

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE ENGENHARIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO PÚBLICA EM PROTEÇÃO E
DEFESA CIVIL

Luiz Eduardo Mengali

Mapeamento e análise do risco de inundação no Município de Poços de Caldas
(MG): um subsídio à construção da resiliência local

Juiz de Fora

2024

Luiz Eduardo Mengali

Mapeamento e análise do risco de inundação no Município de Poços de Caldas
(MG): um subsídio à construção da resiliência local

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização em Gestão Pública em Proteção e Defesa Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão Pública em Proteção e Defesa Civil. Área de concentração: Proteção e Defesa Civil.

Orientador: Prof. Dr. Christian Ricardo Ribeiro.

Juiz de Fora
2024

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Mengali, Luiz Eduardo .

Mapeamento e análise do risco de inundação no Município de Poços de Caldas(MG): um subsídio à construção da resiliência local / Luiz Eduardo Mengali. -- 2024.

92 f. : il.

Orientador: Christian Ricardo Ribeiro

Trabalho de Conclusão de Curso (especialização) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Especialização em Gestão Pública em Proteção e Defesa Civil, 2024.

1. Urbanização e ciclo hidrológico. 2. Inundações urbanas. 3. Geoprocessamento. 4. Mapeamento de risco. 5. Cidades resilientes. I. Ribeiro, Christian Ricardo, orient. II. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO PÚBLICA EM PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL

Ata da sessão pública referente à defesa do Trabalho de Conclusão de Curso, intitulado "Mapeamento e análise do risco de inundação no Município de Poços de Caldas (MG): um subsídio à construção da resiliência local" pelo discente Luiz Eduardo Mengali, matrícula 112960064, sob orientação do professor do curso Christian Ricardo Ribeiro.

Aos 06 dias do mês de junho do ano de 2024, às 10 horas, na modalidade virtual, reuniu-se a Banca Examinadora do TCC em epígrafe, com a seguinte composição:

Orientador: Dr. Christian Ricardo Ribeiro (UFABC).

Examinadora 1: Me. Cel. Alexandre Humia Casarim (CBMMG).

Examinadora 2: Dr. Celso Bandeira de Melo Ribeiro (UFJF).

Tendo o senhor Presidente declarado aberta a sessão, mediante o prévio exame do referido trabalho por parte de cada membro da Banca, o discente procedeu a apresentação de seu Trabalho de Conclusão de Curso de Pós-graduação lato sensu e foi submetido à arguição pela Banca Examinadora que, em seguida, com base na nota 10,0 calculada pela planilha de avaliação do curso, deliberou sobre o seguinte resultado:

Reprovação por nota (Conceito R)

Aprovação por nota (Conceito A).

Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Christian Ricardo Ribeiro, Usuário Externo**, em 25/07/2024, às 09:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Celso Bandeira de Melo Ribeiro, Professor(a)**, em 25/07/2024, às 10:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Humia Casarim, Usuário Externo**, em 25/07/2024, às 17:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1884656** e o código CRC **4E7D0225**.

Referência: Processo nº 23071.908703/2023-44

SEI nº 1884656

Dedico este trabalho a Deus, cuja presença me auxilia nas minhas escolhas, abrindo caminhos e dando-me confiança frente aos desafios e adversidades.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela saúde, força e determinação que me tem dado até os dias de hoje, “obrigado Senhor por esta luz e por me guiar em todos os momentos”.

À minha mãe, Isabel, por sua dedicação e amor incondicional, que me proporcionaram a melhor educação e apoio ao longo da minha vida. Sou eternamente grato por todo o cuidado e sacrifício em prol da minha formação e bem-estar.

À minha querida e amada esposa, Mayara, pelo apoio incondicional, pela paciência e por estar sempre ao meu lado nesta caminhada. Sou imensamente grato por sua presença constante e por todo o amor que me dedica.

Aos meus familiares e aos verdadeiros amigos que sempre torcem pelo meu sucesso ao longo dessa jornada.

Por fim, estendo meus sinceros agradecimentos ao meu orientador, Professor Christian Ricardo Ribeiro, pela inestimável colaboração e orientação ao longo de todo o processo. Seus conselhos e apoio foram fundamentais para a elaboração bem-sucedida deste trabalho acadêmico.

Em todo o mundo, nações enfrentam desastres relacionados com fenômenos naturais, os quais provocam perdas diversas. Nesse sentido, é fundamental a elaboração de ações de Redução dos Riscos de Desastres (RRD), dentre as quais pode-se citar a estimativa de áreas suscetíveis a risco de desastres por inundação (QUEIROGA *et al.*, 2023, p. 1).

RESUMO

Com o crescimento da urbanização, os impactos ambientais foram se intensificando ao longo dos anos. Durante os períodos de intensa atividades pluviométricas são frequentes as notícias de desastres relacionados a inundações. Nesta temática o presente trabalho tem como objetivo geral mapear e analisar os riscos de inundação presentes no município de Poços de Caldas (MG). Dentro dessa problemática, surge a seguinte questão norteadora: quais são os riscos de inundação do município e como minimizá-los na busca da construção de uma resiliência local?

A partir da questão posta, o que se propôs neste trabalho foi realizar um mapeamento do risco de inundação no município, a fim de descobrir as áreas vulneráveis, associadas a esses riscos, para possibilitar o planejamento de ações mitigadoras capazes de minimizá-los, visando à construção de uma resiliência local. Nesse sentido, o trabalho consistiu em compreender e associar as variáveis relacionadas às condições de declividade e hipsometria do relevo; pedologia; uso e cobertura da terra; dentre outros elementos, que são de fundamental importância para a elaboração do mapeamento de risco. De modo específico foram elaborados os mapas temáticos do município de Poços de Caldas/MG, no formato de dados vetoriais e matriciais, para serem associados, em camadas, com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento e do método de análise hierárquica (AHP), que correlacionou os dados dos mapas temáticos para o desenvolvimento do mapeamento de risco. Com o mapeamento de risco foi possível realizar a análise das vulnerabilidades do município relacionadas ao risco de inundação. Os resultados da análise demonstraram que o município possui mais áreas de médio-risco seguidas de alto-médio risco, do que áreas de médio-baixo risco, altíssimo-alto risco e baixíssimo-baixo risco. Diante destes resultados, é necessária a busca da formulação de ações mitigadoras, que colaborem para reduzir esses riscos e construa uma resiliência local.

Palavras-chave: Urbanização e ciclo hidrológico. Inundações urbanas. Geoprocessamento. Mapeamento de risco. Cidades resilientes. Poços de Caldas.

ABSTRACT

With the growth of urbanization, environmental impacts have intensified over the years. During periods of intense rainfall, news of flood-related disasters becomes frequent. In this context, the present work has, as a general objective the mapping and analysing flood risks in the municipality of Poços de Caldas(MG). Within this problem, the following guiding question arises: what are the flood risks in the municipality and how can they be minimized in the pursuit of building local resilience?

From the posed question, the aim of this study was to conduct a flood risk mapping in the municipality in order to identify vulnerable areas associated with these risks, enabling the planning of mitigating actions capable of minimizing them, aiming at the construction of local resilience. In this sense, the study consisted of understanding and associating the variables related to slope and hypsometry conditions of the terrain; pedology; land use and cover; among other elements, which are of fundamental importance for the elaboration of risk mapping. Specifically, thematic maps of the city of Poços de Caldas/MG were elaborated in both vector and raster data formats, to be associated in layers using geoprocessing tools and the Analytical Hierarchy Process (AHP) method, which correlated the data from the thematic maps for the development of risk mapping. Through the risk mapping, it was possible to analyze the municipality's vulnerabilities related to flood risk. The analysis results showed that the municipality has more areas of medium risk followed by high-medium risk, than areas of medium-low risk, very high-high risk and very low-low risk. Given these results, it is necessary to seek the formulation of mitigating actions that contribute to reducing these risks and building local resilience.

Keywords: Urbanization and hydrological cycle. Urban floods. Geoprocessing. Risk mapping. Resilient cities. Poços de Caldas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Ciclo hidrológico.....	17
Figura 2	– Esquema representativo de uma bacia hidrográfica.....	18
Figura 3	– Processo de urbanização a montante.....	20
Figura 4	– Características dos leitos de um rio.....	21
Figura 5	– Efeito da pavimentação sobre o ciclo hidrológico.....	23
Figura 6	– Obstrução e resíduos no sistema de drenagem.....	24
Figura 7	– Processos de enchente, inundação e alagamento.....	25
Figura 8	– Enxurrada.....	26
Quadro 1	– Geotecnologias.....	27
Figura 9	– Arquitetura básica do SIG.....	31
Figura 10	– Zonas susceptíveis à inundação.....	35
Gráfico 1	– Valores gastos entre 1995 e 2019, nos pós desastre.....	36
Mapa 1	– Da área de estudo.....	46
Quadro 2	– Dados dos mapas temáticos de pedologia e uso e ocupação da terra.....	47
Fluxograma 1	– Comandos para elaboração do mapa de declividade.....	48
Quadro 3	– Tipos e características dos solos encontrados no município.....	48
Quadro 4	– Categorias de pedologia e níveis de impermeabilização.....	49
Quadro 5	– Descrição das classes de uso e cobertura da terra do município.....	50
Quadro 6	– Classes de uso e cobertura da terra relacionada ao seu grau de impermeabilização.....	51
Fluxograma 2	– Comandos para reclassificar as altitudes no <i>ArcGIS</i>	52
Fluxograma 3	– Comandos para reclassificar os mapas temáticos.....	53
Quadro 7	– Categorias de pedologia e respectivos pesos atribuídos quanto ao grau de suscetibilidade à inundação.....	54
Quadro 8	– Categorias de uso e cobertura da terra e respectivos pesos atribuídos quanto ao grau de suscetibilidade à inundação.....	54
Quadro 9	– Faixas de altitude e respectivos pesos atribuídos quanto ao grau de suscetibilidade à inundação.....	55
Quadro 10	– Faixas de declividade e respectivos pesos atribuídos quanto	

	ao grau de suscetibilidade à inundação.....	55
Quadro 11	– Organização dos elementos a serem julgados (1º Passo).....	56
Quadro 12	– Matriz de nível hierárquico de Saaty (1977) (2º Passo).....	57
Quadro 13	– Montagem da matriz de comparação (3º Passo).....	57
Quadro 14	– Montagem da matriz de comparação (4º Passo).....	58
Quadro 15	– Resultado da divisão dos fatores pela soma (5º Passo).....	58
Quadro 16	– Pesos médios para elaboração do mapa de risco de inundação.....	59
Quadro 17	– Valores de consistência aleatória (CA) em função da ordem da matriz (n).....	60
Quadro 18	– Equação para elaboração do mapa de risco a inundação da área de estudo.....	61
Figura 11	– Calculadora <i>raster</i>	61
Mapa 2	– Hipsometria.....	64
Mapa 3	– Declividade.....	66
Mapa 4	– Pedologia.....	68
Mapa 5	– Uso e cobertura da terra.....	71
Mapa 6	– Risco de inundação.....	74
Mapa 7	– Logradouros no centro do município em áreas classificadas como de alto-médio risco de inundação.....	75
Mapa 8	– Localização do município de Poços de Caldas.....	84
Mapa 9	– Locais da zona urbana do município de Poços de Caldas em áreas de alto-médio risco de inundação.....	85
Fotografia 1	- Inundação na Avenida João Pinheiro próximo à antiga ponte de acesso à Rua Gama Cruz – Ano: 1925.....	86
Fotografia 2	- Inundação na Avenida João Pinheiro – Ano: 1925.....	86
Fotografia 3	- Alagamento na antiga Rua Marquês de Paraná atual Rua Assis Figueredo – Ano: 1926.....	87
Fotografia 4	- Alagamento na antiga Rua Marquês de Paraná atual Rua Assis Figueredo, próximo à Rua Prefeito Chagas – Ano: 1926.....	87
Relatório 1	- Da COMPDEC de Poços de Caldas sobre à inundação de 19/01/2016.....	88
Recorte 1	- Reportagem sobre à inundação no município em 19/01/2016.....	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP	Analytic Hierarchy Process
ASF	Alaska Satellite Facility
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
COMPDEC	Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil
CEMADEM	Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais
CEPED	Centro de Estudos e Pesquisa em Engenharia e Defesa Civil
EARTHDATA	Dados da Terra
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESRI	Environmental Systems Research Institute
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISDR	International Strategy for Disaster
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDR	Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional
NASA	Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço dos Estados Unidos
ONU	Organização das Nações Unidas
PMPC	Prefeitura Municipal de Poços de Caldas
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
SciELO	Scientific Electronic Library Online
SEDEC	Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil

SIG	Sistema de Informação Geográfica
SISEMA	Sistema Estadual do Meio Ambiente
UNDRR	Escritório das Nações Unidas para a Redução de Riscos de Desastres
UNISDR	Estratégia Internacional das Nações Unidas para Redução de Desastre
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

LISTA DE SÍMBOLOS

RC	Razão de consistência
IC	Índice de inconsistência
N	Ordem da matriz
λ_{\max}	Maior autovalor da matriz
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 URBANIZAÇÃO E CICLO HIDROLÓGICO	16
2.2 INUNDAÇÕES URBANAS	20
2.3 GEOPROCESSAMENTO	26
2.4 MAPEAMENTO DE RISCO.....	32
2.5 CIDADES RESILIENTES.....	36
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	44
3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DO MUNICÍPIO.....	44
3.2 PRIMEIRA ETAPA: ELABORAÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS.....	47
3.3 SEGUNDA ETAPA: RECLASSIFICAÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS	53
3.4 TERCEIRA ETAPA: APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP	56
3.5 QUARTA ETAPA: ELABORAÇÃO DO MAPA DE RISCO DE INUNDAÇÃO ...	61
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
4.1 ANÁLISE DOS MAPAS TEMÁTICOS	62
4.1.1 Mapa de hipsometria	62
4.1.2 Mapa de declividade	65
4.1.3 Mapa de pedologia	67
4.1.4 Mapa de uso e cobertura da terra	69
4.2 ANÁLISE DO MAPA DE RISCO DE INUNDAÇÃO	72
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
REFERÊNCIAS	78
APÊNDICE A – Mapa de localização da área de estudo	84
APÊNDICE B – Mapa de áreas da zona urbana classificadas como alto-médio risco	85
ANEXO A - Fotografias de inundações que ocorreram em Poços de Caldas/MG na data de 25/01/1925	86
ANEXO B – Fotografias de alagamentos em Poços de Caldas/MG no ano de 1926	87
ANEXO C – Cópia do relatório da COMPDEC de Poços de Caldas/MG sobre à inundação de 19/01/2016	88
ANEXO D – Reportagem sobre à inundação em Poços de Caldas/MG no dia 19/01/2016	89

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, a urbanização vem transformando as paisagens naturais das regiões nas quais se desenvolve. Essas transformações, quando realizadas de forma desordenada, modificam o meio ambiente, propiciando o surgimento de ameaças, que colocam em risco a vida das pessoas que habitam essas regiões modificadas. No mundo, o fenômeno da urbanização intensificou-se, a partir do começo do século XX, devido ao encantamento pelo urbano, motivado pela industrialização e o capitalismo, que proporcionava melhores condições de vida aos cidadãos, assim como oportunidades de trabalho e estudo (OLIVA e GIANANTE, 1995).

No Brasil, a urbanização se intensificou a partir da década de 1970, quando a população urbana superou a população rural (VIEIRA *et al.*, 2017, p. 5.830). Atualmente, de acordo com os dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD, 2015), a maior parte da população brasileira - 84,72% - vive em áreas urbanas (IBGE, 2022).

Esta concentração de pessoas nas áreas urbanas possibilita, de acordo com Haughton e Hunter (1994), o desenvolvimento urbano, substituindo os ambientes naturais ou seminaturais por ambientes construídos, o que frequentemente resulta no direcionamento das águas pluviais e dos esgotos para os corpos d'água adjacentes aos canais de drenagem. Essas modificações do meio ambiente, provocadas pelo desenvolvimento urbano, quando ocorrem de forma desordenada, sem um planejamento adequado por parte da gestão pública, desencadeiam inúmeros problemas sociais, econômicos e ambientais para a sociedade que habita essas áreas.

Conforme afirmam Benini e Mediondo (2015), a urbanização, quando feita sem um planejamento, causa efeitos danosos ao ciclo hidrológico das áreas urbanas, provocando alterações significativas no escoamento superficial, na drenagem urbana, na cobertura vegetal e na permeabilidade do solo. Estas situações propiciam um aumento significativo no volume de água dos rios e ribeirões que passam pelos municípios, favorecendo o crescimento das ocorrências de inundações.

Segundo Tucci (2005), as inundações são alterações do ciclo hidrológico que ocorrem quando as águas dos rios, riachos e galerias pluviais saem do leito, devido

ao aumento do volume das águas pluviais, do escoamento superficial e da falta de capacidade de transporte desses sistemas, ocupando áreas adjacentes utilizadas pela população para moradia, transporte (ruas, rodovias e passeios), recreação, comércio, indústria, entre outras finalidades. Esses fenômenos naturais, quando não monitorados e controlados, provocam vários prejuízos, incluindo desde engarrafamentos e propagação de doenças até danos materiais e humanos.

Semelhante a outros municípios, Poços de Caldas, localizado na mesorregião do Sul e Sudoeste de Minas, teve um crescimento demográfico acelerado, que ocorreu entre as décadas de 1960 e 1990, resultando em um índice de urbanização da ordem de 94%, segundo dados da Prefeitura Municipal da cidade (PMPC, 2006, p.19). Esse aumento demográfico favoreceu a transformação dos ambientes naturais do município, possibilitando o surgimento de eventos adversos relacionados a inundações. Documentos históricos, tais como relatos fotográficos disponibilizados pelo Museu Histórico e Geográfico de Poços de Caldas (2024), demonstram que, desde a década de 1920, as inundações vêm provocando vários prejuízos ao município.

De acordo com relatórios da Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil (2016), em janeiro de 2016 o município sofreu mais uma vez com os efeitos adversos das inundações, que atingiram a sua área central, próxima aos Ribeirões Caldas e da Serra, além de moradias próximas ao Ribeirão Poços, na zona oeste do município. A referida inundação invadiu comércios, residências e veículos, ocasionando vários prejuízos e danos ao município.

Em função deste cenário, o presente estudo apresenta um mapeamento do município, baseado em técnicas de geoprocessamento, que cruzam as informações de mapas temáticos visando à criação de um mapa de risco de inundação, que poderá ser utilizado pelo município no zoneamento das suas áreas de risco.

O objetivo geral do trabalho foi mapear e analisar o risco de inundações no Município de Poços de Caldas (MG). Os objetivos específicos foram: a) demonstrar com auxílio das literaturas científicas as variáveis que influenciam o aumento da incidência das inundações, suas causas e meios para prevenção e mitigação de seus efeitos; b) elaborar e reclassificar os mapas temáticos de altimetria, declividade, uso e cobertura da terra e pedologia do Município de Poços de Caldas (MG), através das técnicas de geoprocessamento; c) utilizar o Método de Análise Hierárquica (AHP) e

as operações de álgebra nos mapas em ambientes SIG, para a geração do mapa de risco de inundação do Município de Poços de Caldas (MG); d) analisar a distribuição geográfica dos diferentes graus de risco a inundação presentes no município.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 URBANIZAÇÃO E CICLO HIDROLÓGICO

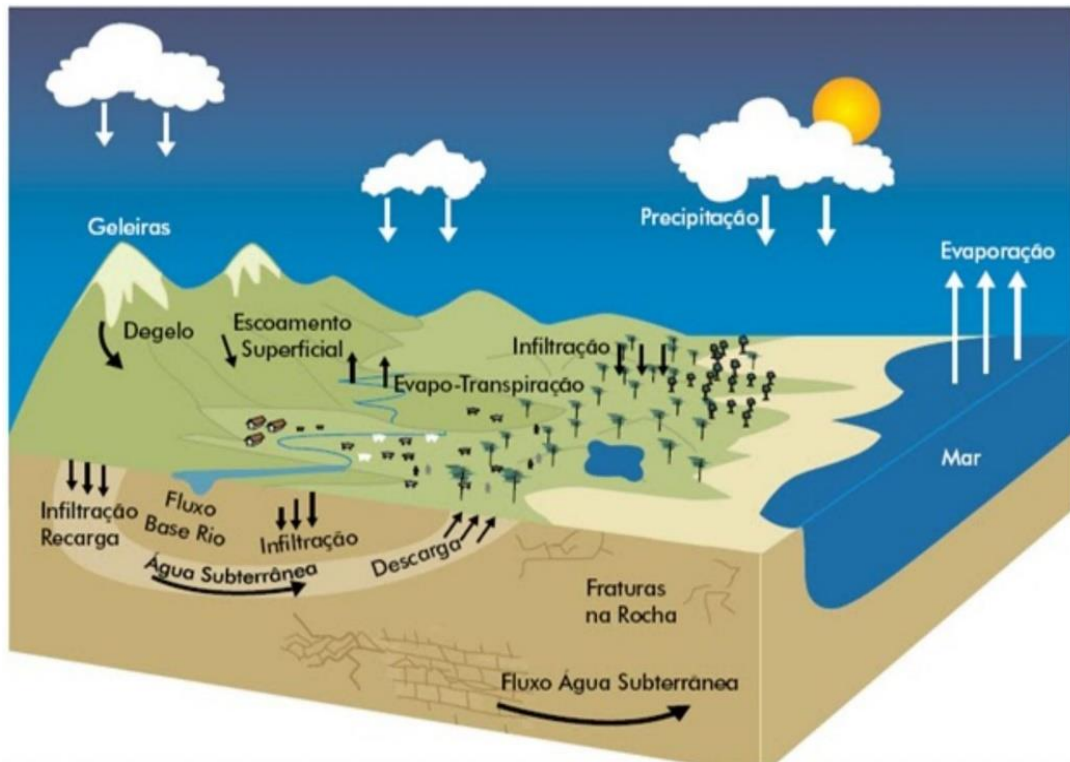
A urbanização é um fenômeno caracterizado pela alta concentração de indivíduos em um determinado espaço geográfico, à procura de melhores condições econômicas e sociais. Esse fenômeno teve uma aceleração significativa no Brasil, a partir da década de 1960, em função do avanço da industrialização (CASTELLS, 1983, p. 39). O aumento demográfico nas áreas urbanas fez com que surgisse a expansão da construção de prédios, ruas, praças e indústrias para suprir as necessidades desta população. No entanto, essas construções são frequentemente feitas sem um planejamento e acompanhamento do poder público, provocando vários problemas para o meio ambiente.

