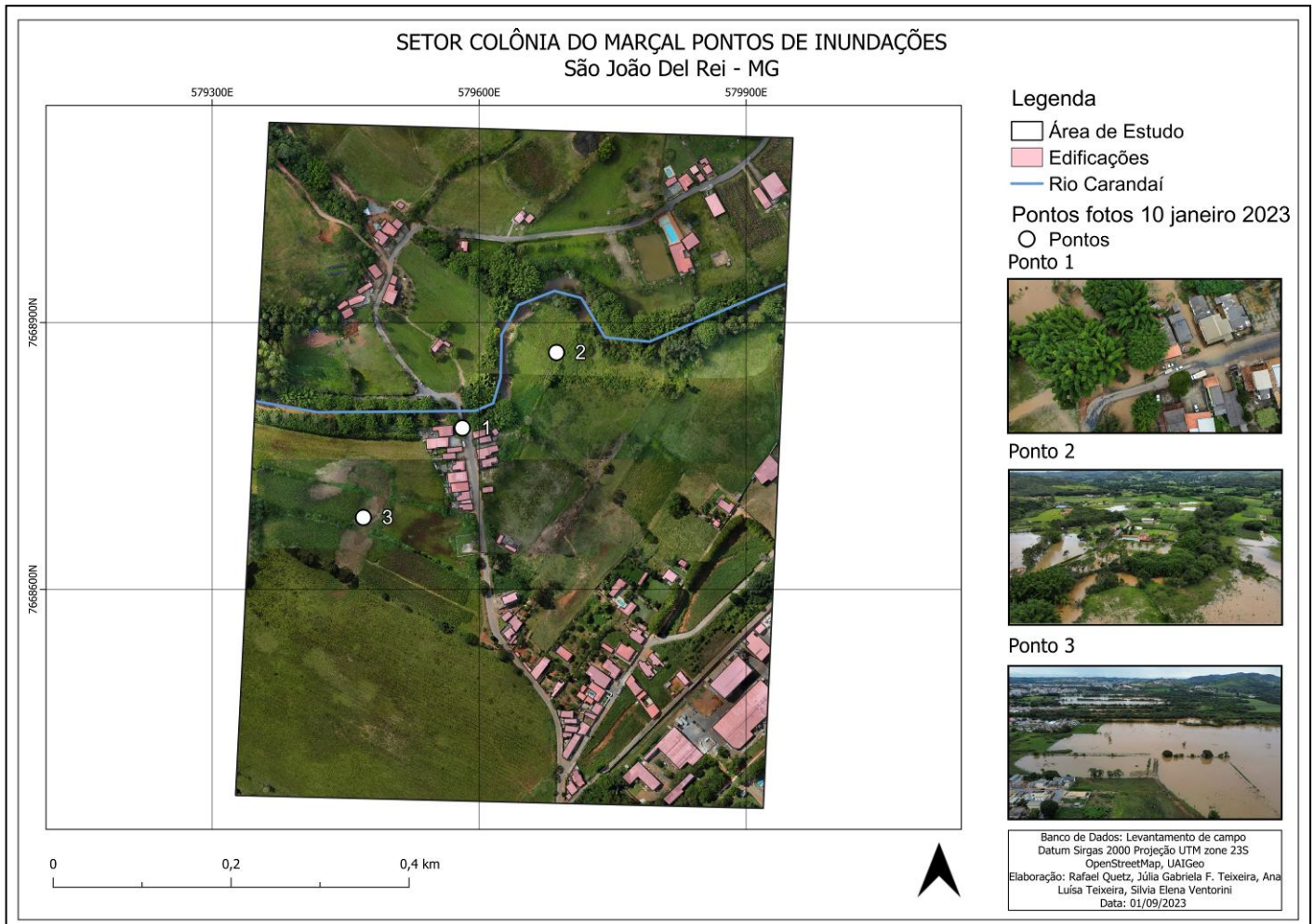
O Mapa de Expansão Urbana do Setor Colônia do Marçal (Mapa 5) mostrou que a mancha urbana está se expandindo em direção ao Rio Carandaí e à Serra de São José, ultrapassando os limites definidos no Plano de Contingência da Defesa Civil (SÃO JOÃO DEL-REI, 2015). Esse aumento da ocupação do território agrava o conflito entre o crescimento urbano e as características naturais do sistema hidrográfico local.

Mapa 4: Expansão Urbana Setor Colônia do Marçal São João Del Rei - MG



Já Mapa de Pontos de Inundação evidenciou que há uma ocorrência repetida de enchentes, principalmente durante os períodos de atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Por exemplo, em janeiro de 2023, foram registrados 511 mm de precipitação acumulada, de acordo com o INMET, o que resultou em alagamentos em regiões de alto risco e em áreas residenciais.