Corroborando com esse entendimento, Benini e Mediondo (2015) afirmam que o processo de urbanização, quando feito de forma desordenada e sem um planejamento prévio, aumenta a probabilidade de ocorrências relacionadas a inundações, enchentes, alagamentos, enxurradas e deslizamentos, colocando em risco a saúde e a vida humana. De acordo com dados do Escritório das Nações Unidas para Redução de Risco de Desastre (UNDRR, 2012, p. 10), os desastres relacionados a inundação, deslizamentos e ondas de calor são os que mais impactam os sistemas urbanos justamente por conta desta urbanização desordenada.

Como a urbanização altera espaços geográficos onde ocorre, é importante compreender que em todos esses espaços geográficos acontece o ciclo hidrológico, que é caracterizado pela circulação da água entre a atmosfera e a superfície terrestre (TUCCI, 1997, p.123). Durante o ciclo hidrológico, ocorrem diversas etapas que incluem a evaporação das águas dos oceanos e a evapotranspiração das águas existentes nas vegetações e na superfície terrestre, formando vapores d'água na atmosfera. Esses vapores se condensam para formar nuvens, que posteriormente liberam a água na forma de precipitação, como chuva, neve ou granizo. A água precipitada pode seguir diferentes caminhos: parte dela pode infiltrar-se no solo, alimentando aquíferos subterrâneos através da percolação; outra parte pode escoar pela superfície, formando rios, córregos e lagos; e outra parte pode evaporar e/ou evapotranspirar diretamente de volta para a atmosfera. Esse processo se repete continuamente, o que garante o equilíbrio hídrico na Terra (DA PAZ, 2004 e

TUCCI,1997). Na Figura 1, a seguir, podem-se observar as etapas presentes nesse ciclo.

Figura 1 - Ciclo hidrológico



Fonte: Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (2015).

A urbanização dos espaços geográficos sem um planejamento prévio pode modificar o ciclo hidrológico da região, o que favorece a probabilidade de ocorrências relacionadas a inundações.

De acordo com Tucci (2005), algumas ações antrópicas podem modificar o ciclo hidrológico, tais como: a retirada da cobertura vegetal para impermeabilizar o espaço geográfico, o que favorece a diminuição da transpiração, e conseqüentemente das precipitações; a impermeabilização e canalização de rios, o que favorece o aumento da vazão nas cheias (em até sete vezes), na sua frequência, como também diminuindo a evaporação; a ocupação das planícies de inundação, que favorece a ocorrência de inundações ribeirinhas; a impermeabilização do solo, que aumenta o volume e vazão do escoamento superficial, favorecendo o surgimento das enxurradas e também inibindo a percolação e ocasionando a diminuição do volume de água nos lençóis freáticos.

Para que o ciclo hidrológico aconteça, é necessário um mecanismo natural denominado de bacia hidrográfica. A bacia hidrográfica é uma área natural de captação das águas provenientes das precipitações atmosféricas e do degelo, que através da infiltração no solo e do escoamento superficial, são drenadas, convergindo para um único ponto de saída em comum, situado ao longo de um rio, riacho ou ribeirão (CAMPANHARO, 2010, p. 3).

Segundo Tucci (1997), as bacias são compostas por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água, que confluem até resultar em um leito único no seu exutório ou foz. Por serem as bacias hidrográficas responsáveis por receber e direcionar os processos que ocorrem durante o ciclo hidrológico, elas são utilizadas como unidades de gerenciamento territorial e sobre sua superfície desenvolve-se a maior parte das atividades humanas (CAMPANHARO, 2010, p. 3). Os elementos de uma bacia hidrográfica são mencionados na Figura 2, a seguir.

Figura 2 - Esquema representativo de uma bacia hidrográfica



Fonte: Comitê de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas do Complexo Hidrológico da Baía da Babitonga e Bacias Contíguas (2022).

Segundo Tonello *et al.* (2006, p. 850), “as características físicas e bióticas de uma bacia têm um importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando, dentre outros, a infiltração de água no solo, a evapotranspiração e o escoamento superficial e subsuperficial”. Quando a urbanização é realizada de forma desordenada, há a probabilidade de elevação das ocorrências de inundação, porque as características físicas e bióticas das bacias são modificadas, impedindo que o ciclo hidrológico aconteça de forma eficiente.

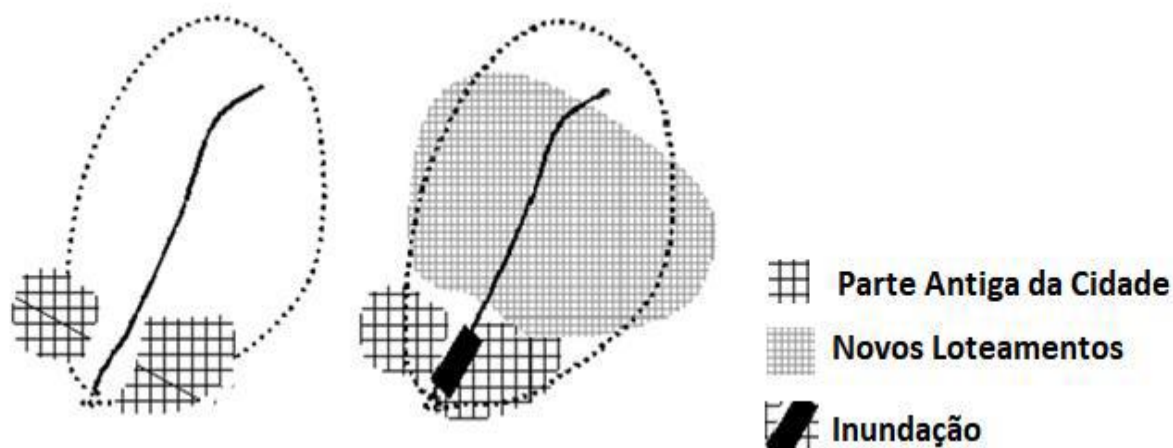
Existem três formas geométricas de bacias hidrográficas: as alongadas, as intermediárias e as circulares. As bacias de forma circular apresentam uma tendência de gerar picos de enchente mais elevados em relação às de forma intermediária e alongadas (VILLELA e MATTOS, 1975, p.13). Assim, as bacias de forma circular possuem uma característica física importante para os estudos relacionados à inundação, pois, pelo fato de receberem todo o fluxo de água em seu canal principal, geram picos de enchente mais elevados, tendendo a produzir inundações com mais frequência.

Nas bacias hidrográficas o sistema de drenagem é constituído pelo curso de água principal e seus tributários ou afluentes, e os índices utilizados para caracterizá-lo são a ordem dos cursos d’água e a densidade de drenagem (TONELLO *et al.* 2006, p. 851). A densidade de drenagem é um indicador influenciado pelas características superficiais do relevo e geológicas da bacia (TUCCI, 1997, p. 46-47). Este indicador permite avaliar a eficácia da drenagem de uma bacia, ou seja, a eficiência com que o escoamento superficial é deslocado até os cursos de água e posteriormente ao exutório da bacia (TUCCI, 1997, p. 46-47).

O fluxo da água nas bacias hidrográficas flui das áreas mais elevadas (a montante) para as áreas mais baixas (a jusante). Assim, com respeito à urbanização, Tucci (2005) relata que ela tende a ocorrer no sentido da jusante para montante, em áreas adjacentes aos sistemas de macrodrenagem urbana, devido às características do relevo. Essas áreas são as mais afetadas por enchentes e inundações, pelo fato de estarem localizadas nas partes mais baixas do relevo, próximas dos cursos d’água. Consequentemente, a urbanização de áreas a montante contribui para a diminuição da infiltração de água no solo e a transpiração da cobertura vegetal destas áreas, favorecendo também o aumento significativo do volume de água do escoamento superficial.

Tal volume irá se deslocar com maior velocidade das áreas a montantes para as áreas a jusante, ocasionado a ocorrência de inundações, conforme pode ser observado na Figura 3, apresentada a seguir.

Figura 3 - Processo de urbanização a montante



Fonte: Tucci (2003).

2.2 INUNDAÇÕES URBANAS

Para Alcántara Ayala (2002), a inundação se apresenta como um tipo de fenômeno natural, tendo como principal característica expor a riscos diferentes entidades e classes sociais. No entanto, estes riscos não se referem ao fenômeno natural em si, mas à junção dele com a atitude de exposição ao perigo. Como bem menciona Monteiro (1991, p. 8), “as enchentes não seriam danosas se o homem evitasse ocupar as planícies de inundação”. Isso reforça a importância de se realizar o mapeamento das áreas de riscos de inundação para prevenir possíveis desastres.

De acordo com a UNDRR (2012), as inundações representam um dos fenômenos naturais mais recorrentes no mundo, afetando numerosas populações em todos os continentes. No Brasil as inundações têm causado grandes desastres à população, principalmente em razão da ocupação desordenada no leito maior dos rios e da impermeabilização do solo nos municípios. Considera-se, portanto, que compreender os mecanismos de formação das inundações é essencial para propor medidas de redução dos impactos provenientes delas.

As inundações urbanas são divididas em dois tipos: inundações ribeirinhas e aquelas provocadas pelo processo de urbanização. Ambas são assim classificadas

em decorrência de suas causas. A primeira, intitulada como ribeirinha, ocorre nas margens dos cursos d'água, que são denominadas de leito maior. Periodicamente, nos períodos de cheias, essas áreas são inundadas em virtude de fatores geomorfológicos. No entanto, podem ocasionar prejuízos e danos a partir do momento em que a população invade esses espaços, para construir as suas moradias (TUCCI e BERTONI, 2003, p. 54-55).

Para facilitar a compreensão acerca das inundações ribeirinhas foi utilizada neste estudo a nomenclatura apresentada por Tucci (2005), que divide os cursos d'água naturais em dois leitos: o primeiro, denominado leito menor, por onde a água escoava na maior parte do tempo; e o segundo, chamado de leito maior, que é área a ser inundada durante os períodos naturais de cheias. (TUCCI, 2005, p. 18). Isto é mostrado na Figura 4, apresentada a seguir.

Figura 4 - Característica dos leitos de um rio



Fonte: Tucci e Bertoni (2003, p. 25).

Na figura 4 permite-se entender a configuração das inundações ribeirinhas, que ocorrem com pouca frequência, embora seja essa a característica que proporciona à população uma falsa ideia de normalidade. De posse dessa ilusão de normalidade, a população tende a adquirir confiança e menosprezar os perigos. Agindo assim, com destemor, elas ocupam imprudentemente áreas de risco, ou seja, áreas susceptíveis de inundação. Com esse comportamento, a população aumenta significativamente a sua vulnerabilidade frente à situação das enchentes, que assumem características,

cada vez maior, de alto potencial, tanto em relação aos danos materiais como humanos (TUCCI e BERTONI, 2003, p. 54-55).

As referidas ocupações tendem a ocorrer com mais frequência entre as populações mais carentes, que se encontram em situação de vulnerabilidade social, decorrente de uma conjuntura econômica desfavorável. Este fato faz com que elas ocupem áreas com alto risco de desastres. Diante desse cenário, as inundações ribeirinhas sempre provocam danos materiais e prejuízos, tanto de ordem econômica como social, que se repetem de forma constante, em decorrência das cheias que afetam as áreas urbanas, e que podem ser agravadas pelas mudanças climáticas (TUCCI e BERTONI, 2003, p. 54). É possível observar esses comportamentos em várias áreas urbanas. No entanto, tais ocupações de áreas impróprias para a moradia poderiam ser evitadas, por meio da elaboração de um planejamento estratégico, utilizando mapas de risco de inundação para o zoneamento urbano, sendo esse planejamento devidamente regulamentado no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano do município.

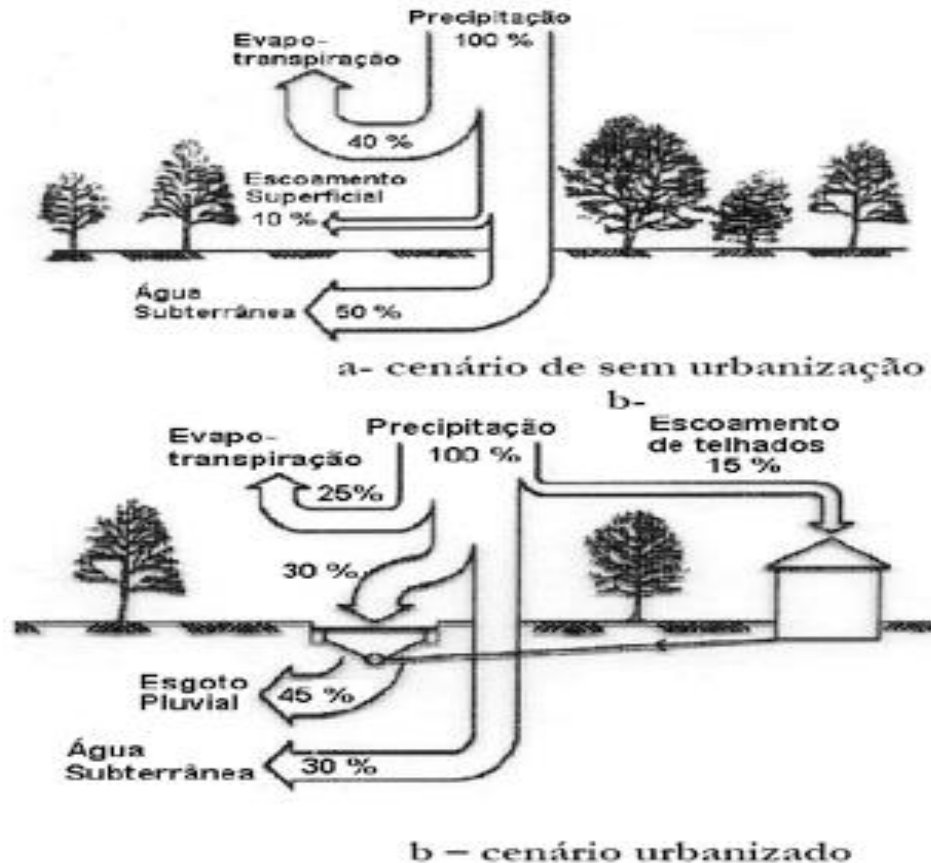
Já a segunda causa das inundações é relacionada ao processo de urbanização em virtude de cinco fatores que, de acordo com Tucci (2005), são: impermeabilização do solo; pavimentação de áreas permeáveis; canalização dos cursos d'água; aumento do escoamento superficial; e obstrução dos sistemas de micro e macrodrenagem. Esses fatores impedem que o ciclo hidrológico aconteça com eficiência, sobrecarregando o sistema de drenagem urbana e contribuindo para o aumento no volume de águas pluviais nas áreas a jusante.

O primeiro fator consiste na impermeabilização do solo provocada pelas construções de loteamentos em áreas a montante, pois a água que antes infiltrava no solo, passa a deslocar superficialmente pelos condutos do sistema de microdrenagem, com uma maior vazão. Este volume, que antes escoava lentamente pela superfície do solo e também se mantinha, em parte, retido na vegetação, passa a escoar pelos canais de drenagem urbana, exigindo uma crescente capacidade de escoamento desses canais (TUCCI, 2005).

Já o segundo fator consiste na substituição da cobertura vegetal do solo pela pavimentação, situação que provoca a redução da evapotranspiração. Uma vez impermeabilizada, esta superfície não retém água com a mesma qualidade que a cobertura vegetal, impedindo assim a ocorrência da transpiração nas folhagens e a

evaporação no solo (TUCCI, 2005). Conforme mostra a Figura 5, apresentada a seguir.

Figura 5 - Efeito da pavimentação sobre o ciclo hidrológico



Fonte: Tucci (2005).

O terceiro fator é a canalização dos rios, que impermeabiliza as áreas do leito maior, aumentando a velocidade do escoamento superficial e a carga de resíduos sólidos, transferindo os problemas das inundações de uma área do município para outra a jusante (TUCCI, 2005).

O quarto fator refere-se ao aumento do volume das águas pluviais, provocado pela impermeabilização do solo, aliado à sobrecarga do sistema de drenagem, os quais elevam a proporção de água pluvial escoada superficialmente. O referido aumento acelera a velocidade do escoamento superficial, reduzindo o seu tempo de deslocamento dos pontos mais elevados, para os mais baixos das cidades. Este é um fator que potencializa o risco de inundação nos locais a jusante, provocando também a ocorrência de enxurradas (TUCCI, 2005).

O quinto e último fator que favorece a ocorrência de inundações consiste na obstrução do deslocamento das águas pluviais nos sistemas de micro e de macrodrenagem urbana. Isso é causado por fatores tais como: o acúmulo de resíduos sólidos, a falta de limpeza do sistema de microdrenagem, a execução de projetos hidráulicos inadequados e a falta de manutenção do sistema de drenagem (TUCCI, 2005). Nesse sentido, a Figura 6, apresentada a seguir, ilustra essa obstrução.

Figura 6 - Obstrução e resíduos no sistema de drenagem



Fonte: Tucci (2005).

Nos municípios podem se formar quatro tipos de eventos relacionados à fenômenos hidrometeorológicos, que aumentam o volume das águas em deslocamento nos cursos d'água e nos sistemas de micro e de macrodrenagem urbanos.

O primeiro deles é a enchente, caracterizada como “uma elevação temporária da vazão dos cursos d'água que atingem a cota máxima do leito menor, sem extravasar para o leito maior, evento este que acontece nos períodos de cheia” (MCIDADES/IPT, 2007, p. 90).

O segundo, por sua vez, é a inundação, definida como uma “elevação temporária da vazão das águas pluviais, que ultrapassam a capacidade de descarga de um curso d’água, atingindo áreas adjacentes denominadas de planícies de inundação, habitualmente não ocupadas pelas águas pluviais” (MCIDADES/IPT, 2007, p. 91).

O terceiro refere-se ao alagamento, caracterizado como um “acúmulo momentâneo de água em uma determinada área, causado por problemas relacionados a ineficiência da capacidade de escoamento no sistema de drenagem urbana da área alagada” (MCIDADES/IPT, 2007, p. 93).

O quarto e último evento é a enxurrada que se caracteriza como o “escorregamento superficial concentrado com alta energia de transporte, o que pode ou não estar associado a áreas com processos fluviais” (MCIDADES/IPT, 2007, p. 94). Os tipos de eventos mencionados acima são ilustrados nas Figura 7 e Figura 8 apresentadas a seguir.

Figura 7 - Processos de enchente, inundação e alagamento



Fonte: MCIDADES/IPT (2007) e Defesa Civil de São Bernardo do Campos/SP (2011).

Figura 8 - Enxurrada



Fonte: Serviço Nacional de Proteção Civil e Bombeiros dos Açores em Portugal (2020).

Compreender os tipos de inundação, as suas causas e a configuração de como acontece cada evento relacionado a inundação nos municípios é fundamental para a elaboração de medidas voltadas para a prevenção, delimitando as áreas propensas a inundações, em função do grau de risco admissível em cada uma delas. A criação deste zoneamento é propiciada através da elaboração de mapas de risco a inundações utilizando as ferramentas do geoprocessamento.

2.3 GEOPROCESSAMENTO

O Geoprocessamento pode ser definido como sendo o emprego de uma ou várias tecnologias para o tratamento e a manipulação de dados georreferenciados, que possibilitam a construção de informações geoespaciais relevantes para o desenvolvimento de estudos geográficos sobre uma região, tais como mapas cartográficos, mapas tectônicos, modelos digitais de elevação, cartas topográficas, mapeamento de bacias hidrográficas, dentre outras informações geoespaciais (FITZ,

2010, p. 24). Trata-se de uma ferramenta importante que permite processar os dados georreferenciados de uma região, para identificar suas características e os possíveis sinais de vulnerabilidade nessa superfície, e assim catalogá-los através de cores, formas e legendas, para criar informações indispensáveis ao desenvolvimento de políticas públicas de gestão de riscos de desastre e construção de uma resiliência local.

De acordo com Rocha (2007), o advento da informática possibilitou aprimorar as técnicas de captura, armazenamento e processamento de dados geográficos, visando à criação de informações espaciais com maior praticidade e eficiência. A ligação técnica e conceitual dessas ferramentas, denominadas de geotecnologias culminou no aprimoramento do geoprocessamento. Tendo como parâmetro as ideias do referido autor, Fitz (2010) relata que, atualmente, para realizar o geoprocessamento de dados espaciais de forma rápida e prática, são utilizadas as geotecnologias, que são novas tecnologias ligadas às geociências constituídas por sistemas matemáticos, *hardware* e *softwares* computacionais de coleta, armazenamento, análise e tratamento de dados georreferenciados. Esses dados podem ou não interagir entre si, a critério do usuário que os utiliza, para o desenvolvimento de estudos relacionados aos espaços geográficos.