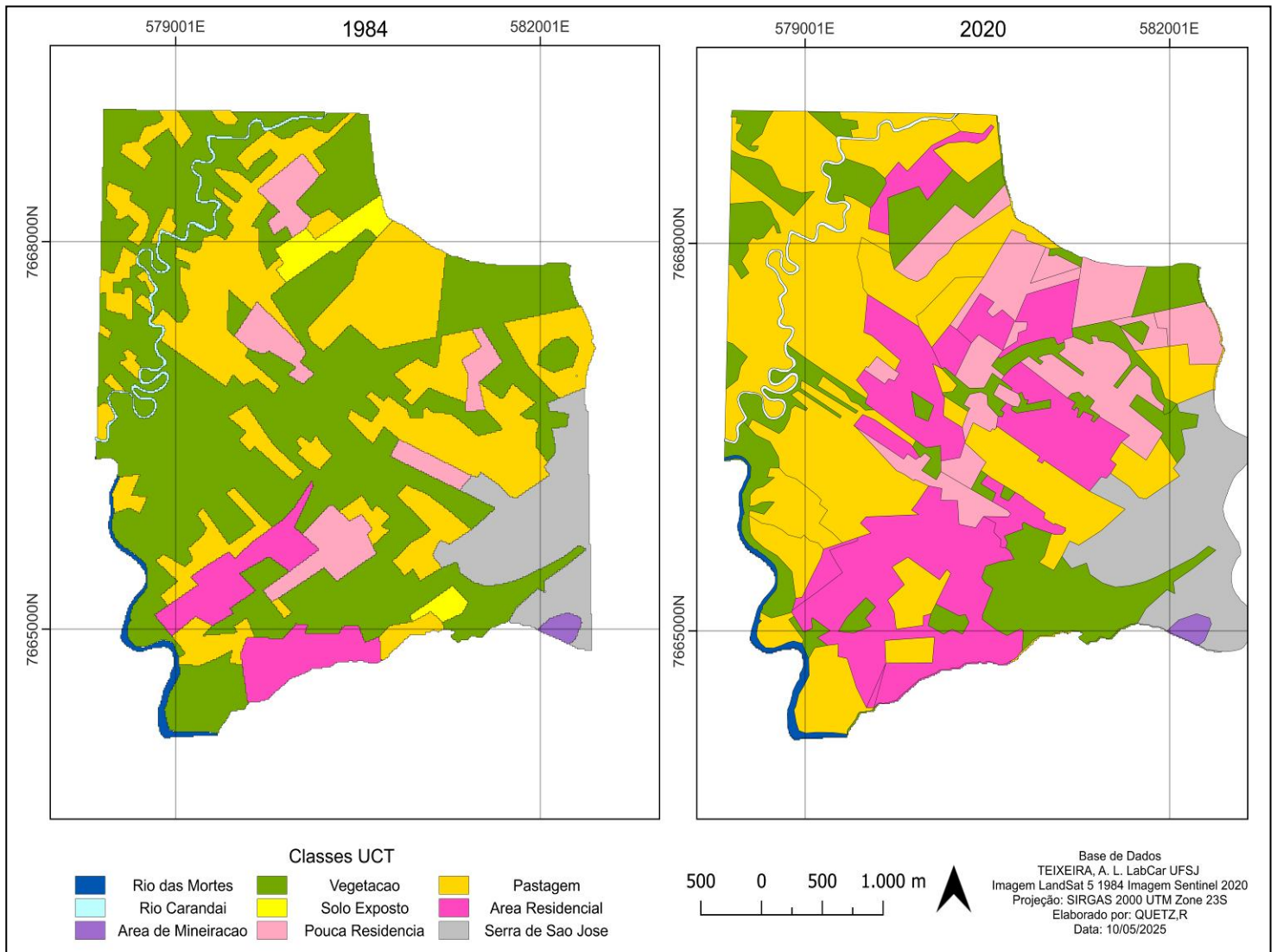
Mapa 5: Setor Colônia do Marçal - Pontos de Inundações.



Dessa forma, o mapeamento de áreas suscetíveis a inundações se torna uma ferramenta importante para as ações de prevenção, pois possibilita reconhecer, definir e avaliar os graus de risco desses eventos. A produção de mapas temáticos na forma digital torna mais simples a análise conjunta de fenômenos ligados à exposição, como alagamentos, inundações, erosões e deslizamentos de terra, entre outros (ZACHARIAS, 2007; SANTOS, VENTORINI, ALMEIDA, 2016; SANTOS, VENTORINI, 2017).

Assim, os dados revelam uma dinâmica de transformação espacial profundamente marcada pela urbanização desordenada. Entre 1984 e 2020, a Colônia do Marçal passou por intensa expansão da área residencial, sobretudo em direção à várzea e às porções mais baixas do terreno, tradicionalmente caracterizadas por baixa capacidade de drenagem.

Mapa 6: Uso e Cobertura da Terra do setor Colônia do Marçal - SJDR em 1984 e 2020.