Diante dessa afirmação, compreende-se que as geotecnologias são definidas como um subconjunto do geoprocessamento, caracterizado como um método de tratamento de dados georreferenciados. Já as geotecnologias são os instrumentos empregados para realizar este método de forma ágil, prática e precisa.

Existem diversas geotecnologias que podem ser utilizadas como instrumento de coleta e tratamento de dados georreferenciados na busca do desenvolvimento de informações geoespaciais. No Quadro 1, a seguir estão descritas as geotecnologias mais utilizadas para esse objetivo.

Quadro 1 - Geotecnologias

Nomenclatura	Definição
Cartografia Digital (CD)	São um conjunto de ferramentas, softwares e hardwares desenvolvidos para edição, manipulação, armazenamento e visualização de dados geoespaciais. Seu objetivo é representar a realidade geográfica por computação.

Sensoriamento remoto (SR)	São dispositivos de aplicação colocados em aeronaves, drones ou satélites, que permitem obter informações sobre objetos ou fenômenos na superfície da Terra, sem contato físico direto com eles.
Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS)	São conjuntos de sistemas que possibilitam a navegação e posicionamento de um elemento na Terra. Para tal, é tomada, como referência, uma constelação de satélites de recobrimento global. Ela permite determinar o posicionamento e a localização de um veículo ou receptor localizado em qualquer parte do mundo, tanto na terra, nos oceanos ou no ar.
Banco de Dados Geográficos (BDG)	Sistema de arquivo com um conjunto de dados espaciais logicamente relacionado e com algum significado geográfico.
Modelagem numérica de terreno (MMT)	Sistema que procura representar digitalmente o comportamento da superfície do planeta utilizando representações matemáticas por meio de pontos e linhas (no plano) ou grades de pontos e polígonos (para superfícies tridimensionais).

Fonte: Fitz (2010).

Além das geotecnologias acima mencionadas, existe também uma outra geotecnologia denominada Sistema de Informações Geográficas (SIG), em inglês *Geographic Information System* (GIS), definida por Fitz (2010) como um conjunto de *hardwares* e *softwares* capazes de realizar várias interações com os dados georreferenciados inseridos e gerenciados no sistema, por um *peopleware*. O SIG tem por finalidade coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar arquivos de varredura digital, tais como imagens de satélites, fotos aéreas, arquivos vetoriais (pontos, linhas e polígonos), arquivos matriciais ou alfanuméricos, que possuem um sistema de coordenadas conhecidas. Para assegurar o bom funcionamento de um SIG, três elementos são indispensáveis, aos quais Fitz (2010) denomina de *hardware* que é a plataforma física de operação; os *softwares*, que são os programas e módulos virtuais de trabalho do sistema; e o *peopleware*, que é o profissional ou usuário gerenciador do SIG e gestor dos dados inseridos. Por sua vez, estes dados são classificados por Fitz (2010) em dois tipos: os dados espaciais e os dados alfanuméricos.

Os dados espaciais possuem uma apresentação gráfica através de imagem, mapa temático ou planos de informações no formato vetorial ou matricial. Já os dados alfanuméricos, são constituídos de letras, números ou sinais gráficos disponibilizados em tabelas. Tanto os dados espaciais quanto os alfanuméricos necessitam ser

transformados em dados georreferenciados, por meio da vinculação a um sistema de coordenadas geográficas conhecidas. Sabe-se que, através da manipulação de dados georreferenciados de uma superfície geográfica no SIG, é possível a construção de modelos digitais de superfície, que são consideradas informações relevantes para o estudo das vulnerabilidades de uma superfície.

Essa manipulação de dados georreferenciados no SIG é desenvolvida recorrendo as funções do sistema que, segundo Fitz (2010) são divididas em quatro funções: aquisição e edição de dados, gerenciamento de banco de dados, análise geográfica de dados e representação de dados.

A primeira corresponde à introdução de dados no sistema, através de procedimentos de aquisição direta de dados alfanuméricos ou espaciais, em meio digital pré-processados ou coletados de outras geotecnologias pelos processos de digitalização ou vetorização. E a edição de dados corresponde a maneira pelo qual o sistema pode editar, suprimir ou substituir caracteres contidos nos dados adquiridos, conforme as concepções teóricas-ideológicas do *peopleware* (FITZ, 2010).

A segunda se refere ao gerenciamento de banco de dados, concebido como uma porção do sistema, desenhado especialmente para lidar com dados espaciais e alfanuméricos. Esse sistema controla a organização físico-lógica dos dados, armazenados, recuperados e atualizados, permitindo, com isso, a sua manipulação. Isso nos permite compreender que o gerenciamento de dados é concebido como o cérebro do SIG, em virtude da sua capacidade de estabelecer todas as conexões desenvolvidas no sistema (FITZ, 2010).

Já a terceira consiste na análise geográfica de dados, que é a representação de todo um conjunto de técnicas para transformação de modelos digitais, por métodos matemáticos, em informações geoespaciais adicionais às preexistentes no banco de dados do sistema, como também a realização simultânea de análise de dados espaciais e seus atributos alfanuméricos. Essas aplicações tornam o SIG diferente de outros *softwares* gráficos pelo fato de manipular os dados georreferenciados, vinculados a um banco de dados de âmbito da geocartografia. Por conseguinte, essa função é, sem dúvida, a mais importante para a elaborar trabalhos científicos e realizar análises espaciais que exijam técnicas sofisticadas e profissionais altamente qualificados (FITZ, 2010).

Dentro dessa função de análise de dados podem-se realizar três classes de operações analíticas, que são subdivididas em:

a. **Reclassificação:** é a possibilidade de transformar, redefinir ou substituir atributos de uma informação georreferenciada, tais como os *pixels* de um arquivo matricial, a classificação de imagens de satélite, dentre outros valores e entidades gráficas de um arquivo, por outros parâmetros ou características, conforme a necessidade do usuário (FITZ, 2010);

b. **Sobreposição:** é a capacidade de realizar operações de *overlay*, que envolvem a combinação de dois ou mais mapas em camadas de informação (*layers*), de acordo com condições booleanas, no caso de sobreposição lógica e de operadores matemáticos quando se utiliza a sobreposição aritmética. Na sobreposição lógica pode-se trabalhar, tanto com arquivos vetoriais, quanto com arquivos matriciais; porém, quando o usuário for desenvolver uma sobreposição aritmética não deve utilizar arquivos em formato vetorial, pelo fato de a estrutura do arquivo ser completamente alterada durante a aplicação da sobreposição aritmética (FITZ, 2010).

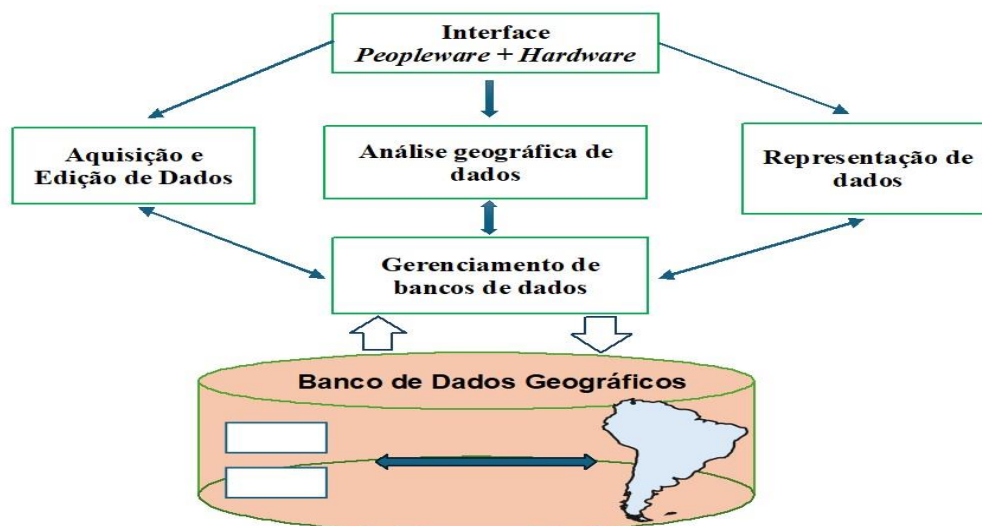
c. **Vizinhança e contextualização:** é a propriedade de trabalhar com a atribuição de valores de acordo com as características da região de entorno, tal como a lógica *fuzzy*. Consiste na utilização de operadores de distância, cálculos relacionados com o melhor caminho a se seguir, interpolação de pontos, exploração das características do entorno do espaço através de mensurações simples de distância, de cálculo de volume, análise de proximidade, dentre outras mensurações (FITZ, 2010).

Por fim, a quarta função trata-se da representação de dados que são exportados do sistema em formato digital ou analógico, possibilitando sua visualização, ou seja, os dados em arquivos digitais “linguagem de máquina” são plotados em informações geoespaciais ou relatórios e/ou documentos cartográficos impressos (FITZ, 2010).

Diante dos aspectos mencionados, infere-se, portanto, que um SIG tem a capacidade de coletar, gerar, armazenar e processar mapas temáticos, cartas topográficas, gráficos e tabelas, para a obtenção de informações geoespaciais, fundamentais para a análise da evolução espacial de um fenômeno geográfico e a inter-relação entre esse fenômeno e a superfície, onde ele ocorre (FITZ, 2010). As

explicações das funcionalidades de um SIG, que foram detalhadas, podem ser observadas na Figura 9, a seguir, que demonstra a arquitetura funcional básica do SIG.

Figura 9 - Arquitetura básica do SIG



Fonte: Câmara e Medeiros (1998), adaptado pelo Autor de acordo com Fitz (2010).

De acordo com Menezes e Fernandes (2013), o SIG se destaca das demais geotecnologias, especialmente, os bancos de dados geográficos (BDG) e os sistemas de sensoriamento remoto, devido à sua capacidade de receber os dados espaciais coletados ou armazenados por essas geotecnologias e transformá-los em informações geoespaciais significativas, assumindo assim um caráter integrador entre as geotecnologias. Isso o torna uma relevante geotecnologia para o público que trabalha com geoprocessamento, sendo indispensável em qualquer projeto de cunho integrativo, entre as geotecnologias. Esse diferencial integrador, somado com os atributos de aquisição, agregação, análise, armazenamento, identificação e manipulação de dados espaciais, possibilita a um *peopleware* realizar todo tipo de procedimento em geoprocessamento, para compreensão dos diferentes contrastes existentes em uma superfície geográfica. Isso torna o SIG, por sua vez, um instrumento essencial para construção e fornecimento de informações valiosas ao planejamento ambiental e urbano, para tomada de decisões e/ou para as pesquisas científicas voltadas ao meio ambiente (FITZ, 2010).

Câmara e Medeiros (1998) ressaltam que os dados tratados em geoprocessamento têm como principal característica a diversidade de fontes

geradoras e os formatos apresentados. Tendo como requisito armazenar a geometria dos objetos geográficos e de seus atributos, o que de fato representa uma dualidade básica para os SIGs, ou seja, para cada objeto geográfico, um SIG necessita armazenar os seus atributos e as várias formas de representações gráficas associadas.

Nesse contexto Fitz (2010), acrescenta que, devido à sua ampla gama de aplicações, entre as quais se incluem temas como agricultura, cartografia, cadastro urbano e redes de concessionárias (água, energia e telefonia), há pelo menos três grandes maneiras de utilizar um SIG: a primeira, como ferramenta para a produção de mapas; a segunda, como suporte para a análise espacial de fenômenos; e a terceira como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e de recuperação da informação espacial.

Com base nessa perspectiva da multiplicidade de usos e visões inerentes a essa geotecnologia, sabe-se que é possível realizar inúmeras modelagens digitais de uma superfície, para o levantamento de informações geoespaciais relevantes da superfície a ser estudada, tais como a elaboração do mapeamento de áreas de risco.

2.4 MAPEAMENTO DE RISCO

O mapeamento de área de risco funciona como um alerta que apresenta as vulnerabilidades de uma superfície, além da possibilidade da catalogação dos riscos de acordo com a sua intensidade. Acerca da elaboração de um mapeamento de áreas de risco de inundações, Enomoto (2004) ressalta que o processo de mapeamento deve utilizar uma base cartográfica confiável e adequada, com a localização precisa dos elementos da bacia hidrográfica e as características físicas e hidráulicas da superfície onde o fenômeno ocorre, dados indispensáveis para sua criação.

A esse respeito, Marcelino *et al.* (2006) afirmam que o mapeamento de risco pode ser definido como um instrumento de análise eficiente dos riscos, uma vez que os dados encontrados possibilitam construir medidas preventivas e estabelecer ações conjuntas contra os desastres naturais. Ancorados nessa perspectiva, Kobiyama *et al.* (2006) apontam que os mapeamentos de áreas de risco visam a suprir uma das maiores deficiências relacionadas aos desastres naturais no Brasil, que corresponde à ausência de sistemas de alerta, sendo essa uma das ferramentas funcionais

indispensáveis à sua criação, visando à prevenção de desastres e a minimização dos danos materiais e humanos advindos destes desastres.

Além de propiciar uma melhor comunicação do setor técnico com a população, por ser uma ferramenta ilustrativa que facilita a visualização dos riscos existentes naquela superfície, uma vez que a população tem dificuldade em perceber, esses riscos no espaço urbano e no sistema de drenagem como um todo, de forma clara e simples. Por conseguinte, diversas cidades brasileiras utilizam da transformação de dados georreferenciados, como as cartas cartográficas, em arquivos digitais (*shapefile*)¹, para a elaboração do mapeamento de áreas de risco, através de plataformas de geoprocessamento, como o SIG.

Segundo Magalhães *et al.* (2011), para realizar o desenvolvimento de um mapeamento de risco através de um SIG, é necessária a utilização de mapas temáticos², em formato *shapefile*, que contenham dados relevantes sobre a superfície que se pretende mapear, tais como:

- a. Uso e cobertura vegetal;
- b. Grau de impermeabilização dos lotes, considerando o seu tipo de utilização;
- c. Tipos de solo;
- d. Redes de drenagem natural e artificial;
- e. Altimetria;
- f. Declividade.

Com a manipulação dos mapas temáticos em um SIG, é possível desenvolver mapas de áreas de risco, que detém informações fundamentais para nortear a realização do zoneamento das áreas susceptíveis à inundação.

Nesse sentido, Enomoto (2004) afirma que o mapeamento das áreas de risco de inundação caracteriza-se como uma ferramenta eficaz no controle desses fenômenos, pois, por meio desse mapeamento, há a possibilidade de definir as zonas susceptíveis à inundação em uma superfície, conforme seu nível de intensidade, através de uma linguagem clara e coerente.

De forma análoga a essa perspectiva, Tucci (2005) destaca que os mapas de áreas de risco de inundação constituem mecanismos essenciais para o controle das

¹*Shapefile* é um conjunto de arquivos em formato digital que armazena dados vetoriais, incluindo a posição, a forma e os atributos de feições geográficas. (ESRI, 1998).

²Mapas temáticos são caracterizados por representar as informações geográficas referentes a um, ou a vários fenômenos (físicos ou sociais) presentes em uma superfície terrestre (FITZ, 2008).

inundações urbanas, por contribuir para a redução dos prejuízos causados por esse tipo de desastre. Esses mapas fornecem à população ferramentas que possibilitam uma melhor convivência com os eventos relacionados às inundações, por meio de medidas preventivas como o alerta de inundações, o zoneamento de áreas de risco e a adoção de medidas de proteção individual (TUCCI, 2005). Com essas medidas, é possível conceder à população mecanismos que visam minimizar os danos materiais e humanos provenientes das inundações urbanas, sem que haja uma invenção que extingue totalmente os eventos relacionados a elas, já que estes são fenômenos naturais necessários ao equilíbrio ambiental.

O mapeamento de áreas de risco identifica as áreas de uma superfície susceptível de inundações e as organiza conforme sua magnitude, podendo ser utilizado como parte de um sistema de alerta ou para estabelecer procedimentos mitigatórios. Conforme apontam Teng *et al.* (2017 *apud* SOUZA, 2021, p. 15), “existem múltiplos modelos, e a escolha depende dos níveis de detalhamento desejados, informações disponíveis, contexto e capacidades computacionais”. Além disso, deve-se ressaltar que “esses modelos são frequentemente empregados, mas requerem diversas informações, como dados de eventos passados, dados de precipitação, ocupação do solo, entre outros, oscilando conforme o modelo selecionado” (DEGIORGIS *et al.*, 2012; NARDI *et al.*, 2013 *apud* SOUZA, 2021, p. 15).

De acordo Tucci (2005), os mapas das áreas de risco de inundação são classificados em dois tipos: o primeiro é o mapa de alerta, que informa em cada esquina ou ponto de controle a cota de nível de água que se encontra o leito menor nessa área e quanto falta para inundá-la. Este tipo de mapa permite aos moradores monitorarem a magnitude das inundações com base nas observações das cotas de nível (régua). Já o segundo se refere ao mapa de planejamento, que define as áreas atingidas por enchentes de tempo de retorno escolhidos. Isso nos possibilita entender que o mapeamento de áreas de risco a inundação do tipo “mapa de planejamento” é utilizado para desenvolver o zoneamento de áreas susceptíveis a inundação.

O zoneamento de áreas susceptíveis à inundação é definido por Tucci (2005) como um conjunto de regras com o objetivo principal de minimizar os danos materiais e humanos que possam ocorrer durante esses eventos, protegendo vidas humanas, propriedades e infraestruturas. O zoneamento é dividido em três zonas:

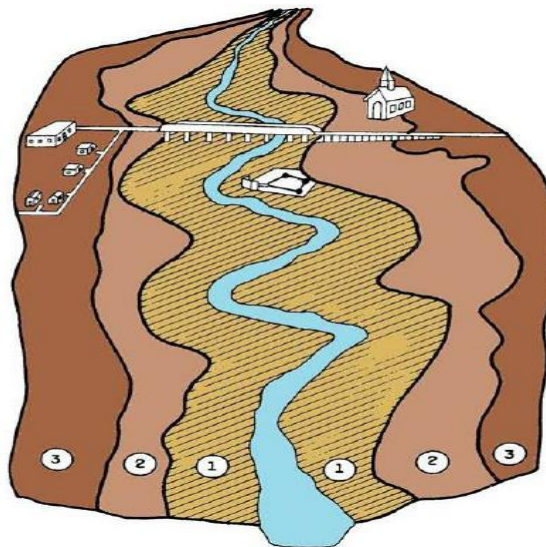
A primeira é denominada zona de passagem da enchente (faixa 1); esta parte da seção se refere às laterais mais próximas do leito menor de um curso d'água, que é por onde escoam as águas provenientes das enchentes. Qualquer construção nessa área reduzirá o espaço de escoamento, elevando os níveis a montante desta seção (TUCCI, 2005).

A segunda, por sua vez, é denominada zona com restrições (faixa 2), que corresponde ao restante da superfície inundável, que deve ser regulamentada. Esta zona fica inundada; porém, devido às pequenas profundidades e baixas velocidades, não exerce muita influência na drenagem da enchente (TUCCI, 2005).

A terceira zona, denominada de baixo risco (faixa 3), possui pequena probabilidade de ocorrência de inundações, sendo atingida em anos excepcionais por pequenas lâminas de água com velocidade reduzida (TUCCI, 2005).

A divisão dessas zonas de acordo com a intensidade é observada na Figura 10, a seguir.

Figura 10 - Zonas susceptíveis à inundação



Fonte: U.S.WATER RESOURCES COUNCIL (1971) apud Tucci (2009).

Sendo assim, o zoneamento de áreas suscetíveis   inundação possibilita dividir essas áreas em zonas, categorizando-as de acordo com sua intensidade e estabelecendo critérios regulamentares para sua ocupação. Isso permite uma convivência mais harm nica e estável da população com as inundações urbanas, ao mesmo tempo em que contribui para reduzir os impactos desses eventos, para as comunidades mais vulneráveis. O controle da urbanização desordenada e das

inundações nos municípios, por meio do mapeamento e zoneamento das áreas suscetíveis a inundação, é um importante subsídio para a construção de cidades resilientes.

2.5 CIDADES RESILIENTES

O crescimento desordenado das cidades, associado às mudanças climáticas provocadas por ações antrópicas, favoreceram o aumento da incidência dos eventos adversos extremos no Brasil, conforme apresenta o relatório de danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais no país entre os anos de 1995 e 2019, elaborado pelo Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil e a Universidade Federal de Santa Catarina (CEPED-UFSC) no ano de 2020.

O relatório demonstra que, ao longo dos últimos anos, os eventos adversos extremos de inundações, secas, vendavais, entre outros, têm causado ao país diversos danos materiais e humanos, além de perdas mensais em habitações, infraestrutura e setores produtivos, que totalizaram prejuízos superiores a um bilhão de reais. Isso pode ser observado no Gráfico 1, a seguir, que contém os valores gastos pelo Brasil entre 1995 e 2019 com danos materiais e prejuízos ocasionados pelos desastres.

Gráfico 1 - Valores gastos entre 1995 e 2019, nos pós desastre



Fonte: CEPED/UFSC (2020).