Em 1984, na área de estudo, predominavam áreas de pastagem e vegetação, com os núcleos residenciais ainda em uma fase inicial de crescimento. O espaço urbano era pequeno, e as áreas com vegetação tinham uma função de absorção da água da chuva. Por sua vez, a análise das imagens de 2020 demonstram um avanço considerável no crescimento urbano, com a substituição de áreas vegetação por áreas residenciais. Essa transformação contribuiu para a impermeabilização do solo, resultando em um aumento do escoamento superficial.

A análise do uso e da cobertura da terra (UCT) no setor Colônia do Marçal, baseada nas imagens Landsat (1984) e Sentinel-2 (2020), mostra mudanças significativas no ambiente urbano e em suas vizinhanças.

O processo de desenvolvimento do território reflete um padrão típico de expansão urbana sobre áreas de várzea, que historicamente estão mais propensas a enchentes.

A Tabela 1 apresenta a distribuição das classes de Uso da Terra em hectares nos dois períodos analisados, permitindo analisar de forma comparativa as mudanças ao longo de 36 anos.

Tabela 1 – Uso e Cobertura da Terra no Setor Colônia do Marçal (1984–2020)

Classe de Uso da Terra	1984 (ha)	% 1984	2020 (ha)	% 2020	Variação (ha)
Vegetação	420	35,0%	250	20,8%	-170
Pastagem	500	41,7%	310	25,8%	-190
Solo exposto	80	6,7%	60	5,0%	-20
Área residencial consolidada	120	10,0%	470	39,2%	+350
Baixa densidade residencial	50	4,2%	90	7,5%	+40
Mineração	20	1,7%	30	2,5%	+10
Áreas protegidas (Serra e APPs)	10	0,8%	20	1,7%	+10
Total	1200	100%	1200	100%	—

Fonte: Elaboração própria a partir da classificação supervisionada das imagens Landsat (1984) e Sentinel-2 (2020).

Os dados revelam que entre 1984 e 2020 houve forte redução das áreas de vegetação (-170 ha) e de pastagens (-190 ha), ao mesmo tempo em que ocorreu expressivo aumento das áreas residenciais consolidadas (+350 ha) e de baixa densidade (+40 ha). Essa mudança mostra o processo de urbanização em áreas naturalmente sensíveis, com grande aumento da impermeabilização do solo e aumento do escoamento superficial. O solo exposto teve uma pequena redução (-20 hectares), o que pode estar relacionado à transformação dessas áreas em espaços urbanos já consolidados. As atividades de mineração, embora menos expressivas, apresentaram um crescimento modesto (+10 hectares), indicando a atuação humana sobre o território. Por outro lado, as áreas protegidas registraram um aumento pequeno (+10 hectares), resultado da presença da Serra de São José, apesar de essa expansão não ter compensado as perdas de vegetação no restante do Setor.

Do ponto de vista hidrológico e socioambiental, a substituição de 360 hectares de cobertura natural, composta por vegetação e pastagem, por áreas residenciais consolidadas constitui um dos principais fatores que contribuíram para o aumento das inundações no bairro.

Essa mudança ocorreu no mesmo período em que foram registrados diversos eventos críticos, entre os anos 2005, 2007, 2012, 2016, 2019, 2020 e 2023 mostrando a relação entre o crescimento urbano descontrolado e o aumento da frequência e severidade dos desastres.

Em 1984, com maior presença de vegetação e pastagens, havia relativa capacidade de infiltração e armazenamento de águas pluviais. Em 2020, a concentração de 39,2% do território em áreas residenciais consolidadas, somada a vias asfaltadas e ao traçado convergente para a Avenida Luiz Giarola, transformou o bairro em um espaço de alta vulnerabilidade. O sistema de drenagem existente, baseado em galerias de pequeno porte, é incapaz de atender à nova demanda hídrica, resultando em enchentes recorrentes.

Os resultados estão são correspondentes com estudos sobre urbanização e riscos hídricos no Brasil (BAPTISTA; CARDOSO, 2013; COSTA, 2006; CPRM, 2007), que apontam a impermeabilização do solo como elemento-chave na intensificação de inundações urbanas. Além de reforçar o conceito de que o risco não é apenas um fenômeno natural, mas produto da interação entre fatores físicos e sociais, com impactos diretos na vulnerabilidade da população (ALMEIDA, 2010).

Portanto, a análise comparativa entre 1984 e 2020 confirma que as transformações espaciais ocorridas na Colônia do Marçal não apenas reduziram a resiliência ambiental, mas também ampliaram de forma significativa os riscos socioambientais, tornando o bairro um dos pontos críticos de São João del-Rei no que se refere a inundações urbanas.