Diante deste cenário, a construção da resiliência é considerada um mecanismo eficiente de boas práticas para organização e estruturação das cidades, tornando-as mais seguras contra os desastres. Sendo assim, compreende-se que a resiliência está diretamente relacionada com a elaboração de métodos e procedimentos que contribuem tanto para a absorção dos impactos, quanto para a redução dos efeitos nocivos dos desastres (UNDRR, 2012).

Conforme manual de terminologia do “Escritório das Nações Unidas para Redução do Risco de Desastres” (UNDRR), o termo resiliência consiste em:

A capacidade de um sistema, comunidade ou sociedade exposto a riscos de resistir, absorver, adaptar-se e recuperar-se dos efeitos de um perigo, de maneira tempestiva e eficiente, o que inclui a preservação e restauração de suas estruturas básicas e funções essenciais (UNDRR, 2009, p. 28).

A partir dessa definição, observa-se a interação de elementos importantes, como a capacidade que pode ser desenvolvida e adquirida pelas cidades, comunidades ou organizações, para que sejam capazes de resistir, absorver, adaptar e recuperar-se de eventos adversos extremos aos quais estão expostos (DOMINGUES e CHIROLI, 2022). Entretanto, sabe-se que nas cidades formais são evidentes os sinais de insuficiência, tanto de ordem econômica quanto estratégica, para o desenvolvimento dessa capacidade de enfrentamento dos desastres.

Com a percepção desta realidade enfrentada pelas cidades, o UNDRR lançou em maio de 2010 um programa intitulado “Construindo Cidades Resilientes – Minha Cidade está se preparando”, com o intuito de promover o desenvolvimento da resiliência urbana frente aos desastres e incentivar o aprendizado, a troca de experiências e as boas práticas entre diferentes cidades ao redor do mundo. Essa iniciativa busca o fortalecimento das cidades para que possam resistir e se recuperar dos desastres, protegendo a vida e o patrimônio das comunidades locais, com a implementação de ações envolvendo a participação de toda a sociedade. (UNDRR, 2012).

De acordo com o UNDRR (2012), uma cidade é resiliente a desastres, quando possui alguns requisitos, tais como:

- i) Possuir um governo local competente, inclusivo e transparente que se preocupe com uma urbanização sustentável e investe os recursos necessários ao desenvolvimento de capacidades para gestão e organização municipal antes, durante e após um evento adverso, ou ameaça natural.
- ii) Ter autoridades locais e a população compreendendo os riscos que enfrentam e desenvolvendo processos de informação local e compartilhada com base nos danos por desastres, ameaças e riscos, inclusive sobre quem está exposto e quem é vulnerável.

- iii) Existir empoderamento dos cidadãos para a participação, decisão e planejamento de sua cidade em conjunto com as autoridades locais; e existir uma valorização do conhecimento local e indígena, suas capacidades e recursos.
- iv) Preocupar-se em antecipar e mitigar os impactos dos desastres, incorporando tecnologias de monitoramento, alerta e alarme para a proteção da infraestrutura, dos bens comunitários e individuais - incluindo suas residências e bens materiais - do patrimônio cultural e ambiental e do capital econômico.
- v) Ser capaz de responder, implantar estratégias imediatas de reconstrução e restabelecer rapidamente os serviços básicos para retomar suas atividades sociais, institucionais e econômicas após um evento adverso (UNDRR, 2012, p.11).

Assim, para conseguir alcançar esses requisitos, as cidades devem seguir dez essenciais fundamentos propostos no “Manual de Como Construir Cidades Mais Resilientes - Um Manual para Líderes do Governo Local” da UNDRR (2017), para tornar as cidades resilientes, sendo eles:

- i. Organizar a comunidade local, preparando-a para aplicar as ferramentas para redução dos riscos de desastres, através do desenvolvimento de mecanismos como o mapeamento e a coordenação de atividades de gestão de risco;
- ii. Identificar e compreender os riscos presentes em uma cidade para a aquisição de conhecimentos na busca do aperfeiçoamento de ferramentas para controle de possíveis vulnerabilidades;
- iii. Fortalecer a capacidade financeira para a resiliência;
- iv. Buscar a resiliência do projeto e desenvolvimento urbano;
- v. Proteger as zonas naturais de amortização para melhorar as funções protetoras dos ecossistemas naturais;
- vi. Fortalecer a capacidade institucional para resiliência;
- vii. Compreender e fortalecer a capacidade social para a resiliência;
- viii. Aumentar a resiliência das infraestruturas;
- ix. Garantir uma preparação eficaz e resposta aos desastres;
- x. Acelerar o processo de recuperação e reconstrução de uma melhor forma. (UNDRR, 2017, p. 32)

Sob essas perspectivas, Silva (2018), acrescenta que as cidades serão resilientes quando buscarem se organizar, preparar e anteciparem soluções que minimizem suas vulnerabilidades, através de uma gestão pública eficiente e um planejamento estratégico voltado para vários cenários. Isso implica investir em infraestrutura, na distribuição responsável das competências colocando nos cargos estratégicos profissionais qualificados e o fortalecimento da participação da população nos processos de tomada de decisões promovendo a colaboração e o trabalho em equipe. O que não apenas aumenta a eficácia das medidas de resposta, mas também fortalece os laços comunitários e a confiança nas instituições governamentais (UNDRR, 2017, p. 21).

Vale mencionar que a compreensão acerca da construção da resiliência em uma escala global passa por dois momentos mais expressivos de esforços para a redução do risco de desastres empregado pelos países signatários da “Organização das Nações Unidas” (ONU), sendo eles: a criação das metas do “Marco de Ação de Hyogo (2005-2015)” e do “Marco de Ação de Sendai (2015-2030)”.

O primeiro marco ocorreu durante a “Segunda Conferência Mundial para Redução dos Riscos de Desastres”, realizada pelo UNDRR, em 2005, na cidade de Hyogo, no Japão. O objetivo dessa conferência era estabelecer uma estrutura global para a redução dos elementos de risco de desastres, aliada à construção da resiliência. Foi criado então um programa de metas denominado “Marco de Ação de Hyogo”, que seria realizado no período de 2005 a 2015. Esse programa estabeleceu cinco ações principais, visando a aumentar a resiliência das comunidades e nações frente aos crescentes desafios relacionados aos desastres (UNDRR, 2012). As cinco ações prioritárias eram:

- 01) Garantir que a redução de riscos de desastres seja uma prioridade;
- 02) Identificar, avaliar e monitorar os riscos de desastre e aprimorar a previsão e os sistemas de alerta de eventos climáticos extremos;
- 03) Utilizar o conhecimento, a inovação e a educação para criar uma cultura de segurança e resiliência em todos os níveis;
- 04) Reduzir os fatores fundamentais do risco;
- 05) Fortalecer a preparação para ter uma resposta eficaz em todos os níveis (UNISRD, 2012, p. 12).

Contudo, mesmo com os esforços estabelecidos no Marco de Ação de Hyogo, “as catástrofes continuavam a atingir o planeta, afetando principalmente as populações mais pobres e vulneráveis” (UNDRR, 2015, p. 5 e 8). Visando a compreender as lacunas e os desafios para o futuro, bem como, melhorar as ações para redução dos riscos e resposta aos desastres, com o objetivo de construir resiliência e promover o desenvolvimento sustentável, a UNDRR realizou em 2015, na cidade de Sendai, localizada no Japão, a “Terceira Conferência Mundial para Redução dos Riscos de Desastres”. Nela os países signatários reafirmaram o compromisso para redução dos riscos de desastres e para a construção da resiliência, reformulando assim, o “Marco de Ação de Hyogo” através da criação do “Marco de Ação de Sendai” (2015-2030). Durante essa conferência foram definidas quatro ações prioritárias para a construção de cidades resilientes e a redução do risco de desastre, sendo elas:

- i. Compreensão do risco de desastres;
- ii. Fortalecimento da governança do risco de desastres para gerenciar o risco de desastres;
- iii. Investir na redução do risco de desastres para a resiliência;
- iv. Melhorar a preparação para desastres para uma resposta eficaz e para "Reconstruir Melhor" em recuperação, reabilitação e reconstrução (UNDRR, 2017, p.15).

A partir desses aperfeiçoamentos de boas práticas para a construção de cidades resilientes, várias medidas foram organizadas visando à obtenção da resiliência local, tais como: estudar as vulnerabilidades, buscando estabelecer formas de controlá-las e minimizá-las; organizar alianças locais em prol da redução de riscos de desastres; investir e manter uma infraestrutura para a redução de riscos; criar regulamentos de planejamentos eficientes para o uso do solo; proteger os ecossistemas e as barreiras naturais para mitigar as inundações e outros perigos; instalar sistemas de alerta e alarme precoce; assegurar a realização de forma ágil do reestabelecimento e da reconstrução da cidade após um desastre com o apoio de organizações comunitárias e a participação da comunidade no processo de aquisição da resiliência (UNDRR, 2012, p. 26).

No contexto brasileiro o conceito de cidades resilientes já era conhecido; porém, não de forma efetiva. Foi somente a partir de 2011, com o advento da reestruturação da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, que o termo resiliência foi difundido. A Lei Federal n.º 12.608/12, instituiu, nos objetivos da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), no inciso VI do seu Artigo 5.º, o “estímulo ao desenvolvimento de cidades resilientes e os processos sustentáveis de urbanização” (BRASIL, 2012).

Como forma de estimular o desenvolvimento de cidades resilientes no país, o governo brasileiro parceiro da UNDRR, difundiu no Brasil a campanha “Construindo Cidades Resilientes: Minha Cidade está se Preparando”, iniciativa atualmente denominada de “*Marking Cities Resilient*” (MCR2030) da UNDRR.

Segundo a UNDRR esta iniciativa tem como objetivo “garantir que as cidades se tornem inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis até 2030” (UNDRR, 2020, p. 2), por meio da troca de conhecimentos e experiências e do estabelecimento de redes de aprendizagem entre as cidades, através das plataformas *on-line*, promovendo, simultaneamente, o fortalecimento das capacidades técnicas, a conexão de vários níveis de governo, as alianças estratégicas e o acesso a ferramentas de conhecimento, diagnóstico, monitoramento e relatórios (UNDRR, 2020, p.1). Isso

possibilita às cidades um maior conhecimento de suas vulnerabilidades, além de planejar melhor as suas estratégias, implantar medidas concretas para reduzir os riscos e melhorar a capacidade de resposta a desastres. O propósito final seria, assim, o de “desenvolver cidade e assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis” (UNDRR, 2020, p. 2).

Além do estímulo ao desenvolvimento de cidades resilientes, o governo federal reformulou sua Política Nacional de Proteção e Defesa Civil criando e incentivando vários sistemas e programas de suporte para as cidades construírem a sua resiliência e reduzirem os riscos de desastres (BRASIL, 2024). Dentre eles destaca-se o Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN), criado em julho de 2011 pelo Decreto Presidencial n.º 7.513, que tem como objetivo:

Realizar o monitoramento das ameaças naturais em áreas de risco em municípios brasileiros suscetíveis à ocorrência de desastres naturais e a emissão de alertas, além de realizar pesquisas e inovações tecnológicas que possam contribuir para a melhoria de seu sistema de alerta antecipado, com o objetivo final de contribuir para a redução do número de vítimas fatais e prejuízos materiais em todo o país. Atualmente o CEMADEN opera 24 horas por dia, sem interrupção, monitorando, em todo o território nacional, as áreas de risco de 958 municípios classificados como vulneráveis a desastres naturais. Entre outras competências, envia os alertas de desastres naturais ao Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), auxiliando o Sistema Nacional de Defesa Civil (CEMADEN, 2020, p. 4).

Com a estrutura do CEMADEN, foi possível realizar o monitoramento de eventos meteorológicos, níveis dos cursos d'água e as ameaças naturais. Isso possibilitou a emissão de alertas aos municípios sobre a previsão de eventos mais intensos, fornecendo informações indispensáveis para antecipar ações em prol da resiliência local.

Outra estrutura importante criada foi o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD) uma plataforma *on-line* do Sistema Nacional e Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) que integra diversos produtos da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC), e tem como funções:

Qualificar e dar transparência à gestão de riscos e desastres no Brasil. O sistema em um primeiro momento era utilizado com o foco na solicitação do Reconhecimento Federal de Situação de Emergência e Estado de Calamidade Pública; e no registro de danos e prejuízos causados por desastres. Foi incluído no S2iD o grupo de consulta e nele contém informações relativas a desastres, produzidas nos últimos 20 anos. Essas informações estão disponíveis para qualquer interessado, no próprio sistema, e continuarão a ser alimentadas por novos dados inseridos pelos usuários do S2iD.

O S2iD incorpora, também, as solicitações e transferências de recursos para as ações de resposta e recuperação, realizadas pela União, em apoio a

Estados e Municípios atingidos por desastres. Em um processo totalmente informatizado, as solicitações são feitas através de formulários *on-line* e encaminhados para a análise da SEDEC. Assim, a troca de informações entre quem está solicitando apoio e quem está fazendo a análise se torna muito mais simples e ágil, fazendo com que a chegada dos recursos para atendimento à população afetada pelo desastre e à realização das obras necessárias para a recuperação de estrutura danificada por um desastre seja mais eficiente (MDR, 2024, p. 1).

O S2iD é um programa avançado que utiliza tecnologias de informação e comunicação para aproximar o Governo Federal dos Estados e Municípios durante um desastre. Essa plataforma agiliza a chegada dos recursos necessários, permitindo uma resposta mais rápida e eficaz às necessidades das comunidades afetadas. Dessa forma, o S2iD contribui significativamente para o desenvolvimento das ações de reestabelecimento e reconstrução, de forma ágil e eficiente.

Também é importante mencionar o portal de cursos para a capacitação continuada em proteção e defesa civil da Escola Virtual de Governo (EVG). Esse portal tem como objetivo:

Oferecer gratuitamente, de forma *on-line*, a todos os agentes de proteção e defesa civil dos estados e municípios; à sociedade civil e interessados na temática cursos de capacitação e qualificação em proteção e defesa civil, monitoramento, mapeamento e alerta, plano de ações de emergência, dentre outros cursos voltados a promover a cultura nacional em proteção e defesa civil (MDR, 2022, p. 10).

Essa plataforma oferece uma oportunidade valiosa para os profissionais que atuam nessa área aprimorarem seus conhecimentos e habilidades. Além disso, ela também está acessível para pessoas que tenham interesse em se capacitar para auxiliar os municípios na missão da construção de uma resiliência local. Por meio desses cursos, os participantes têm a oportunidade de adquirir conhecimentos atualizados, aprender boas práticas e desenvolver competências essenciais para lidar com os desafios e demandas da proteção e defesa civil no Brasil.

Com igual importância que os demais programas expostos, cita-se o programa de boas práticas em proteção e defesa civil do MDR, intitulado “Defesa Civil nas Escolas”, desenvolvido por meio das Coordenadorias Estaduais e Municipais de Proteção e Defesa Civil dos Estados e Municípios, que tem como finalidade:

Estimular ações educativas com foco na construção de uma cultura para o enfrentamento das ameaças e vulnerabilidades, considerando a realidade local e o contexto de risco em que cada escola está inserida, preparando estudantes, educadores e comunidade escolar para serem multiplicadores de boas práticas para consolidação de uma cidade resiliente (SUPDC/BH, 2022, p. 2).

O programa "Defesa Civil nas Escolas" desempenha um papel fundamental na disseminação da cultura de redução de riscos e na construção da resiliência local. Ao integrar a temática da proteção e defesa civil no ambiente escolar, ele capacita não apenas os estudantes, mas também suas famílias e toda a comunidade escolar. Por meio de ações educativas e práticas, o programa promove uma mudança de cultura, que prepara as novas gerações para enfrentar e se adaptar melhor às situações de emergência. Assim, contribui significativamente para a construção de cidades resilientes e seguras.

Em decorrência dos aspectos mencionados, para tornar as cidades resilientes, é fundamental que os governos locais implementem medidas proativas que considerem não apenas o crescimento econômico, mas também a urbanização sustentável, a equidade social e a segurança dos cidadãos. Isso inclui a construção de infraestruturas resistentes a desastres, uma gestão de riscos de desastres qualificada, a adoção de práticas sustentáveis de desenvolvimento e gestão ambiental, além da promoção da compreensão e capacitação da comunidade frente aos riscos enfrentados. Com essas medidas, as cidades podem se tornar mais preparadas e capazes de enfrentar os desafios e as adversidades, garantindo o bem-estar e a qualidade de vida de seus habitantes.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa realizada contém uma revisão bibliográfica, caracterizada como um processo em que se busca obter informações e dados relevantes ao trabalho, tomando como base estudos já elaborados, tais como artigos científicos, livros, periódicos, entre outros (GIL, 2002). Assim, vale ressaltar, que os referidos materiais foram utilizados como fonte de consulta, especialmente aqueles que tratam da temática inundações urbanas, geoprocessamento e cidades resilientes, disponibilizados na plataforma Portal da CAPES, SciELO e Google Acadêmico.

Além disso, foi desenvolvido também uma abordagem denominada de pesquisa empírica quali-quantitativa, que pode ser concebida como um processo no qual permite o pesquisador tanto se aproximar da realidade investigada como extrair dados a partir deste contato (LAKATOS E MARCONI, 2005).

O presente estudo foi elaborado no município de Poços de Caldas que possui os seguintes aspectos:

3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DO MUNICÍPIO

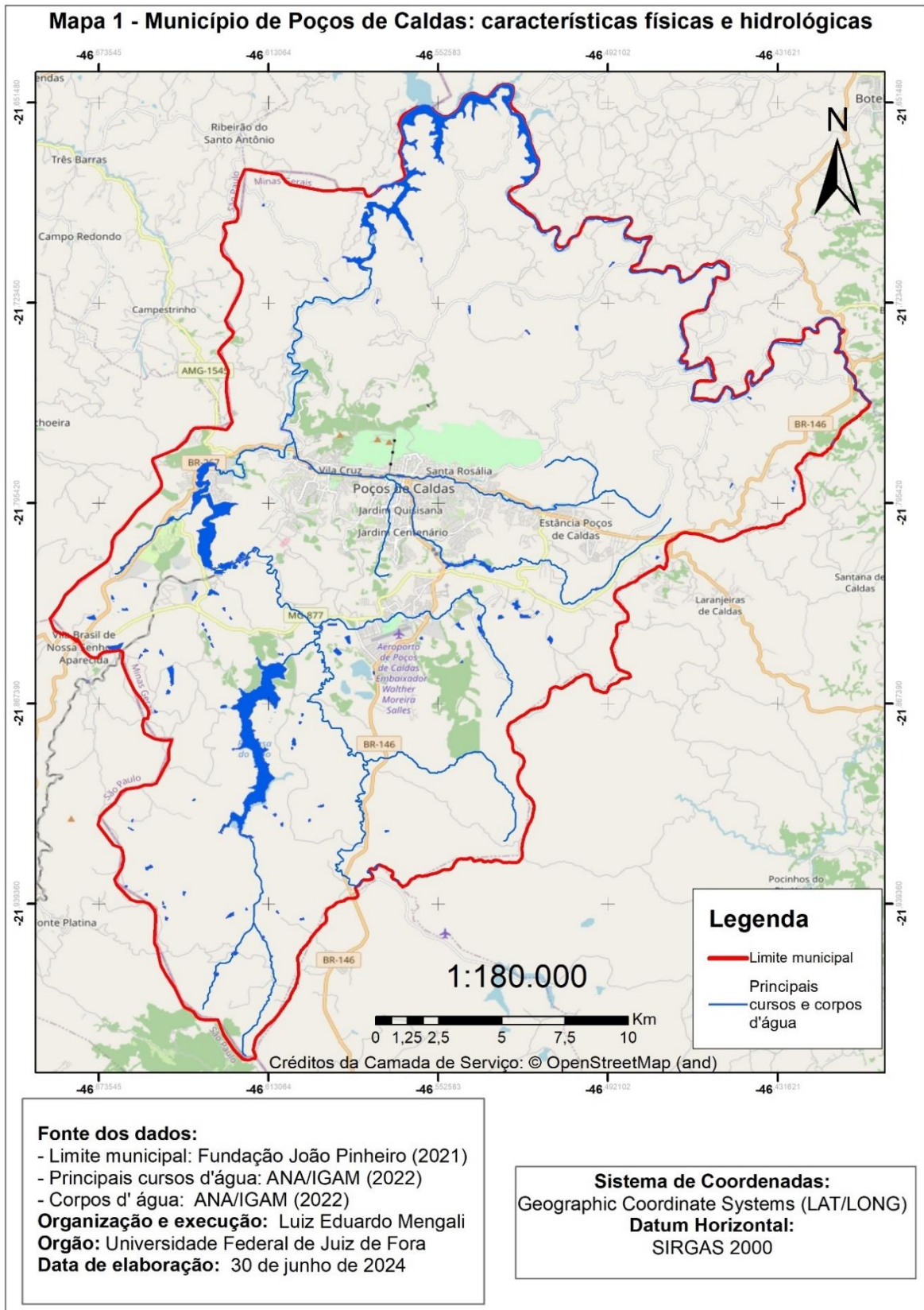
O município de Poços de Caldas está localizado na região do Sul/Sudoeste de Minas Gerais na divisa com o estado de São Paulo. O município faz limite ao Norte com os municípios de Botelhos e Bandeira do Sul; a Leste com Caldas; ao Sul com Andradas; e a Oeste com os municípios de Águas da Prata, São Sebastião da Gramma, Caconde e Divinolândia no estado de São Paulo.

Segundo o IBGE (2023), esse município possui uma área territorial de 546,958 km² e está situado nas coordenadas geográficas de 21°47'16''S e 46°33'41''W. A população total do município é de 163.742 pessoas, com uma densidade demográfica de 299,37 habitantes por quilometro quadrado, sendo que 97,57% dessa população vive na zona urbana e 2,43% na zona rural.

De acordo com a PMPC (2023), o índice pluviométrico anual estimado no município é de aproximadamente 1.745 mm e as precipitações ocorrem com maior intensidade nos meses de dezembro e janeiro. Sua bacia hidrográfica é formada pelo rio Pardo e seus afluentes, sendo o principal deles, o rio Lambari, que se origina da junção dos ribeirões das Antas e de Poços. O ribeirão de Poços é formado na área

central do município pela convergência do ribeirão Caldas, proveniente da zona sudeste, com o ribeirão da Serra, originário da zona leste. O grande dreno do município é o ribeirão das Antas, que adentra o município nos limites com a cidade de Andradas, passando pela zona sul e zona oeste do município. Na zona oeste do município ele encontra com o ribeirão de Poços, que vem da área central do município. Dessa confluência recebe o nome de rio Lambari e forma as cascatas das Antas e Andorinhas, vindo em áreas mais a jusante e deságua no Rio Pardo, conforme se pode observar no Mapa 1, na página a seguir:

Mapa 1 - Da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Este estudo teve o intuito de elaborar um mapa de risco de inundações do município de Poços de Caldas (MG) e para o seu desenvolvimento foram realizadas quatro etapas:

3.2 PRIMEIRA ETAPA: ELABORAÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS

Nessa etapa de elaboração dos mapas temáticos foram realizadas três ações. A primeira ação consistiu na aquisição dos mapas temáticos de Pedologia e Uso e Cobertura da Terra do município, através do sítio eletrônico do IBGE, na seção de Geociências, que disponibiliza dados georreferenciados em formato *shapefile*, por meio do sistema de base de dados espaciais em pedologia e do monitoramento do uso e cobertura da terra. Alguns dados importantes sobre esses mapas temáticos foram descritos no Quadro 2, a seguir:

Quadro 2 - Dados dos mapas temáticos de pedologia e uso e ocupação da terra

Dados dos mapas temáticos			
Tema	Fonte	Ano	Escala
Pedologia	IBGE (Seção Geociências)	2023	1:250.000
Uso e Cobertura da Terra	IBGE (Seção Geociências)	2020	1:250.000

Fonte: IBGE (2024).

Cabe mencionar que, para se elaborar um mapa de risco de inundação, é fundamental possuir mapas temáticos da superfície a ser mapeada, com características distintas um do outro e relevantes para se dimensionar os riscos de inundação presentes nessas áreas. Para esse estudo foram utilizados quatro mapas temáticos, que são os mapas de declividade, hipsometria, uso e cobertura da terra e pedologia.

Como foram obtidos apenas dois mapas temáticos por meio do sítio eletrônico do IBGE, foi necessária a realização dessa segunda ação para elaborar os outros dois mapas temáticos de maior relevância para o desenvolvimento do mapa de risco à inundação, que são os mapas de hipsometria e de declividade. O mapa de hipsometria foi produzido a partir do modelo digital de elevação (MDE), obtido no sítio eletrônico *ASF Data Search*, utilizando as imagens do sensor *ALOS PALSAR* (2011) com resolução espacial de 12,5m.

Na plataforma SIG denominada *ArcGIS*³ 10.5 (ESRI) foi inserido o MDE da região e, dessa camada, foi extraído o mapa temático de hipsometria do município, através da ferramenta *Clip (Data Management) (Tool)*. Vale salientar que no mapa de hipsometria é possível observar as altitudes existentes no município.

Com o auxílio do mapa temático de hipsometria manipulado no *ArcGIS* 10.5 (ESRI), foi possível elaborar o mapa de declividade do município, em formato matricial, seguindo os procedimentos apresentados no Fluxograma 1, a seguir:

Fluxograma 1 - Comandos para elaboração do mapa de declividade



Fonte: *ArcGIS* (2024).

A terceira e última ação desta etapa consistiu em descrever as características apresentadas pelos mapas temáticos de pedologia, uso e cobertura da terra, hipsometria e declividade.

O mapa de pedologia é a representação espacial dos tipos de solos encontrados na região estudada. O fato de possuírem dados acerca do tipo de solo da região favorece a pesquisa, uma vez que contribui para a análise da capacidade de infiltração e de escoamento superficial da água nos solos da região (MAGALHÃES *et al.*, 2012 p. 65). Foram encontrados sete tipos de solo no município, caracterizados no Quadro 3, a seguir:

Quadro 3 - Tipo e características dos solos existentes no município

Tipos de solos existentes em Poços de Caldas/MG	
Tipo	Característica
Área urbana	São solos urbanizados e densamente ocupados, onde há grande proximidade entre edificações.
Corpo d'água continental	São solos completamente inundados.

³O *software ArcGIS* caracteriza-se como uma solução de análise e mapeamento baseada em nuvem. É utilizado para criar mapas, analisar dados, compartilhar e colaborar. Seus dados e mapas são armazenados em uma infraestrutura segura e privada e podem ser configurados para atender seus requisitos de mapeamento e TI (ESRI, 1998).

Latossolo Vermelho Distrófico	São solos com uma camada superficial rica em matéria orgânica e uma textura entre argilosa e muito argilosa, que também apresenta, de acordo com sua profundidade, rochas ricas em ferro, fração de areia, magnetita e ilmenita. Bem drenado, a água é removida do solo com facilidade, embora não rapidamente.
Nitossolo Háptico Distrófico	São solos com textura entre argilosa e muito argilosa, que também apresentam, de acordo com sua profundidade, rochas calcáreas e um bom teor de carbono. Bem drenado, a água é removida do solo com facilidade, embora não rapidamente.
Cambissolo Háptico Tb Distrófico	São solos superficialmente arenosos, que vão adquirindo uma textura de média argilosa a argilosa de acordo com a profundidade. Muitas vezes pedregosos, cascalhentos e mesmo rochosos. Têm um comportamento que varia de acentuadamente drenável a imperfeitamente drenável.
Argissolo Vermelho- Amarelo Distrófico	São solos superficialmente franco arenosos ou mais finos (mais de 150g.kg-1 de argila), que vão adquirindo textura entre argilosa e muito argilosa de acordo com a profundidade. Bem drenado, a água é removida do solo com facilidade, porém não rapidamente.
Argissolo Vermelho- Amarelo Eutrófico	São solos superficialmente franco arenosos, que vão adquirindo textura média argiloso, argilosa e muito argilosa, de acordo com a profundidade. Bem drenado, a água é removida do solo com facilidade, embora não rapidamente.

Fonte: IBGE (2015).

Segundo Pinheiro *et al.* (2009), as características dos solos demonstram a sua capacidade de infiltração e de escoamento superficial. Com base nesses apontamentos e nas características dos solos encontrados na região, foi construído o Quadro 4, sendo possível realizar uma associação entre as características dos solos e o grau de influência do risco de inundação nos solos menos impermeáveis para os mais impermeáveis:

Quadro 4 - Categorias de pedologia e níveis de impermeabilização

Pedologia	Nível de impermeabilização
Área urbana	Alta
Corpo d'água Continental	Muito Alta
Latossolo Vermelho Distrófico	Média
Nitossolo Háptico Distrófico	Média
Cambissolo Háptico Tb Distrófico	Baixa
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	Média
Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	Média

Fonte: Elaborado pelo autor (2024), com dados do IBGE (2023).

Os dados apresentados no mapa temático de uso e cobertura da terra são indicadores relevantes para a modelagem do mapeamento de risco, pois demonstram de que maneira o espaço da região foi ocupado pelo homem, permitindo detectar as interferências nos mecanismos de infiltração e de escoamento superficial da água na terra. De acordo com o Manual de Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra elaborado pelo IBGE (2022), que classifica e caracteriza os tipos de uso e cobertura da terra no Brasil, foram descritas e caracterizadas no Quadro 5, a seguir, as nove classes de uso e cobertura da terra encontradas na área estudada nesta pesquisa:

Quadro 5 - Descrição das classes de uso e cobertura da terra do município.

Classes de uso e cobertura da terra no município	
Área artificial	São áreas urbanas, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam superfícies artificiais não agrícolas, tais como metrópoles, cidades, vilas, complexos industriais e comerciais e edificações que podem, em alguns casos, estar situadas em áreas periurbanas.
Área Agrícola	São áreas ocupadas por lavouras temporárias, semiperenes e permanentes, irrigadas ou não. Pode ser definida como terra utilizada para a produção de alimentos, fibras e commodities do agronegócio.
Pastagem com Manejo	São áreas destinada ao pastoreio do gado e outros animais, com vegetação herbácea cultivada (braquiária, azevém etc.) ou vegetação campestre (natural), ambas apresentando interferências antrópicas de alta intensidade.
Mosaico de ocupações em área florestal	São áreas de ocupação mista, de área agrícola, pastagem e/ou silvicultura, associadas ou não a remanescentes florestais, nas quais não é possível uma individualização de seus componentes. Com perturbações naturais e antrópicas, mecânicas ou não mecânicas, que dificultam a sua caracterização.
Silvicultura	São áreas com atividade de cultivo de florestas plantadas com espécies exóticas ou nativas como monocultura. Além da pesquisa de extração vegetal e silvicultura.
Vegetação florestal	São áreas ocupado com florestas. Considera-se como florestais, as formações arbóreas, com porte superior a 5 metros de altura, incluindo-se áreas de Floresta Ombrófila Densa, de Floresta Ombrófila Aberta, de Floresta Estacional, além da Floresta Ombrófila Mista, Savana Florestada, Campinarana Florestada, os Manguezais e os Buritizais.

Vegetação Campestre	São áreas caracterizadas por formações campestres. Entende-se como campestres as diferentes categorias de vegetação fisionomicamente diversas da florestal, ou seja, aquelas que se caracterizam por um estrato predominantemente arbustivo, esparsamente distribuído sobre um estrato gram neo-lenhoso. Incluindo a Savanas, Estepes, Savanas-Estépicas, Formações Pioneiras e Refúgios Ecológicos.
Mosaico de ocupações em área campestre	São áreas de ocupação mista de área agrícola, pastagem e/ou silvicultura, associada, ou não, a remanescentes campestres, na qual não é possível uma individualização de seus componentes. Com perturbações naturais e antrópicas, mecanizadas ou não mecanizadas, que dificultam a sua caracterização.
Corpo de água continental	São áreas com águas interiores, como rios, riachos, canais e outros corpos d'água lineares, corpos d'água naturalmente fechados, sem movimento (lagos naturais regulados) e reservatórios artificiais.

Fonte: IBGE (2022).

Segundo Tucci (2005), a cobertura vegetal retém parte das precipitações, diminuindo o escoamento superficial; porém, a perda dessa cobertura para o uso agrícola favorece o aumento da impermeabilidade do solo e do escoamento superficial. Os solos com cobertura vegetal pouco modeladas por intervenções humanas são mais permeáveis e tendem a acumular menos água na superfície do que os solos com uma cobertura vegetal muito modelada por intervenções humanas. Relacionando as características das classes de uso e cobertura da terra do município com os argumentos apresentadas por Tucci (2005) foi possível criar o Quadro 6, que associa essas classes de uso e cobertura da terra com o nível de impermeabilização, como pode ser observado a seguir:

Quadro 6 - Classes de uso e cobertura da terra relacionada ao seu grau de impermeabilização

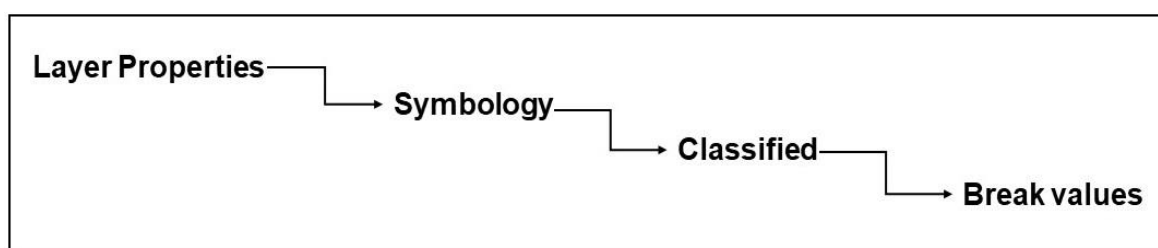
Uso e cobertura da terra	Nível de impermeabilização
Área artificial	Muito Alto
Área agrícola	Alto
Pastagem com manejo	Muito Alto
Mosaico de ocupações em área florestal	Baixo
Silvicultura	Baixo
Vegetação florestal	Muito Baixo
Vegetação campestre	Médio

Mosaico de ocupações em área campestre	Médio
Corpo d'água continental	Muito Alta
Áreas sem dados	Nulo

Fonte: Elaborado pelo autor (2024), com dados do IBGE (2022).

Já os dados mostrados no mapa temático de hipsometria são elementos que influenciam no risco de inundações, devido à maior probabilidade da incidência desse fenômeno em regiões mais baixas do terreno. Esta condição é provocada pela ação da gravidade, que direciona a água para regiões de baixa altitude (MAGALHÃES *et al.*, 2011, p. 65). Para esse estudo as altitudes do mapa de hipsometria foram reclassificadas através do *ArcGIS* 10.5 (ESRI) em dez níveis de altitude, com um índice de amplitude de 79,6 metros, na escala de variação altimétrica entre 854 e 1.650 metros. O intervalo das classes foi determinado a partir das altitudes encontradas no relevo do município estudado. Com isso, foi realizado a reclassificação dos níveis de altitude, conforme os passos apresentados no Fluxograma 2, a seguir:

Fluxograma 2 - Comandos para reclassificar as altitudes no *ArcGIS*



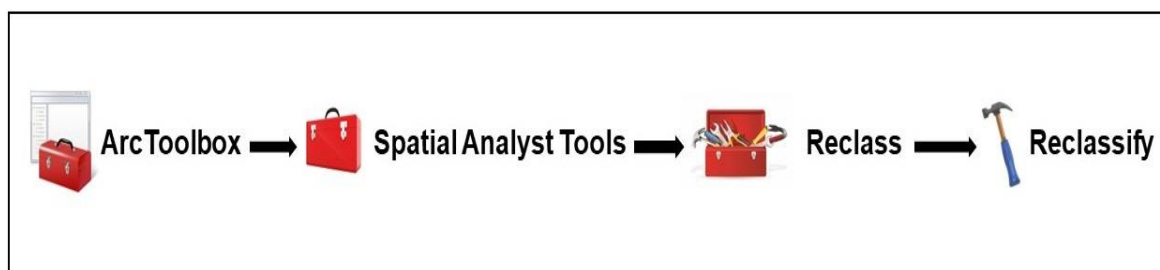
Fonte: *ArcGIS* (2024).

Da mesma forma, os dados do mapa temático de declividade que representam graficamente os diferentes níveis de inclinação existentes na superfície do município são variáveis importantes para a definição das áreas propícias a inundações, pois elas influenciam diretamente no acúmulo de água no terreno, visto que as áreas planas apresentam maiores probabilidades de ocorrência desse acúmulo, em relação às áreas mais alcantiladas (MAGALHÃES *et al.*, 2011, p. 65). Para uma melhor análise desses dados, estes foram redefinidos em seis classes de declividade, com valores distintos de amplitude, conforme a proposição da EMBRAPA (1979), em nível de porcentagem: 0-3% (relevo plano), 3-8% (relevo suavemente ondulado), 8-20% (relevo ondulado), 20-45 (relevo fortemente ondulado), 45-75% (relevo montanhoso) e >75% (relevo fortemente montanhoso).

3.3 SEGUNDA ETAPA: RECLASSIFICAÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS

Nesta etapa foi realizada a reclassificação dos dados presentes nos mapas temáticos de pedologia, uso e cobertura da terra, hipsometria e declividade do município, a fim de aplicar notas quanto ao grau de risco de inundação variando de 0 a 10, para as áreas menos e mais predispostas ao risco de inundação, respectivamente. Cabe salientar que a reclassificação de cada mapa temático foi realizada a partir da aplicação da ferramenta *Reclassify*, disponibilizada no aplicativo *ArcGIS 10.5* (ESRI), conforme apresentado no Fluxograma 3, a seguir:

Fluxograma 3 - Comandos para reclassificar os mapas temáticos.



Fonte: *ArcGIS* (2024).

O processo descrito anteriormente foi realizado para cada um dos quatro mapas temáticos básicos, levando em consideração as notas estabelecidas e os atributos, no tocante ao grau de risco de inundação.

Com isso, a reclassificação do mapa de pedologia baseou-se nas características dos solos existentes no município e os níveis de impermeabilidade apresentados por Oliveira e Vieira (2017), que classificaram os solos arenosos como propícios a fornecer maior infiltração e percolação, reduzindo assim o escoamento superficial e os solos compostos por sedimentos finos (silte e argila), bem como os solos compactados superficialmente, que retêm mais água na superfície e produzem um maior escoamento superficial.

Com base nesta compreensão e nas características dos solos existentes no município, subentende-se que as classes de solo identificadas como de composição argilosa e compactadas superficialmente recebem os maiores pesos, pelo fato de contribuírem com o risco de inundação. Já os solos arenosos e menos compactados, por propiciarem maior infiltração e percolação, recebem pesos menores, conforme destaca o Quadro 7 , a seguir:

Quadro 7 - Categorias de pedologia e respectivos pesos atribuídos quanto ao grau de risco de inundação.

Notas estabelecidas para a pedologia segundo ao grau de risco de inundação	
Classes	Nota
Área urbana	9
Corpo d'água	10
LVd - Latossolo Vermelho Distrófico	4
NXd – Nitossolo Háplico Distrófico	4
CXbd – Cambissolo Háplico Tb Distrófico	3
PVAd - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	4
PVAe - Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	4

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para a reclassificação do mapa de uso e cobertura da terra levou-se em consideração os apontamentos de Tucci (2005), que menciona o fato da cobertura vegetal reter parte das precipitações e diminuir o escoamento superficial, embora a perda dessa cobertura vegetal, pelo uso agrícola, favorece o aumento da impermeabilidade do solo e do escoamento superficial. Comparando esse argumento com as características de uso e cobertura da terra existentes no município, foram atribuídos pesos que variam de 0 a 10. Ou seja, quanto maior o potencial de impermeabilização do uso e cobertura da terra, maior será o peso atribuído, e quanto menor o potencial de impermeabilização, menor será o peso atribuído. O Quadro 8, a seguir, apresenta os pesos atribuídos às classes de uso e cobertura da terra encontrados no município:

Quadro 8 - Categorias de uso e cobertura da terra e respectivos pesos atribuídos quanto ao grau de risco de inundação.

Notas estabelecidas para o uso e cobertura da terra segundo ao grau de risco de inundação	
Classes	Nota
Área artificial	09
Área agrícola	08
Pastagem com manejo	09
Mosaico de ocupações em área de florestal	03
Silvicultura	02
Vegetação florestal	01
Vegetação campestre	04
Mosaico de ocupações em área campestre	05
Corpo d'água continental	10
Área sem dados	00

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Por fim, para reclassificar as variáveis existentes nos mapas de hipsometria e declividade, foram estabelecidos pesos de acordo com os esclarecimentos de Magalhães *et al.* (2011) e Tucci (2003), que mencionam serem as áreas planas e com declividade baixa, as áreas mais propensas ao risco de inundação. Desse modo, os Quadro 9 e Quadro 10 a seguir, apresentam as notas atribuídas, segundo o grau de risco de inundação, para as variáveis de hipsometria e declividade:

Quadro 9 - Faixas de altitude e respectivos pesos atribuídos quanto ao grau de risco de inundação.

Notas estabelecidas para a hipsometria segundo ao grau de risco de inundação	
Hipsometria (m)	Nota
854 - 933	10
933 - 1.013	9
1.013 - 1.092	8
1.092 - 1.172	7
1.172 - 1.252	6
1.252 - 1.331	5
1.331 - 1.411	4
1.411 - 1.490	3
1.490 - 1.570	2
1.570 - 1.650	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Quadro 10 - Faixas de declividade e respectivos pesos atribuídos quanto ao grau de risco de inundação.

Notas estabelecidas para a declividade segundo ao grau de risco de inundação	
Declividade (%)	Nota
0 – 3	10
3 – 8	9
8 – 20	5
20 – 45	3
45 – 75	1
> 75 - 167	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

3.4 TERCEIRA ETAPA: APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP

Esta etapa consistiu na aplicação do método AHP, que compreende as seguintes etapas:

- I - Organização dos elementos a serem julgados;
- II - Matriz de comparação pareada e soma dos elementos de cada coluna;
- III - Normalização dos pesos;
- IV - Análise da consistência dos julgamentos: cálculo do autovalor, cálculo do índice de consistência e determinação dos pesos estatísticos para cada variável;
- V - Cálculo da razão de consistência dos julgamentos para determinação dos pesos estatísticos para cada variável.

Primeiramente, foi realizada a organização dos elementos a serem julgados, atribuindo-lhes a seguinte ordem de importância: declividade, hipsometria, uso e cobertura da terra e pedologia. O Quadro 11 a seguir, apresenta essa organização:

Quadro 11 - Organização dos elementos a serem julgados (1.º Passo).