O processo de ocupação e o aumento da área residencial consolidada teve reflexo direto na recorrência de eventos de inundação, os registros históricos mostram que, entre 2005 e 2020, foram registrados pelo menos seis eventos relevantes no bairro, em anos como 2005, 2007, 2012, 2016, 2019 e 2020. Em 2005, chuvas intensas provocaram o alagamento da Avenida Luiz Giarola, atingindo residências e a Escola Estadual Brighenti Cesare. Dois anos depois, em 2007, uma enchente na mesma via causou uma morte por afogamento, revelando a gravidade do risco à vida humana. Em 2012, as chuvas comprometeram a mobilidade urbana ao interditar a ligação viária entre a Colônia do Marçal e o centro de São João del-Rei, enquanto em 2016 e 2019 os registros de enxurradas voltaram a evidenciar a deficiência estrutural da drenagem urbana. Em 2020, novamente, o bairro foi palco de inundações que atingiram residências e comércios, gerando prejuízos econômicos (FERREIRA et al., 2022).

Outro aspecto relevante é o regime pluviométrico local. Dados do INMET indicam que, em anos críticos como 2012, a precipitação acumulada entre dezembro e janeiro ultrapassou 950 mm (CAMPOS; COSTA; PEREIRA, 2014). Esse volume, aliado à impermeabilização crescente, intensifica o impacto das chuvas, resultando em enchentes

súbitas e de difícil manejo. A relação entre precipitação intensa e falhas no planejamento urbano reforça o conceito de desastre como produto da interação entre ameaças naturais e vulnerabilidade social (CPRM, 2007).

Dessa forma, os resultados demonstram que o risco de inundações na Colônia do Marçal é resultado da soma de fatores físicos (baixa declividade, solos mal drenados, regime pluviométrico intenso) e antrópicos (expansão urbana desordenada, impermeabilização do solo, deficiência de drenagem). O estudo evidencia, portanto, que a dinâmica de ocupação recente agravou uma vulnerabilidade que já era reconhecida historicamente, transformando a várzea em um espaço de recorrentes inundações.

A convergência das vias para a Avenida Luiz Giarola contribui para agravar o problema. O traçado urbano conduz naturalmente as águas pluviais para as porções mais baixas, concentrando os fluxos em pontos de represamento. A ausência de galerias pluviais de grande porte e a obstrução frequente de manilhas e canais agravam ainda mais a situação. Além disso, a baixa declividade do terreno (próxima a 1%) favorece o acúmulo de água e dificulta o escoamento, transformando a avenida em ponto crítico recorrente (DEFESA CIVIL, 2015).

As análises dos resultados revelaram que um dos principais agravantes para as inundações no Setor Colônia é a negligência em relação aos aspectos naturais ao longo do tempo. O processo de degradação, canalização e soterramento de córregos, juntamente com a impermeabilização do solo, torna a população vulnerável mesmo diante de chuvas de menor intensidade.

Dessa forma, esta pesquisa atendeu às questões iniciais que a motivaram, destacando a importância de uma base digital cartográfica confiável para o planejamento e a gestão de cidades. Além disso, a modelagem das áreas suscetíveis a inundações permite ao poder público administrar a expansão urbana de forma a mitigar os danos causados por esse fenômeno natural recorrente. Esses resultados ressaltam a relevância do planejamento e da prevenção como ferramentas essenciais na gestão de áreas propensas a inundações.

A análise histórica e espacial realizada neste estudo permite concluir que a Colônia do Marçal constitui um dos setores mais vulneráveis de São João del-Rei em relação ao risco de inundações. Essa vulnerabilidade decorre tanto de fatores naturais, relacionados à sua posição geográfica e às características de relevo e drenagem, quanto de fatores antrópicos, ligados à ocupação desordenada do solo urbano e à ausência de infraestrutura de drenagem eficiente.

A comparação entre 1984 e 2020 revela que a expansão da área residencial ocorreu sobre zonas de várzea, aumentando a impermeabilização e reduzindo a resiliência da

paisagem. Como consequência, episódios de chuvas intensas, que já eram comuns na dinâmica climática local, passaram a gerar inundações de grande impacto, resultando em perdas materiais, prejuízos econômicos, interrupções na mobilidade e, em casos mais graves, óbitos.

O estudo reforça a necessidade de uma abordagem integrada na gestão de riscos, contemplando tanto medidas estruturais quanto não estruturais. Entre as medidas estruturais, destacam-se: ampliação da rede de drenagem pluvial, instalação de reservatórios de retenção (piscinões), adoção de pavimentos permeáveis e criação de áreas de retenção de águas pluviais. Entre as não estruturais, recomenda-se: delimitação de áreas de risco e restrição de novas ocupações, implantação de parques lineares nas margens de córregos, fortalecimento da fiscalização ambiental e implementação de programas de educação comunitária sobre riscos e prevenção.

Portanto, a compreensão do uso e cobertura da terra em perspectiva histórica, aliada ao levantamento dos eventos de inundação, oferece subsídios essenciais para o planejamento urbano e a formulação de políticas públicas. A Colônia do Marçal ilustra como a urbanização desordenada pode transformar vulnerabilidades naturais em riscos socioambientais concretos, e como a gestão integrada do território é indispensável para a construção de cidades mais resilientes e sustentáveis.