Pares de critérios a serem avaliados				
Critérios Critérios	Pedologia	Uso e cobertura da terra	Hipsometria	Declividade
Pedologia	pedologia/ pedologia	pedologia/uso e cobertura da terra	pedologia/ hipsometria	pedologia/ declividade
Uso e cobertura da terra	uso e cobertura da terra/ pedologia	uso e cobertura da terra/uso e cobertura da terra	uso e cobertura da terra/hipsometria	uso e cobertura da terra/declivid ade
Hipsometria	hipsometria/ pedologia	hipsometria/uso e cobertura da terra	hipsometria/ hipsometria	hipsometria/ declividade
Declividade	declividade/ pedologia	declividade/uso e cobertura da terra	declividade/ hipsometria	declividade/ declividade

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O peso dado pelo observador para julgar a importância de um elemento sobre o outro segue a matriz de nível hierárquico, expressa no Quadro 12 . Após o julgamento dos elementos, temos a matriz de comparação, informada no Quadro 13.

Quadro 12 - Matriz de nível hierárquico de Saaty (1977) (2.º Passo)

Matriz de nível hierárquico de Saaty (1977)	
Valores	Importância mútua
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito mais fortemente importante que
9	Extremamente mais importante que

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Quadro 13 - Montagem da matriz de comparação (3.º Passo)

Critérios	Pedologia	Uso e cobertura da terra	Hipsometria	Declividade
Pedologia	1	1/5	1/7	1/9
Uso e cobertura da terra	5	1	1/3	1/5
Hipsometria	7	3	1	1/3
Declividade	9	5	3	1
Soma	22	9,20	4,48	1,64

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A interpretação do Quadro 13 pode ser feita da seguinte forma: tomando como exemplo a comparação entre uso e cobertura da terra (coluna 2) e declividade (linha 4), o uso e cobertura da terra apresenta 1/5 da importância da declividade. De acordo com o Quadro 12, o uso e cobertura da terra mostra-se fortemente menos importante que o fator declividade, e assim por diante.

Para chegar ao resultado final da matriz de comparação, Saaty (1977)⁴ explica que o resultado da soma da hierarquização do Quadro 13 deve ser utilizado para dividir cada item analisado, conforme o 4.º passo descrito, no Quadro 14 e finalizado no (5.º Passo).

Quadro 14 - Montagem da matriz de comparação (4.º Passo)

Cálculo dos pesos para cada variável				
Critérios / Critérios	Pedologia	Uso e cobertura da terra	Hipsometria	Declividade
Pedologia	1 ÷ 22	1/5 ÷ 9,20	1/7 ÷ 4,48	1/9 ÷ 1,64
Uso e cobertura da terra	5 ÷ 22	1 ÷ 9,20	1/3 ÷ 4,48	1/5 ÷ 1,64
Hipsometria	7 ÷ 22	3 ÷ 9,20	1 ÷ 4,48	1/3 ÷ 1,64
Declividade	9 ÷ 22	5 ÷ 9,20	3 ÷ 4,48	1 ÷ 1,64

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Quadro 15 - Resultado da divisão dos fatores pela soma (5.º Passo)

Normalização do autovetor						
Critérios / Critérios	Pedologia	Uso e cobertura da terra	Hipsometria	Declividade	Pesos	Autovetor (%)
Pedologia	0,045	0,022	0,032	0,068	0,042	4,2
Uso e cobertura da terra	0,227	0,109	0,074	0,122	0,133	13,3
Hipsometria	0,318	0,326	0,223	0,203	0,268	26,8
Declividade	0,409	0,543	0,667	0,610	0,557	55,7

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

⁴Thomas L. Saaty, criador na década de 1970 do método AHP, método esse que consiste na elaboração de um modelo que reflita o funcionamento da mente humana na avaliação das alternativas diante de um problema de decisão complexo. Além disso, o método permite lidar com problemas que envolvem tanto os valores tangíveis como os intangíveis, graças à sua capacidade de criar medidas para as variáveis qualitativas com base em julgamentos subjetivos emitidos pelo decisor (SAATY, 1991).

Ao final, foram obtidas as médias simples por linha, gerando assim os pesos para a elaboração do mapa de risco, conforme dispõe o Quadro 16 .

Quadro 16 - Pesos médios para elaboração do mapa de risco de inundação

Fator	Peso
Pedologia	0,042
Uso e cobertura da terra	0,133
Hipsometria	0,268
Declividade	0,557

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O resultado do autovetor indica que a declividade tem importância de 55,7%, a hipsometria de 26,8%, o uso e cobertura da terra de 13,3% e a pedologia de 4,20% com relação ao risco de inundação. A próxima etapa refere-se à verificação da consistência dos resultados obtidos, conforme os critérios estabelecidos por Saaty (1980). Essa averiguação é feita, de acordo com Santos *et al.* (2010), por meio do cálculo do Índice de Consistência (IC) e da Razão de Consistência (RC) do resultado apresentado (λ), os quais permitem verificar o resultado final da matriz.

A análise da consistência dos julgamentos, com o objetivo de avaliar se os pesos calculados para o modelo são aceitáveis, se dá através da multiplicação da matriz de comparação pareada no Quadro 14 com os pesos identificados no Quadro 16, conforme os cálculos apresentados a seguir.

$$Aw = \begin{pmatrix} 1 & 0,2 & 0,143 & 0,111 \\ 5 & 1 & 0,333 & 0,2 \\ 7 & 3 & 1 & 0,333 \\ 9 & 5 & 3 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{matrix} 0,042 \\ 0,133 \\ 0,268 \\ 0,557 \end{matrix}$$

$$(1 \times 0,042) + (0,2 \times 0,133) + (0,143 \times 0,268) + (0,111 \times 0,557) = \mathbf{0,169}$$

$$(5 \times 0,042) + (1 \times 0,133) + (0,333 \times 0,268) + (0,2 \times 0,557) = \mathbf{0,544}$$

$$(7 \times 0,042) + (3 \times 0,133) + (1 \times 0,268) + (0,333 \times 0,557) = \mathbf{1,146}$$

$$(9 \times 0,042) + (5 \times 0,133) + (3 \times 0,268) + (1 \times 0,557) = \mathbf{2,404}$$

O cálculo do índice de consistência se dá pela fórmula a seguir, onde o $\lambda_{\text{máx}}$ é $\frac{1}{n}$ e n corresponde ao número de variáveis a serem consideradas.

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{1}{4} \times \left(\frac{0,169}{0,042} + \frac{0,544}{0,133} + \frac{1,146}{0,268} + \frac{2,404}{0,557} \right) = 4,18$$

$$\text{IC} = \left(\lambda_{\text{máx}} - n \right) \div (n - 1)$$

$$\text{IC} = (4,18 - 4) \div (4 - 1)$$

$$\text{IC} = 0,06$$

A razão de consistência das avaliações (RC) é a divisão entre o índice de consistência (IC) e o índice de consistência aleatória (CA), conforme apresentado no Quadro 17.

Quadro 17 - Valores de consistência aleatória (CA) em função da ordem da matriz (n)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CA	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Fonte: Saaty (1980 *apud* PINESE JÚNIOR E RODRIGUES, 2012, p.12).

$$\text{RC} = \text{IC}/\text{IR} = 0,06/0,9 = 0,06$$

$$\text{RC} = 0,06$$

Conforme Saaty (1980), os valores abaixo de 0,10 no RC comprovam que a decisão de um observador tem consistência. Analisando o resultado (RC= 0,06), obtido através da equação da razão de consistência no julgamento do autor deste estudo, foi comprovada a coerência em seu julgamento. Após essa comprovação, foi realizada a quarta e última etapa para elaboração do mapa de risco.

3.5 QUARTA ETAPA: ELABORAÇÃO DO MAPA DE RISCO DE INUNDAÇÃO

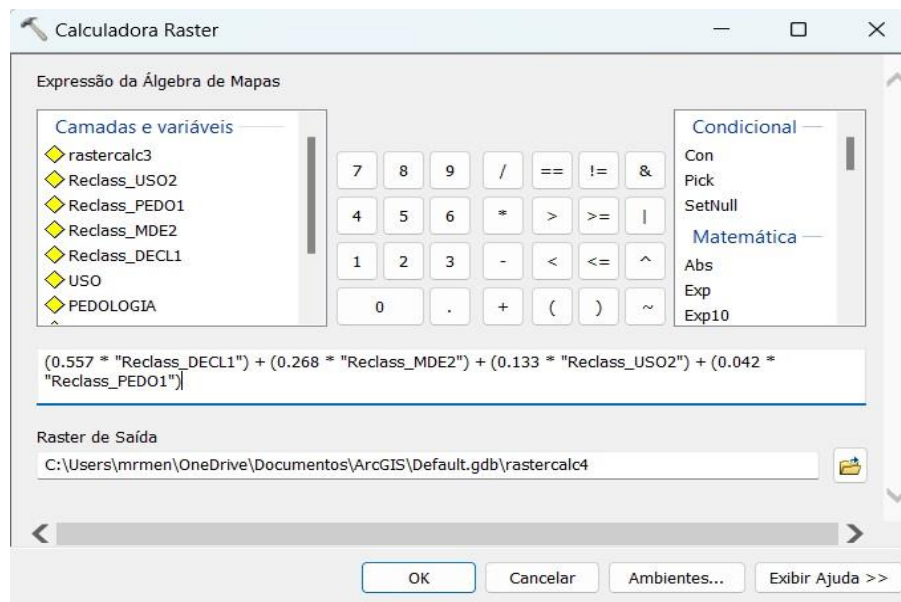
Nesta última etapa foi realizado o cruzamento dos dados espaciais dos quatro mapas temáticos reclassificados, que foram inseridos pela equação demonstrada no Quadro 18 na calculadora *raster*, apresentada na Figura 11, uma ferramenta do *ArcGIS* 10.5 (ESRI), que possibilita a geração do mapa de risco de inundação.

Quadro 18 - Equação para elaboração do mapa de risco de inundação da área de estudo

$$\text{Risco de inundação} = (0,042 \times \text{pedologia}) + (0,133 \times \text{uso e cobertura}) + (0,268 \times \text{Hipsometria}) + (0,557 \times \text{declividade})$$

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 11 - Calculadora raster do *ArcGis*



Fonte: *ArcGIS* (2024).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE DOS MAPAS TEMÁTICOS

4.1.1 Mapa de hipsometria

O mapa de hipsometria foi dimensionado em dez intervalos de altitude, variando de 854 metros a 1650 metros. As menores altitudes encontradas no município estão na faixa de 854 metros a 933 metros, abrangendo 10,15% da área total do município. A segunda faixa altimétrica varia de 933 metros a 1013 metros e abrange 11,54% do município. A terceira faixa altimétrica varia de 1013 metros a 1092 metros, cobrindo 4,82% do município, enquanto a quarta faixa altimétrica varia de 1092 metros a 1172 metros e abrange 17,505% do município. Essas quatro faixas altimétricas são encontradas apenas na região norte do município e incluem pastagens de manejo, áreas agrícolas, mosaicos de ocupações em áreas florestais, silvicultura e vegetação florestal.

A quinta faixa altimétrica varia de 1172 metros a 1252 metros e cobre 7,58% do município, incluindo parte da área urbana e mosaicos de ocupações em áreas campestres.

A sexta faixa altimétrica varia de 1225 metros a 1331 metros e abrange 36,04% do município, sendo a mais extensa encontrada na área de estudo, incluindo parte da área urbana e várias outras classes de uso e cobertura da terra do município.

A sétima faixa altimétrica varia de 1331 metros a 1411 metros e abrange 19,75% do município, sendo a segunda faixa altimétrica mais predominante na área de estudo.

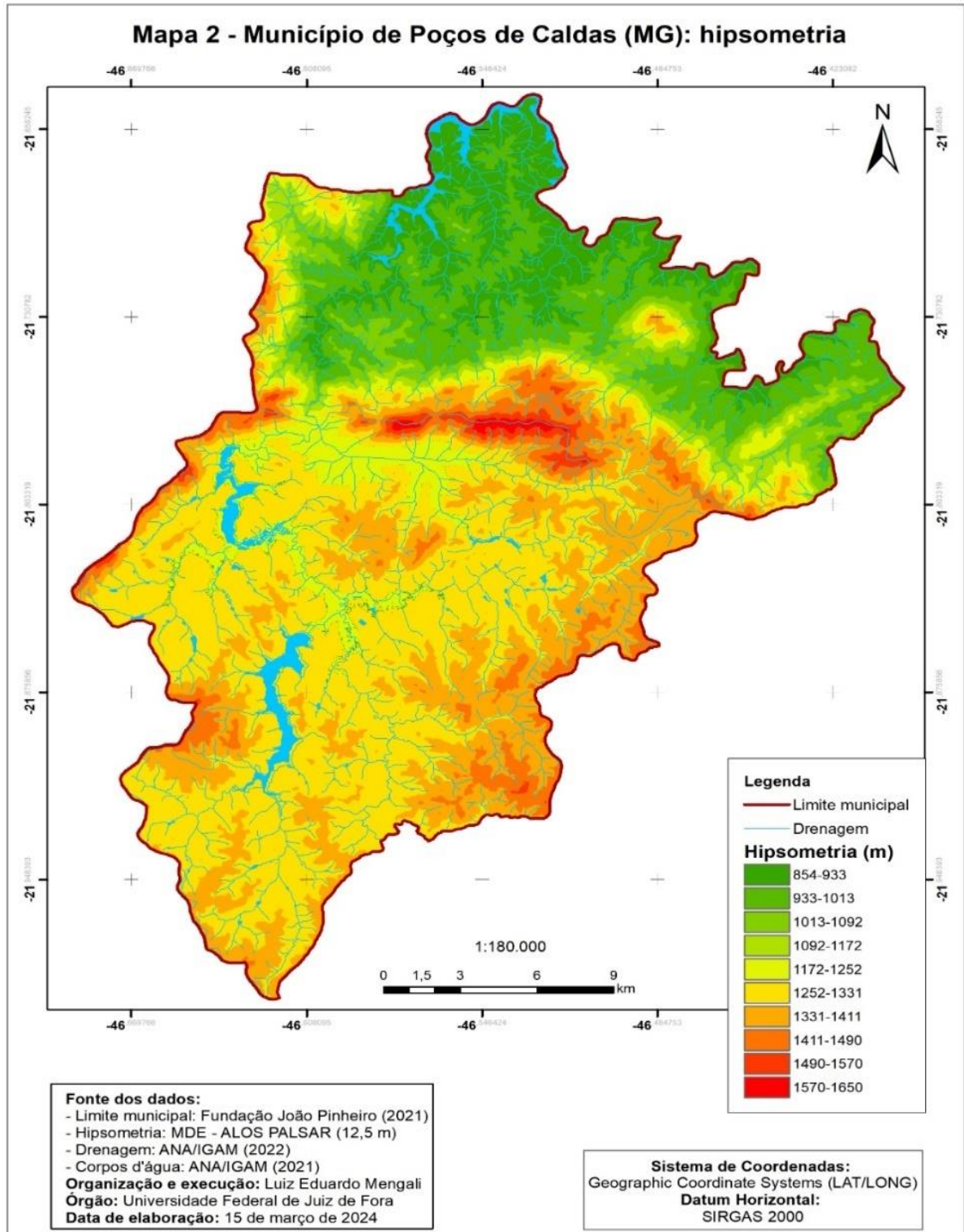
A oitava faixa altimétrica varia de 1411 metros a 1490 metros e cobre 5,50% do município. A nona faixa altimétrica varia de 1490 metros a 1570 metros e cobre 1,09% do município. Por fim, a décima e mais elevada faixa altimétrica encontrada no município, que varia de 1570 metros a 1650 metros, cobre 0,33% da área de estudo.

Por ação da gravidade, a água tende sempre a migrar das partes mais altas dos relevos para as partes mais baixas. Em decorrência disso, os dados de hipsometria são mais relevantes do que os dados de pedologia e uso e cobertura da terra em relação ao grau de risco a inundações. No entanto, os dados de hipsometria são menos relevantes que os dados de declividade, pois uma topografia de baixa altitude pode, às

vezes, apresentar uma declividade fortemente ondulada ou até mesmo montanhosa, o que dificulta o acúmulo de água.

Dessa forma, foi atribuído aos dados de hipsometria um valor em porcentagem de 26,8% em importância em relação ao grau de risco a inundações durante a etapa de utilização do método de análise hierárquica (AHP). Os dados analisados podem ser observados no Mapa 2, a seguir:

Mapa 2 - Hipsometria



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.1.2 Mapa de declividade

O mapa de declividade foi dividido em seis classes de relevos. O relevo de declividade plana, que varia de 0 a 3%, é encontrado em 3,62% da área do município. Este relevo é identificado nas áreas urbanas próximas aos cursos d'água, em altitudes que variam de 854 metros a 933 metros e de 1.252 metros a 1.351 metros.

Os relevos com declividade de 3 a 8%, denominados suavemente ondulados, são encontrados em 15,07% do município. Estes relevos são identificados nas áreas urbanas em grande quantidade e em todas as faixas altimétricas do município.

As áreas que variam de 8 a 20% de declividade são denominados de ondulados. Este relevo é encontrado em 38,74% do município, sendo o mais predominante e pode ser identificado em todas as altitudes do município, como na área urbana do município.

A maior parte dos relevos no município possui declividades que variam de plana a ondulada. Esses relevos são mais perceptíveis na área urbana, na porção central até a região sul e na região sudoeste do município, sendo os mais propensos a inundações.

Os relevos com declividade de 20 a 45% são denominados fortemente ondulados, sendo encontrados em 37,38% do município. Esse é o segundo maior tipo de relevo identificado no município.

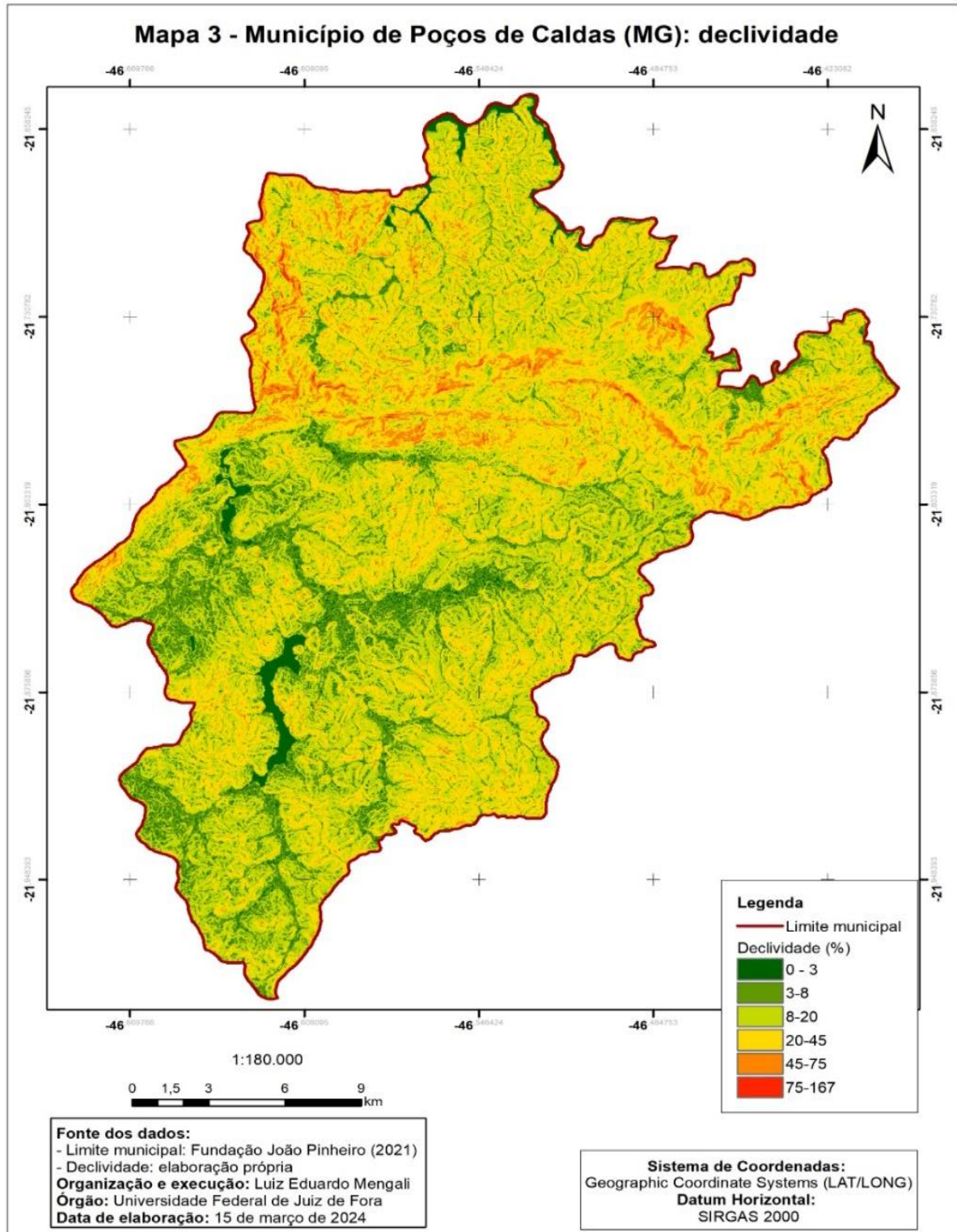
Os relevos com declividade de 45 a 75% são denominados montanhosos e são encontrados em 4,65% do município.

Por fim, os relevos com declividade de 75% a 167% são denominados fortemente montanhosos, sendo encontrados em 0,26% do município.

Como as águas das precipitações, independente do volume, movimentam-se pela ação da gravidade dos relevos escarpados para os relevos planos, e essas características geomorfológicas são identificadas através dos dados de declividade, foi atribuído a esses dados um valor em porcentagem de 55,7% de importância em relação ao grau de risco a inundações durante a etapa de utilização do método de análise hierárquica (AHP).