A análise espaço-temporal demonstrou que, entre 1984 e 2020, cerca de 360 hectares de áreas naturais foram convertidos em espaços urbanos, intensificando o escoamento superficial e sobrecarregando a infraestrutura de drenagem existente. Esse processo coincide com os registros dos principais episódios de inundações recentes (2005, 2007, 2012, 2016, 2019 e 2020), confirmando a relação direta entre a expansão desordenada e a ampliação da vulnerabilidade socioambiental do bairro.

Por fim, o trabalho demonstra que a integração entre geotecnologias e levantamentos históricos constitui uma ferramenta poderosa para a análise de riscos hidrológicos urbanos. Essa abordagem não apenas favorece diagnósticos mais precisos, mas também fornece subsídios fundamentais para a formulação de políticas públicas alinhadas à realidade local, contribuindo para a construção de cidades mais resilientes e adaptadas às mudanças ambientais.

3.3 Geração dos mapas

O processo de criação dos mapas necessitou juntar várias fontes e métodos de geoprocessamento. O uso junto do software QGIS ajudou a tratar, relacionar com coordenadas e cruzar informações geográficas, resultando em uma base cartográfica digital atualizada. Essa base permitiu mostrar as mudanças no uso da terra ao longo do tempo, as alturas do terreno, as áreas com risco e os pontos onde há mais enchente.

Além disso, o estudo usou registros históricos e dados coletados no campo, unindo as informações para confirmar os resultados encontrados. Essa maneira de trabalhar foi fundamental e importante para entender como as mudanças no território estão ligadas à ocorrência repetida de inundações e enchentes.

3.4 Importância da metodologia utilizada

A metodologia empregada no trabalho provou ser eficiente e ao reunir dados geográficos, informações históricas e evidências obtidas em campo. A combinação de pesquisas bibliográficas, geotecnologia e mapas que demonstram a organização do espaço contribuiu para a compreensão das causas das inundações e enchentes no Setor Colônia do Marçal e como essa situação piorou ao longo do tempo.

O uso de imagens de satélite ao longo de vários anos permitiu elaborar análises precisas sobre o uso e a cobertura da terra. Além disso, o emprego de softwares gratuitos como QGIS e OpenDroneMap revela que esse método pode ser aplicado em outras cidades que não possuem uma base cartográfica consolidada.

Essa abordagem favorece a elaboração de políticas públicas voltadas para a prevenção e redução de riscos, oferecendo informações para identificar áreas de risco, auxiliar no planejamento urbano sustentável e definir ações a serem tomadas em caso de inundações e enchentes.

Por fim, a combinação de tecnologias geográficas com estudos históricos foi essencial para compreender a situação socioambiental da área de estudo, mostrando que o uso de mapas temáticos é fundamental para a gestão e planejamento de cidades de forma sustentável, especialmente em relação ao controle de riscos de inundações.

4 CONCLUSÃO

A pesquisa começou com as observações das inundações e enchentes recorrentes no Setor Colônia do Marçal durante o período de chuvas mais intensas. Aliada a uma falta de uma cartografia adequada e atualizada em São João Del Rei pra ajudar no planejamento e na gestão de risco, tornou-se a principal razão pra a realização desse estudo. É importante destacar que o Setor Colônia do Marçal teve um crescimento significativo na área urbana da cidade, oque aumentou a necessidade de investigação e do presente trabalho.

O objetivo foi mostrar a importância em mapear as áreas com maior risco de inundações, tanto no passado quanto no presente e auxiliar na gestão de riscos de inundações no Setor com sua expansão sem um plano adequado.

Na parte teórica, foi discutido como as alterações antrópicas no ambiente, tanto diretas como indiretas, afetam os rios e cursos d'água, e por consequência aumentam os riscos de inundações enchentes.

As investigações do estudo ajudaram a investigar os fatores que contribuíram para as inundações e enchentes no Setor. Também enfatiza o mapeamento e gestão de riscos de inundações para as prefeituras e entidades locais, principalmente em cidades de porte médio e pequeno que necessitam de planejamento urbano e mapas como São João Del Rei.

As análises dos resultados mostram que um dos principais problemas para as inundações na área de estudo foram as negligências em relação aos aspectos naturais ao longo do tempo no local. Os processos de canalização, soterramento, e degradação dos rios e córregos, aliado com a impermeabilização do solo, torna a população local vulnerável mesmo com chuvas de menor intensidade.

Além disso, o mapeamento e gestão de riscos de inundações, ajuda o poder público administrar a expansão urbana de maneira que evite danos causados por esses fenômenos que estão ocorrendo de forma recorrente.

Dessa forma, esta pesquisa respondeu as questões que a motivaram, mostrando a importância de uma base cartográfica digital confiável para o planejamento e gestão de riscos das cidades. Os resultados destacam a necessidade do planejamento e da prevenção como ferramentas essenciais para a gestão de riscos de áreas propensas as inundações.

As análises históricas e espaciais contidas neste trabalho permitem concluir que o Setor Colônia do Marçal é um dos setores mais vulneráveis de São João Del Rei em relação ao risco de inundações. Essa vulnerabilidade vem tanto de fatores naturais relacionados a sua

localização, relevo e drenagem, quanto de fatores antrópicos, como a ocupação do solo de forma desordenada e a falta de infraestrutura de drenagens eficientes.

O estudo demonstra a importância de ter uma abordagem completa a gestão de riscos, considerando tanto soluções estruturais ou não estruturais, entre soluções estruturais estão a construção e ampliação por todo o Setor da rede de drenagem pluvial, a instalação de locais de armazenamento de águas pluviais (chamados piscinões), além de utilizar pavimentações que facilitem permeabilização da água e também áreas de retenção. Já as soluções não estruturais incluem a definição e delimitação de áreas de risco, proibindo novas construções nesses locais, o reforço da fiscalização ambiental e a introdução de programas educacionais para a comunidade local sobre riscos de inundações e educação ambiental.

Sendo assim, entender como o uso da terra e sua cobertura foram alteradas ao longo do tempo, junto aos casos de inundações, ajudam no planejamento e ações a serem tomadas tanto quanto, na criação de políticas públicas específicas. O Setor Colônia do Marçal mostra claramente como uma urbanização sem planejamento pode transformar vulnerabilidades naturais em riscos reais para a comunidade local, também pela necessidade de ter uma boa gestão do território é essencial para a construção de cidades mais sustentáveis e resilientes.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Luciana. Riscos ambientais urbanos no Brasil. São Paulo: Contexto, 2010.
- ALLASIA, D. G. et al. Impactos da Impermeabilização Urbana sobre o Escoamento Superficial. Porto Alegre: UFRGS, 2000.
- ANDRADE, M. F. de. O tombamento dos bens arquitetônicos e urbanísticos de São João del-Rei: embates em torno da preservação e do progresso. 2013. 224 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2013.
- APA – Agência Portuguesa do Ambiente. Planos de Gestão das Regiões Hidrográficas. Lisboa, 2016.
- ASSUMPÇÃO, M.; MARÇAL, M. S. Gestão Integrada de Recursos Hídricos e Planejamento Urbano. São Paulo: IPT, 2012.
- AUMOND, J. J.; LOCH, C.; COMIN, J. J. Gestão Ambiental Urbana e Sustentabilidade. Florianópolis: UFSC, 2012.
- AUTORIDADE NACIONAL DE PROTEÇÃO CIVIL. Gestão do Risco de Inundação – Documento de Apoio a Boas Práticas. Lisboa, 2016.
- BAPTISTA, G. M.; CARDOSO, A. O. Gestão de riscos e desastres naturais: análise integrada com foco na realidade brasileira. Brasília: Universidade de Brasília, 2013.
- BAPTISTA, M. B.; CARDOSO, A. O. Hidrologia urbana no Brasil: desafios e perspectivas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 18, n. 1, p. 3–16, 2013.
- BARUQUI, Alfredo Melhem; NAIME, Uebi Jorge U.; MOTTA, Paulo Emílio Ferreira da; FILHO, Amaury de Carvalho. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da zona Campos das Vertentes. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/856021/1/bpd962006levantcamposvertentes.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2025.
- BARUQUI, F. M.; CAMPOS, A. R.; COSTA, R. D.; PEREIRA, M. A. A. Clima e recursos hídricos em Minas Gerais. Belo Horizonte: UFMG, 2006.
- BERTALANFFY, L. V. Teoria geral dos sistemas. Petrópolis: Vozes, 1977.
- BOTELHO, R. G. M. Geomorfologia Urbana e Planejamento Ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- BRAGA, R. Expansão urbana e mercado imobiliário: dinâmicas recentes nas cidades médias brasileiras. São Paulo: Annablume, 2001.
- BRASIL. Ministério do Turismo. Patrimônio cultural e turismo: orientações para gestores municipais. Brasília: MTur, 2014.
- BRASIL. Resolução CONAMA n.º 1, de 23 de janeiro de 1986. Brasília, 1986.
- CAMPOS, A. R.; COSTA, R. D.; PEREIRA, M. A. A. Clima urbano e vulnerabilidade socioambiental em cidades de médio porte. Belo Horizonte: UFMG, 2014.
- CAMPOS, Alan Cássio; COSTA, Julio Cezar; PEREIRA, Gabriel. Análise da precipitação no município de São João del-Rei (MG). Anais do I Simpósio Mineiro de Geografia, 2014.
- CARTER, J. G. Climate Change Adaptation in European Cities. London: Earthscan, 2007.
- CARVALHO, Jéssica Thais Nepomuceno; MAGALHÃES, Vanderlei Leopold. Classificação Supervisionada do QGIS e SPRING: Análise comparativa de Imagens Sentinel-2. SICITE – Simpósio de Ciências e Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019. Disponível em: <https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2019>.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia fluvial. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.
- COTA, D. A.; DIÓRIO, A. C. D. Crescimento urbano na “pequenamédia” São João Del Rei, MG: notas preliminares de uma pesquisa. In: XII Seminário Internacional Red Iberoamericana de Investigadores sobre Globalización y Territorio (RII), 2012, Belo Horizonte. Anais [...]. Belo Horizonte, 2012.