Os dados de declividades analisados podem ser observados no Mapa 3, apresentado a seguir:

Mapa 3 - Declividade



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

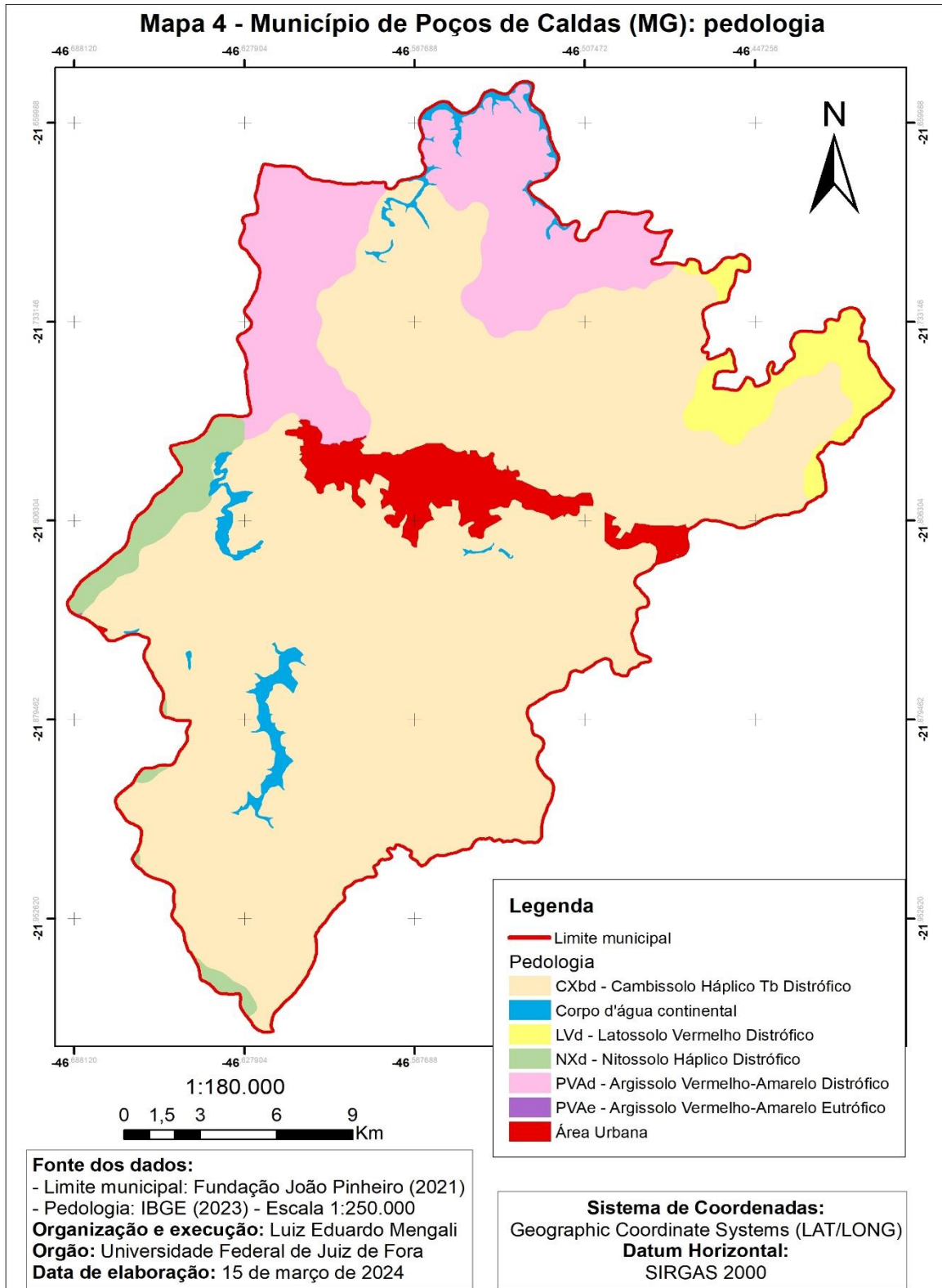
4.1.3 Mapa de pedologia

No mapa de pedologia identificaram-se sete classes de solos, sendo o cambissolo háplico Tb distrófico o maior deles, em área, pois possui 398,454 km² de extensão e está presente em 72,84% da área do município. A presença deste solo em grande parte do município é um fator positivo, pelo fato de apresentar uma textura médio-argilosa e a presença de cascalho, o que lhe proporciona uma variação de fortemente a imperfeitamente drenável (SANTOS *et al.*, 2018).

O mapa indica também, na região norte do município, a ocorrência de dois tipos de solos, sendo o argissolo vermelho-amarelo distrófico, o segundo maior em extensão, uma vez que possui 79,554 km² e está presente em 14,54% do município. O outro refere-se ao latossolo vermelho distrófico, que se distribui por 19,458 km² de extensão. Estes solos possuem uma textura mais argilosa e cores vermelha e amarela e mais avermelhada em decorrência dos teores de óxido férrico, hematita e goethita (SANTOS *et al.*, 2018). Já nas regiões oeste, sudoeste e sul do município encontram-se áreas com o nitossolo háplico distrófico, que perfaz um total de 14,464 km² de área, e o argissolo vermelho-amarelo eutrófico, que se estende por 0,0580 km² de extensão, sendo este o tipo de solo de menor ocorrência no município. Na área central e a sudoeste do município é encontrada a área artificial, que corresponde basicamente à área urbanizada e ocupa 24,398 km², e por fim, espalhados pelo município, são encontrados os corpos d'água continentais, cobrindo uma área de 10,572 km².

Devido ao fato de o solo perder a sua capacidade de retenção de água após o estágio de saturação excessiva, passando a acumular o excesso hídrico em sua superfície. Os dados de pedologia, em comparação aos dados disponíveis nos outros mapas temáticos utilizados nesta pesquisa, foram considerados com uma menor relevância, sendo-lhes conferido um valor em porcentagem de 4,20% de importância em relação ao grau de risco a inundações durante a etapa de utilização do método de análise hierárquica (AHP). O Mapa 4, apresentado a seguir, mostra a distribuição dos tipos de solo no município:

Mapa 4 - Pedologia



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.1.4 Mapa de uso e cobertura da terra

Ao examinar o mapa de uso e cobertura da terra, são identificadas nove classes de uso e cobertura da terra. A maior parte dessa cobertura é formada pelo mosaico de ocupações em área campestre, presente em 154,456 km² do município. Essa classe é caracterizada por um uso e cobertura agregados de áreas agrícolas, pastagem e/ou silvicultura, coexistente dentro de um contexto de vegetação campestre, que é composta por árvores baixas e savana gramínea-lenhosa (PMPC, 2006).

A segunda maior cobertura em área é o mosaico de ocupações em área florestal, que está presente em 154,445 km² do município. Essa classe consiste em uma heterogenia entre áreas agrícolas, pastagem e/ou silvicultura coabitando em uma área de floresta estacional semidecidual com árvores do tipo caducifólias (PMPC, 2006). Essas duas áreas juntas compõem mais da metade da área total do município.

A terceira é a pastagem de manejo, que possui 74,039 Km². Essas áreas são destinadas ao pastoreio do gado e outros animais. A quarta é a silvicultura, que possui 55,297 km² e são áreas utilizadas para cultivo. A quinta é a área artificial, que abrange 32,995 km². A sexta é a vegetação florestal, com 31,507 km². Esta vegetação é composta por florestas ombrófilas mistas fazem parte do bioma da mata atlântica e as florestas de montanha, uma floresta pouco densa que, devido à altitude, tem a ocorrência de pinheiros e matas ciliares. Suas árvores variam entre 8 e 14 metros (PMPC, 2006).

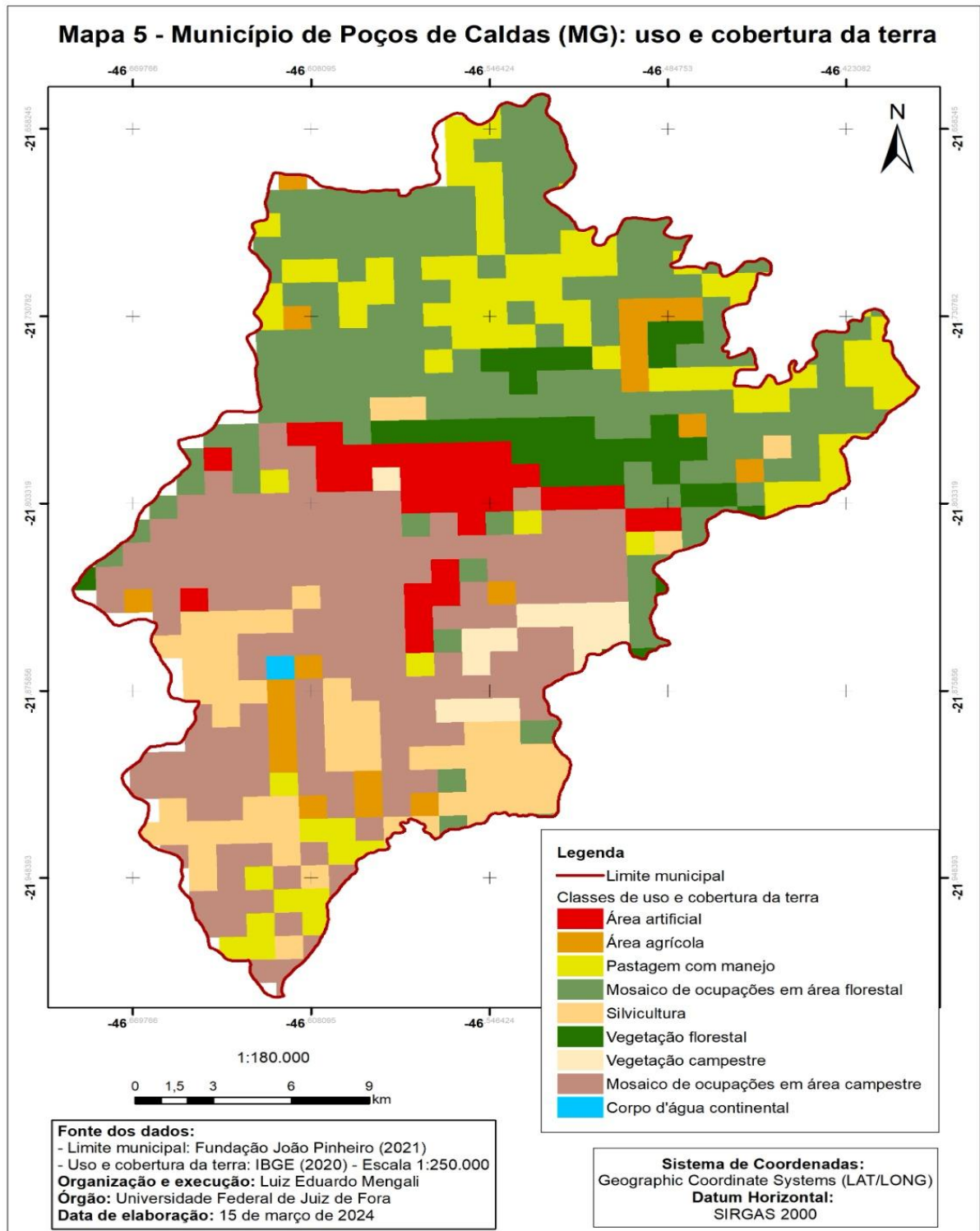
A sétima é a área agrícola, que abrange um total de 20,652 km² e é utilizada para lavoura temporária ou permanente. A oitava é a vegetação campestre que cobre uma área de 13,383 km². Essa vegetação é constituída por campo sujo e capoeiras; suas árvores são baixas e atingem até cinco metros (PMPC, 2006). A nona e menor classe de uso e cobertura em extensão é o corpo d'água continental, com 0,999 km².

Os dados de uso e cobertura da terra são mais relevantes do que os dados de pedologia, em relação ao grau de risco a inundações, pelo fato de as coberturas vegetais realizarem três funções: a primeira, de auxiliar no processo de infiltração da água no solo; a segunda, de diminuir o escoamento superficial; e a terceira, de

absorver parte desta água para sua nutrição e purificação, com mais intensidade nos usos e cobertura da terra menos manipulados por ações antrópicas.

Porém, assim como ocorre com os dados de pedologia, quando o volume de água excede a capacidade de retenção do solo, a cobertura vegetal não consegue realizar os processos de infiltração, diminuição do escoamento superficial e absorção com a mesma eficiência, resultando no acúmulo do excesso hídrico na superfície do solo. Por conseguinte, o uso e cobertura da terra é menos relevante em comparação aos dados dos mapas temáticos de hipsometria e declividade utilizados nesta pesquisa, sendo-lhe atribuído um valor em porcentagem de 13,3% de importância em relação ao grau de risco a inundações durante a etapa de utilização do método de análise hierárquica (AHP). Isto pode ser observado no Mapa 5, exposto a seguir:

Mapa 5 - Uso e cobertura da terra



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.2 ANÁLISE DO MAPA DE RISCO DE INUNDAÇÃO

Para o desenvolvimento do mapa de risco foi realizada uma comparação das características dos quatro mapas temáticos elaborados para este estudo, com o grau de vulnerabilidade que essas características possuem em relação ao risco de inundação. Por causa dessa comparação foi possível atribuir notas para essas características, reclassificando-as quanto ao seu grau de risco à inundação.

De posse dessas características reclassificadas e dos pesos a elas atribuídos durante a utilização do método de análise hierárquica (AHP) para a qualificação dos dados menos e mais relevantes, foi realizado o cruzamento destas informações no *ArcGIS* 10.5 (ESRI), para elaboração do mapa de risco.

O mapa de risco divide a área de estudo de forma hierarquizada em cinco classes de risco de inundações: baixo-baixíssimo risco, médio-baixo risco, médio risco, alto-médio risco e altíssimo-alto risco. A análise do mapa demonstra que a primeira classe de risco, classificada como de baixo-baixíssimo risco, abrange 0,691 km², sendo a menor porção encontrada, correspondente a 0,15% da área total do município. Essa classe de risco é identificada nas áreas mais elevadas do município, que possuem uma vegetação florestal denominadas florestas de montanha. Por suas características, essas áreas têm menos probabilidade de ocorrência de inundações.

A segunda classe são as áreas de médio-baixo risco que possuem 111,80 km² de extensão, representando 19,87% do total de área do município. Nestas áreas identifica-se a presença de relevos com declividades que variam de 20 a 45% (fortemente ondulados) até relevos acima de 75% (fortemente montanhosos), assim como altitudes que oscilam entre 1.172 metros e 1.650 metros. Esse resultado tem coerência, pois as áreas de maior inclinação tendem a não acumular água em suas superfícies.

A terceira classe é classificada como de médio risco e ocupam área de 327,62 km², o que perfaz 57,59% do total do município; ou seja, mais da metade do município é composto por essa classe de risco. Encontra-se a presença desta classe de risco na área urbana, nas áreas com variações altimétricas de 933 metros a 1.172 metros e de 1.252 metros a 1490 metros e nas áreas com relevo ondulado e fortemente ondulado. Os locais com essa classe de risco devem ser monitorados para emissão de alerta nos períodos de precipitações mais intensas, pois nestas áreas podem

ocorrer eventos adversos relacionados a inundações em pequena escala, e que podem deslocar com maior intensidade para as áreas a jusante do município, classificadas por esse mapa de risco, como áreas de alto-médio risco e altíssimo-alto risco deixando os habitantes dessas áreas em perigo.

A quarta classe é classificada em áreas de alto-médio risco e ocupam cerca de 114.98 km² de extensão, o que equivale a 20,74% do total do município. Depara-se com essa classe de risco na área urbana, nas planícies de inundação próximas dos cursos d'água, da região leste para região oeste da área urbana passando pelo centro do perímetro urbano, na região norte e sul do município. Essa classe de risco é a segunda mais predominante, o que representa um problema ao município, pois uma parcela da população, como também alguns órgãos públicos vivem nestas áreas vulneráveis e são os que mais sofrerão com os efeitos das inundações; por conseguinte, são essas áreas juntamente com as de altíssimo-alto risco, que mais necessitam da atenção dos órgãos de gerenciamento de risco municipal.

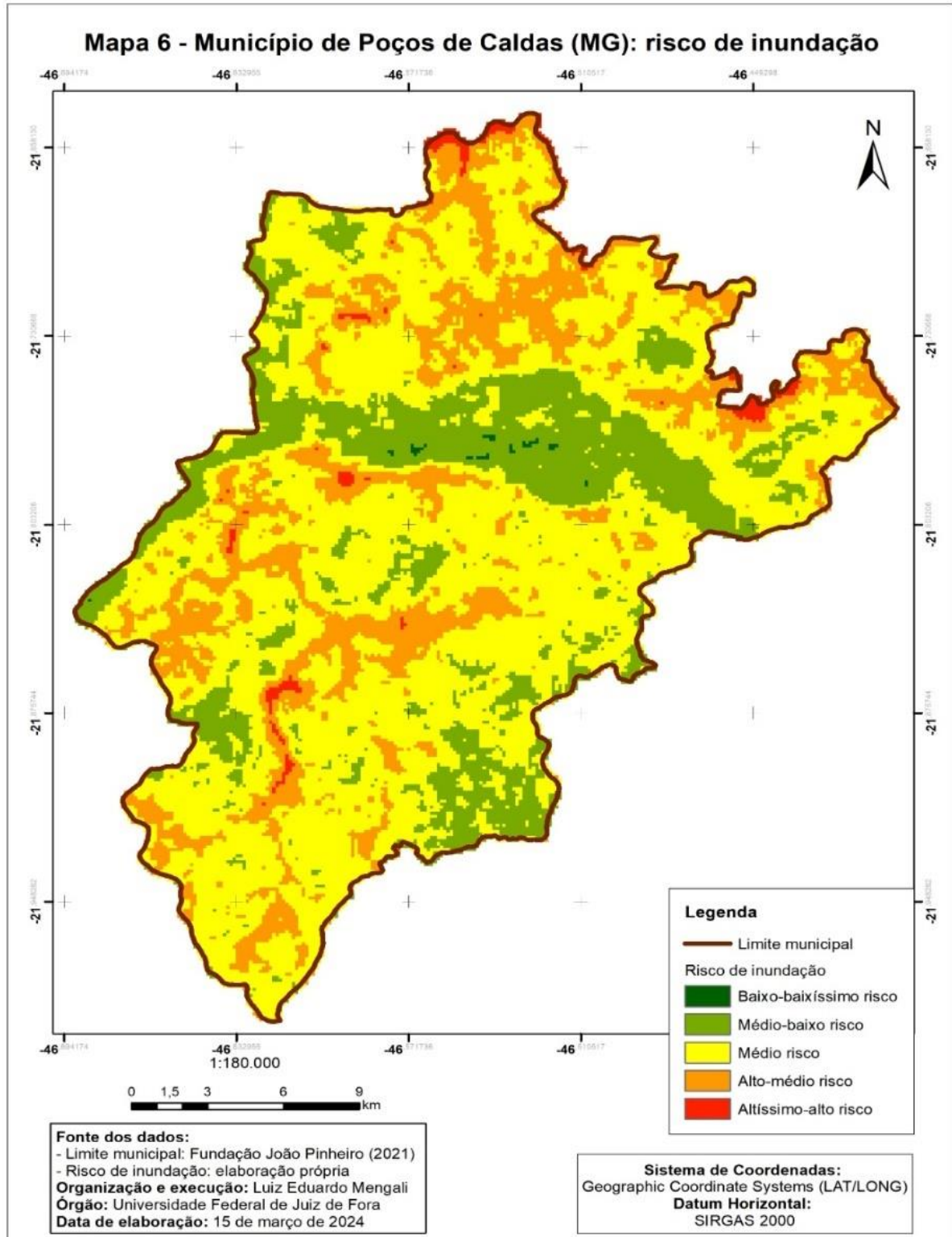
Por fim a quinta classe de risco é classificada como áreas de altíssimo-alto risco, abrangendo uma extensão territorial de 7,31 km², o que equivale a 1,30% da área total município. Essas áreas estão situadas nas regiões sul, oeste e norte do município, na zona urbana, como também nas planícies de inundação adjacentes aos cursos e corpos d'água, e em locais caracterizadas por uma declividade plana.

Isto representa mais um grave problema para o município devido à possibilidade da ocorrência de perdas humanas, estruturais e materiais em caso de fenômenos naturais, como chuvas intensas e prolongadas. Nestas áreas, a exposição a tais eventos climáticos extremos aumenta consideravelmente, elevando os riscos associados. Além das consequências diretas, como danos à infraestrutura e propriedades, as inundações podem causar interrupções no fornecimento de serviços básicos, como eletricidade e água potável, impactando significativamente a qualidade de vida das populações afetadas. Ademais, os custos socioeconômicos associados à recuperação pós-desastre nessas áreas são substanciais, demandando recursos financeiros e humanos consideráveis.

Portanto, é essencial identificar, mapear e gerir adequadamente as áreas de risco à inundação, visando mitigar os danos e proteger a vida e o patrimônio das comunidades vulneráveis. Os dados analisados podem ser observados no Mapa 6.