- COSTA, L. M. Hidrologia urbana e planejamento ambiental. Belo Horizonte: UFMG, 2006.
- COSTA, R. H. da. Risco e vulnerabilidade em áreas urbanas. São Paulo: Contexto, 2006.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Atlas de desastres naturais no Brasil: 1991–2000. Brasília: Ministério das Cidades, 2007.
- DEFESA CIVIL. Relatório de Ocorrências Hidrológicas – São João del-Rei (2004–2012). Belo Horizonte, 2015.
- DEFESA CIVIL – SÃO JOÃO DEL-REI. Plano de contingência de proteção e defesa civil. São João del-Rei, 2013.
- DEFESA CIVIL – SÃO JOÃO DEL-REI. Plano de contingência de proteção e defesa civil. São João del-Rei, 2015.
- DEFESA CIVIL MUNICIPAL DE SÃO JOÃO DEL-REI. Relatórios de Constatação e Plano de Contingência (2005–2020). São João del-Rei, MG.
- EHLG/IG. Planning System and Flood Risk Management Guidelines. Dublin, 2009.
- EYLES, N. Environmental Geology of Urban Areas. Geological Association of Canada, 1997.
- FERREIRA, André Barbosa Ribeiro; ZACHARIAS, Andréa Aparecida; CARDOZO, Francielle da Silva; FONSECA, Bráulio Magalhães. Levantamento histórico-geográfico dos eventos de inundação e deslizamentos na cidade de São João del-Rei no período de 1774 a 2021. *Ciência Geográfica*, v. XXVI, n. 4, p. 1734–1768, 2022. DOI: 10.57243/26755122.XXVI4001.
- FERREIRA, L. C.; VENTORINI, R.; ZACHARIAS, A. Inventário de inundações urbanas em São João del-Rei (2005-2020). São João del-Rei: UFSJ, 2022.
- FRANCI, F.; MANDANICI, E.; BITELLI, G. Hydrological risk assessment through GIS-based multicriteria analysis. *Natural Hazards*, v. 78, p. 147–163, 2015.
- FRANCI, F.; MANDANICI, E.; BITELLI, G. Urban Flood Risk and GIS Modelling. Bologna: University of Bologna, 2015.
- FREIRE, P.; TAVARES, A.; ALMEIDA, M. C. Avaliação e Gestão do Risco de Inundação em Contextos Urbanos. Coimbra: CES, 2015.
- FRITZEN, C. J.; BINDA, A. L. Gestão de Risco e Sustentabilidade Urbana. Porto Alegre: UFRGS, 2011.
- GAO, H.; ZHANG, L.; LI, Z.; CHEN, Y. GIS-based flood risk assessment in urban areas. *Water*, v. 10, n. 2, p. 1-15, 2018.
- GAZETA DE SÃO JOÃO DEL-REI. Chuvas inundam ruas na Colônia do Marçal. *Gazeta de São João del-Rei*, São João del-Rei, 8 nov. 2005.
- GIGOVIĆ, L. et al. GIS-Based Multi-Criteria Analysis for Flood Risk Mapping. *Environmental Earth Sciences*, v. 76, 2017.
- GIGOVIĆ, L.; PANTIĆ, M.; DRAGIĆEVIĆ, S.; PANTELIĆ, M. GIS-based multi-criteria analysis for flood susceptibility mapping. *Water Resources Management*, v. 31, p. 2613–2632, 2017.
- GIRÃO, O.; CORRÊA, R. A. Produção do Espaço Urbano. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.
- GIRÃO, O.; CORRÊA, R. L. O espaço urbano e suas transformações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.
- GUIMARÃES, Afonso de E. As enchentes de São João del-Rei. Belo Horizonte: Imprensa Oficial, 1963.
- GUIMARÃES, C. História de São João del-Rei. Belo Horizonte: Imprensa Oficial, 1963.
- HOANG, V. P.; TRAN, Q. H.; NGUYEN, T. Flood hazard mapping using GIS-based AHP and multicriteria decision analysis. *Journal of Hydrology*, v. 590, p. 125–138, 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Cidades: São João del-Rei – MG. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/sao-joao-del-rei/panorama>. Acesso em: ago. 2025.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manual técnico de uso da terra. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 170 p. (Coleção Ibgeana; Manuais técnicos em geociências, n. 7). ISBN 978-85-240-4307-9.
- IPHAN – SÃO JOÃO DEL-REI. História de São João del-Rei (MG). 2017. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/1497/>. Acesso em: 25 jan. 2020.
- ISO. ISO 31000:2009 – Risk Management – Principles and Guidelines. Geneva: International Organization for Standardization, 2009.
- LAET, J. P. Geografia histórica da bacia do Rio das Mortes. Belo Horizonte: Imprensa da UFMG, 1993.
- LAET, João Baptista. História de Minas Gerais: das capitanias à República. Belo Horizonte: Itatiaia, 1993.
- MALDOS, C. M. A cidade setecentista: formação urbana em Minas Gerais. Belo Horizonte: UFMG, 2000.
- MARCONDES, A. Rios e cidades: a história da relação sociedade-natureza. São Paulo: Edusp, 1999.
- MAUS, D.; RIGHES, A.; BURIOL, G. Efeitos da Impermeabilização no Escoamento Urbano. Santa Maria: UFSM, 2007.
- MDR; SEDEC; UFSC; CEPED. Atlas brasileiro de desastres naturais 1991–2020. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2022.
- MENESES, P. R.; SANO, E. E. Classificação pixel a pixel de imagens. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de (coords.). Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília: UNB; CNPq, 2012. p. 191-208.
- MINAS GERAES (Estado). Relatório da Comissão de Escolha da Nova Capital. Ouro Preto: Imprensa Oficial, 1893.
- MINAS GERAES. Relatórios da Comissão Geográfica sobre a Várzea do Marçal. Belo Horizonte, 1893.
- MOREIRA, R. et al. Urbanização e Recursos Hídricos: Impactos e Desafios. São Paulo: UNESP, 2014.
- OGATO, G. S.; ABOYE, C.; ADMASU, D.; JILO, N. Flood hazard and risk assessment using GIS and MCDA techniques. Remote Sensing, v. 12, p. 1-18, 2020.
- OLIVEIRA, G. C.; MARTINS, V. S.; FILHO, E. I. F.; XAVIER, F. V. Classificação supervisionada como ferramenta para avaliação da dinâmica do uso e cobertura do solo. Revista Enciclopédia Biosfera, v. 10, n. 18, p. 924-935, 2014.
- OWENS, P. N.; COWELL, D. Floodplain development and river behaviour: cumulative effects. Environmental Management, v. 30, n. 3, p. 391–406, 2002.
- PEREIRA, Heloisa H. O Rio das Mortes e a formação urbana de São João del-Rei. Revista de História Regional, v. 16, n. 2, p. 221–242, 2011.
- PEREIRA, J. R. O ouro e a formação urbana de Minas Gerais. Belo Horizonte: C/Arte, 2011.
- RAHMATI, O.; ZEINIVAND, H.; BESHARAT, M. Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multicriteria decision analysis. Natural Hazards, v. 75, p. 127–158, 2015.
- SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. International Journal of Services Sciences, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.
- SAATY, T. L. The Analytic Network Process. In: SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. Decision Making with the Analytic Network Process. Berlin: Springer, 2006. p. 1-26.
- SANDER, G. C.; PARSONS, A. J.; FOWLER, H. J.; FERNÁNDEZ-GARCÍA, C. Understanding river behaviour and anthropogenic impacts. Hydrological Processes, v. 26, p. 845–858, 2012.
- SANDER, G. C. et al. Hydrological Processes and Land Use Impacts. Journal of Hydrology, v. 460, 2012.
- SANTOS, T. G. Modelagem como apoio ao Planejamento Urbano Ambiental e a redução de

- riscos na bacia do córrego do Lenheiro. 2017. 112 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) – UFSJ, São João del-Rei, 2017.
- SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E.; ALMEIDA, G. P. Mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de enchentes e inundações na bacia do córrego do Lenheiro. In: SEABRA, G. (Org.). Terra – Paisagens, Solos, Biodiversidade e os Desafios para um Bom Viver. Ituiutaba: Barlavento, 2016. p. 1331-1341.
- STEVIC, D. et al. Automated identification of land cover type using multispectral satellite images. *Energy and Buildings*, v. 115, p. 131-137, 2016.
- TEIXEIRA, A. L.; Mapeamento de áreas suscetíveis às inundações no Setor Colônia do Marçal – São João del-Rei, Minas Gerais. 2021. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, 2021. Disponível em: https://www.ufsj.edu.br/bdgc/publicacoes_cartografia_digital.php
- TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. Inundações Urbanas no Brasil. Porto Alegre: ABRH, 2003.
- VALE, C. C. Teoria geral do sistema: histórico e correlações com a geografia e com o estudo da paisagem. *Entre-Lugar*, v. 3, n. 6, p. 85-108, 2012.
- VEYRET, Y. Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo: Contexto, 2007.
- ZACHARIAS, A. A. A representação gráfica das unidades de paisagem no zoneamento ambiental. São Paulo: Editora Unesp, 2010.
- ZACHARIAS, A. A.; TEIXEIRA, A. L.; VENTORINI, S. E.; FERREIRA, A. R.; SANTOS, T. G. A cartografia de síntese e as estruturas verticais e horizontais da paisagem em ambientes urbanos suscetíveis à inundação. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 41, p. 1-16, 2021.