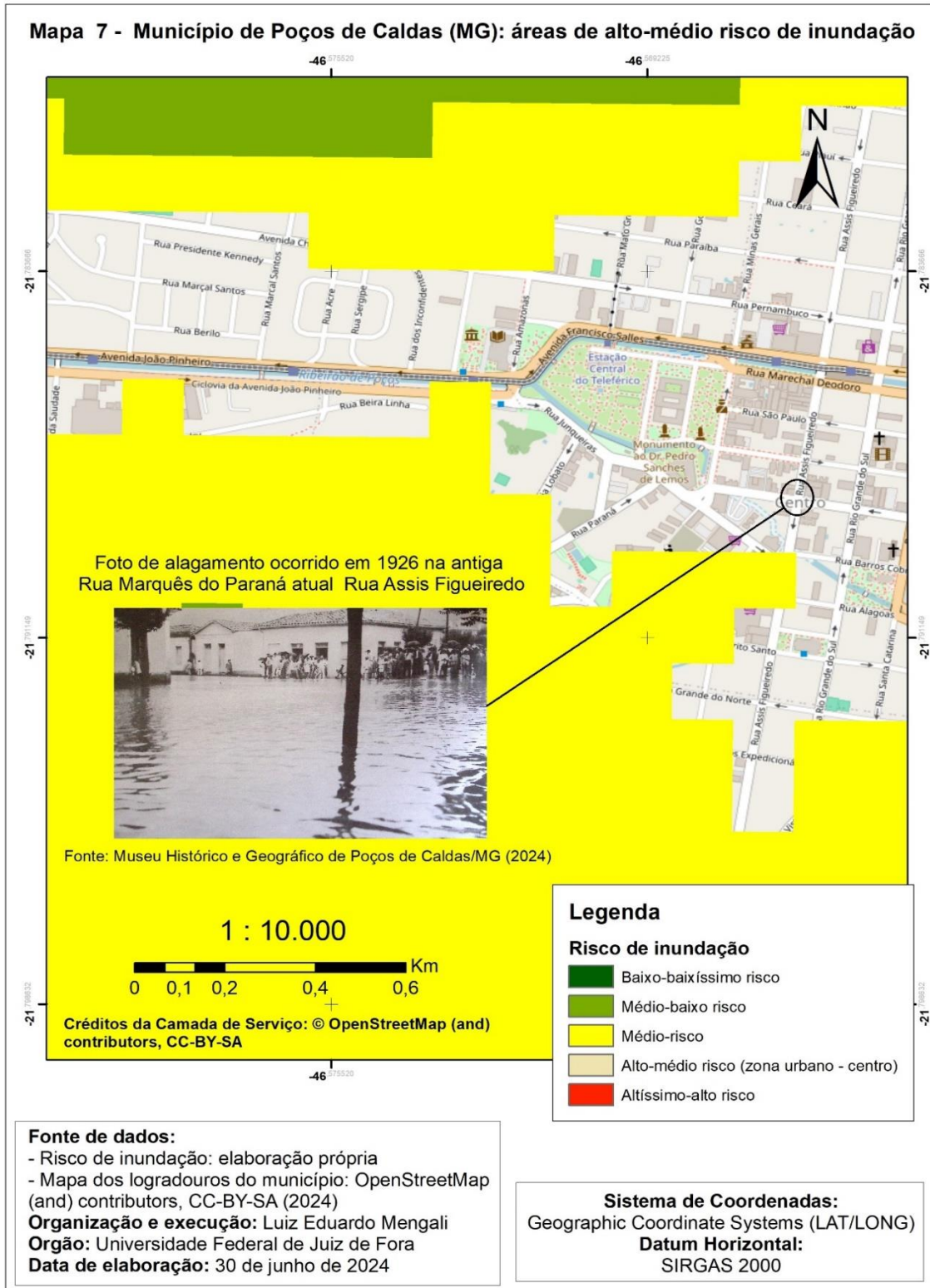
No Mapa 7, podem ser vistas algumas áreas da zona urbana classificadas em alto-médio risco, conforme apresentado a seguir:

Mapa 6 - Risco de inundação



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Mapa 7 - Logradouros no centro do município em áreas classificadas como de alto-médio risco de inundação



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de tudo o que aqui foi apresentado, conclui-se que o método AHP, aplicado para o desenvolvimento do modelo matemático de geração dos pesos estatísticos, utilizados no cruzamento dos mapas temáticos, proposto por Santos *et al.* (2010) convergiu para a formação do mapa de risco de inundação e demonstrou ser um método eficiente e conciso, pois algumas áreas delimitadas no mapa de risco como de alto-médio risco de inundação coincidiram com os locais onde foram registrados inundações e alagamentos nos anos de 1925, 1926 e 2016, conforme apresentado no mapa de risco do município, no mapa das áreas classificadas como de alto-médio risco de inundação e nos anexos desse trabalho científico. Essa abordagem possibilitou alcançar o objetivo geral almejado por este estudo, uma vez que permitiu mapear e identificar as áreas de risco de inundação no município de Poços de Caldas.

Com base na análise da distribuição das classes de risco de inundação identificadas, este estudo revelou uma ocorrência significativa de áreas caracterizadas por um elevado nível de risco. Ao classificar as áreas em cinco categorias de risco, desde baixíssimo-baixo risco até altíssimo-alto risco, foi possível identificar não apenas a extensão das áreas em cada categoria, mas também a distribuição espacial.

Os resultados identificados destacam a importância de elaboração de outros estudos, em escala de detalhe, especialmente nas áreas classificadas como de alto-médio e altíssimo-alto risco, que abrangem uma porção significativa do município. Esses estudos devem levar em conta uma maior quantidade de variáveis do meio físico e os aspectos relacionados à vulnerabilidade e à capacidade de resiliência das populações aí residentes. O estudo detalhado dessas áreas deve subsidiar a implementação de políticas públicas capazes de dotar as populações aí residentes de uma maior capacidade de enfrentar e de se recuperar com maior rapidez das consequências de eventos adversos extremos relacionados às inundações urbanas, minimizando os seus impactos socioeconômicos e ambientais. Entre as medidas orientadas ao aumento da resiliência nessas áreas, estão a elaboração de projetos de controle de enchentes e de planos de contingência e de emergência, a implantação de sistemas de monitoramento e de alerta, os investimentos em infraestrutura resiliente e o planejamento urbano que leve em consideração os riscos de inundação.

A divulgação dos resultados deste trabalho é relevante para conscientizar a população e as autoridades locais sobre a importância da adoção de medidas preventivas para reduzir os impactos das inundações protegendo vidas e propriedades. Em suma, este estudo forneceu uma base sólida para orientar a tomada de decisões e o desenvolvimento de estratégias eficazes de gestão de riscos em áreas susceptíveis a inundação em Poços de Caldas, contribuindo assim para a promoção da resiliência local e da sustentabilidade urbana no município.

REFERÊNCIAS

ALCÁNTARA-AYALA, Irasema. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **Geomorphology**, v. 47, n. 2-4, p. 107–124, 2002.

Banco Mundial, Global Facility for Disaster Reduction and Recovery, Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão Universitária, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil, [Organização Rafael Schadeck]. **Relatório de danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais no Brasil: 1995 – 2019**. 2. ed. – Florianópolis: FAPEU, 2020.

BENINI, Rubens de Miranda; MENDIONDO, Eduardo Mario. Urbanização e impactos no ciclo hidrológico na Bacia do Mineirinho. **Floresta e Ambiente**, v.22, p.211-222, 2015. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/15774>. Acesso em: 23 mar. 2022.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC); dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e sobre o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC). Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 11 abr. 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm. Acesso em: 07 mar. 2024.

CÂMARA, Gilberto.; MEDEIROS, José. Simeão. de. **Princípios básicos em Geoprocessamento**. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). Sistemas de Informações Geográficas: aplicações na agricultura. 2.a ed. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, p. 3-11, 1998.

CAMPANHARO, Wesley. Augusto. **Diagnostico físico da bacia do rio Santa Maria do Doce - ES**, 2010. 3 p. Universidade Federal do Espírito do Santos, Vitoria 2010.

CASTELLS, Manuel. **A questão urbana**. 4. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1983.

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Relatório de Gestão do Centro Nacional de Monitoramento e alertas de desastres naturais - 2019**. São José dos Campos, 2020. 57 p. Disponível em: https://www.gov.br/cemaden/pt-br/aceso-a-informacao/institucional-1/termo-de-compromisso-de-gestao/Relatorio_TCG_2019.pdf/view. Acesso em: 12 abr. 2024.

DA PAZ, Adriano Rolim. **Hidrologia Aplicada**. Caxias do Sul: [s.n.] 2004. 138p.

DOMINGUES, Thuany. Nascimento.; CHIROLI, Daiane. Maria. De. Genaro. **Cidades resilientes: um modelo de ações inovadoras voltados à eventos hidrológicos**. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S. l.], v. 11, p. 104–123, DOI: 10.19177/rgsa.v11e02022104-123, 2022.

ENOMOTO, Carolina. Ferreira. **Método para elaboração de mapas de inundação: estudo de caso na bacia do rio Palmital, Paraná**. 2004. 122 p. Dissertação

(Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba 2004.

ESRI – Environmental Systems Research Institute, **Shapefile Technical Description**, 1998. Disponível em: <https://www.esri.com/content/dam/esrisites/sitecore-archive/Files/Pdfs/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>. Acesso em 15 fev. 2024.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. Atlas, São Paulo, 2002.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

FITZ, Paulo Roberto. **Cartografia Básica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

HAUGHTON Graham, HUNTER Colin. **Sustainable cities**. London: Jessica Kingsley Publishers and Regional Studies Association; 1994. 357 p. Regional Policies and Development Series n. 7.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Taxa da urbanização**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/snig/v1/?loc=0,0U&cat=-1,1,2,-2,-3,128&ind=4710>. Acesso em: 10 jan. 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Cidades e Estados, portal Cidades@, **Poços de Caldas**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/pocos-de-caldas/panorama>. Acesso em 21 mar. 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, GEOCIENCIAS, **Mapa Temático de Pedologia**, versão 2023, pedo_area.zip. Disponível em: https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/versao_2023/. Acesso em 28 fev. 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, GEOCIENCIAS, **Mapa Temático de Uso e Cobertura da Terra**, Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra, Vetores, Unidades da Federação, Cobertura e uso da terra - MG serie revisada. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html?caminho=informacoes_ambientais/cobertura_e_uso_da_terra/monitoramento/grade_estatistica/serie_revisada_2022/vetores_compactados/UFs. Acesso em 01 mar. 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 430 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95017.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2024.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil 2018/2020**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. 41 p. Disponível em:

https://www.ibge.gov.br/apps/monitoramento_cobertura_uso_terra/v1/pdf/ebook_monitoramentoCUTdoBrasil2018_2020.pdf. Acesso em: 05 mar. 2024.

KOBIYAMA, M. *et al.* **Introdução à prevenção de desastres naturais**. Florianópolis: GEDN/UFSC, 57 p, 2006.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Maria de Andrade. **Fundamentos da metodologia científica**. 6ed. São Paulo: Atlas, 2005.

MAGALHÃES, Ivo. Lopes. *et al.* Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos. **Cadernos de Geociência**, Salvador, v. 8, n. 2, p. 63 – 70. 2011.

MARCELINO, Emerson. Vieira., NUNES, Luci. Hidalgo., KOBIYAMA, Masato. **Mapeamento de risco de desastres naturais do estado de Santa Catarina**. Caminhos da Geografia (UFU), Uberlândia, v.7, n.17, p.72-84, 2006.

MCIDADES - MINISTÉRIO DAS CIDADES/INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios**. Brasília: Ministério das Cidades e IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2007.

MDR - MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL, SEDEC – Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, **Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD)**. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protacao-e-defesa-civil/sistema-integrado-de-informacoes-sobre-desastres>. Acesso em 28 fev. 2024.

MDR - MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Plano de Capacitação Continuada 2019-2023**. Brasília: MDR, 2022. 16 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protacao-e-defesa-civil/capacitacoes/PlanodeCapacitaoContinuadaVersoAtualizada20220916.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2024.

MENEZES, Paulo. Márcio. Leal. de.; FERNANDES, Manuel. do Couto. **Roteiro de Cartografia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

MONTEIRO, Carlos. Augusto.de Figueiredo. **Clima e excepcionalismo: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico**. Florianópolis: Editora da UFSC, 241 p, 1991.

NASA, EARTHDATA, ASF Data Search Vertex, Alos Palsar, **Modelo Digital de Elevação (MDE)** da região geográfica do município de Poços de Caldas/MG. Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu/#/>. Acesso em 02 mar. 2024.

OLIVA, Jaime; GIAN SANT, Roberto. **Espaço e modernidade: temas da geografia mundial**. São Paulo: Editora Atual, 1995.

OLIVEIRA, N.G., VIEIRA, Celso. Voos. Soil loss estimate in the Cubatão do Norte river hydrographic basin, northeast of Santa Catarina, Brazil, **International Journal of Development Research**, v. 7, n. 07, p. 13887-13895, 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Como construir cidades mais resilientes: um guia para gestores públicos locais**. Genebra, 2012. Disponível em: <http://www.unisdr.org/files/26462_guiagestorespublicosweb.pdf>. Acesso em: 02/03/2024.

PINESE JÚNIOR, José Fernando; RODRIGUES, Silvio Carlos. O método de análise hierárquica–AHP–como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Piedade (MG). **Revista do Departamento de Geografia**, v. 23, p. 4-26, 2012.

PINHEIRO, Adilson; TEIXEIRA, Lizandra Poeta; KAUFMANN, Vander. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 4, n. 2, p. 188-199, 2009.

PMPC. Prefeitura Municipal de Poços de Caldas, **A Cidade, Perfil, Clima**. Disponível em: <https://pocosdecaldas.mg.gov.br/perfil/clima/>. Acesso em 21 mar. 2024.

PMPC. Prefeitura Municipal de Poços de Caldas. **Revisão do Plano Diretor**. Poços de Caldas: Secretaria de Planejamento e Coordenação, 178 p, 2006.

QUEIROGA, A. A. *et al.* Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação aplicando diferentes modelos digitais de elevação no modelo Height Above the Nearest Drainage (HAND) . **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, Brasil, v. 43, p. e191008 , 2023. DOI: 10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2023.191008. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/191008>.. Acesso em: 10 maio. 2024.

ROCHA, César. Henrique. Barra. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. 3.a ed. Juiz de Fora: Edição do Autor, 2007.

SAATY, Thomas. Lorie. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of mathematical psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SAATY, Thomas. Lorie. **The Analytic Hierarchy Process: planning, prioritysetting, resource allocation**. New York: Mcgraw-hill, 1980. 287 p.

SAATY, Thomas. Lorie. **Método de análise hierárquica**. Tradução de Wainer da Silveira e Silva, São Paulo: Makron, 1991. 367 p.

SANTOS, A. R. *et al.* **ArcGIS 9.3 total: aplicações para dados espaciais**. Alegre, ES: CAUFES, 180 p, 2010.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 355p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 10 abr. 2024.

SILVA, António Oliveira da. **Estratégias para Construir Cidades Resilientes**. 2018. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia, Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2018.

SOUZA, José Vinícius Boing de. **Uso de descritores de terreno para o mapeamento de áreas suscetíveis à inundação**. 2021. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Cap. 7. Disponível em: https://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/Dissertacao_Jose_Vinicius_Boing_de_Souza.pdf. Acesso em: 20 mar. 2024.

SUPDEC/BH - SUBSECRETARIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL DE BELO HORIZONTE. **Defesa Civil na Escola**. Belo Horizonte, 2022. 18 p. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protecao-e-defesa-civil/boas-praticas/001_boapratica_dcnaescola_defesa_civil_na_escola_belo_horizonte_mg_fe_v2022.pdf. Acesso em: 7 abr. 2024.

TONELLO, Kelly Cristina *et al.* Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães – MG. **Revista Árvore**, v.30, p. 849-857, 2006.

TUCCI, Carlos. Eduardo. Morelli. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2 ed., Porto Alegre: Editora da Universidade da UFRGS/ABRH, 1997.

TUCCI, Carlos. Eduardo. Morelli. **Gestão das inundações urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades, 29p. 2005.

TUCCI, Carlos. Eduardo. Morelli; BERTONI, Juan, Carlos. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

UNDRR — UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **Como construir cidades mais resilientes**: um guia para gestores públicos locais. Genebra: escritório da UNDRR, 2012. 102 p. Disponível em: https://www.unisdr.org/files/26462_guiagestorespublicosweb.pdf. Acesso em: 03 abr. 2024

UNISDR — ESTRATÉGIA INTERNACIONAL PARA REDUÇÃO DE RISCO DE DESASTRE DAS NAÇÕES UNIDAS. **Como construir cidades mais resilientes**: um guia para gestores públicos locais. Genebra: escritório da UNDRR, 2017. 122 p. Disponível em: https://unisdr.org/campaign/resilientcities/assets/toolkit/documents/Handbook%20for%20local%20government%20leaders%20%5B2017%20Edition%5D_PT_Jan2019.pdf. Acesso em: 03 abr. 2024

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **Sendai framework for disaster risk reduction 2015-2030**. Disponível em: https://www.unisdr.org/files/43291_63575sendaiframeworkportunofficialf%5B1%5D.pdf. Acesso em: 03 abr. 2024.

UNDRR — UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **Construindo Cidades Resilientes (MCR2030)**. Paris, 2020. 25 p.

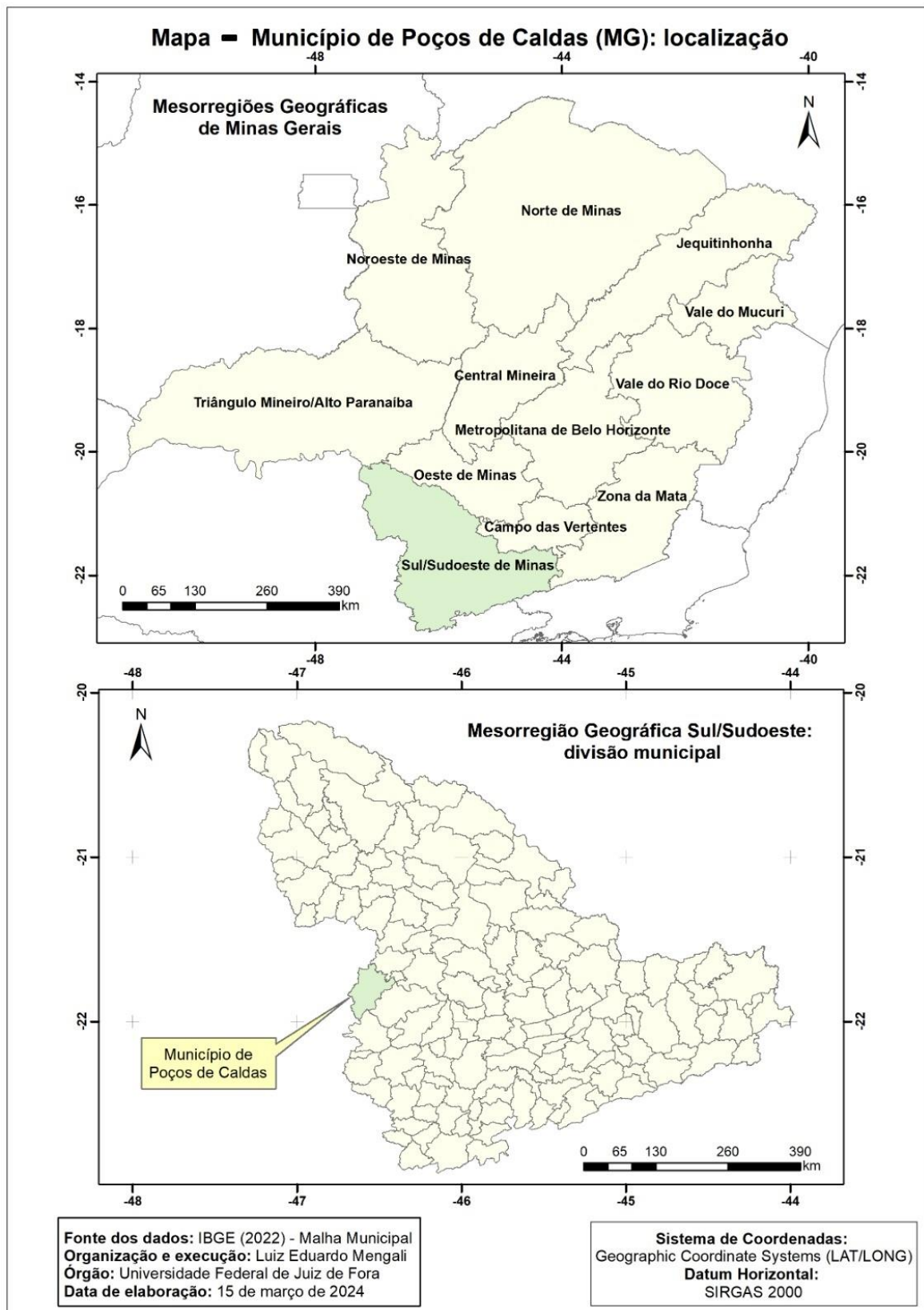
Disponível em: <https://mcr2030.undrr.org/sites/default/files/2021-04/MCR2030%20in%20Portuguese%20ver.2%20%2820210323%29.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2024.

UNDRR — UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **Terminology on Disaster Risk Reduction**. Geneva, May 2009. Disponível em: https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf. Acesso em: 10 abr. 2024.

VIEIRA, R. dos S. *et al.* Análise espaço temporal do crescimento da mancha urbana do bairro Colina de Laranjeiras - Serra/ES a partir da utilização de imagens Google Earth in **Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, Campinas, jun. 2017, 1, pp. 5830-5835.

VILLELA, Swami. Marcondes.; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

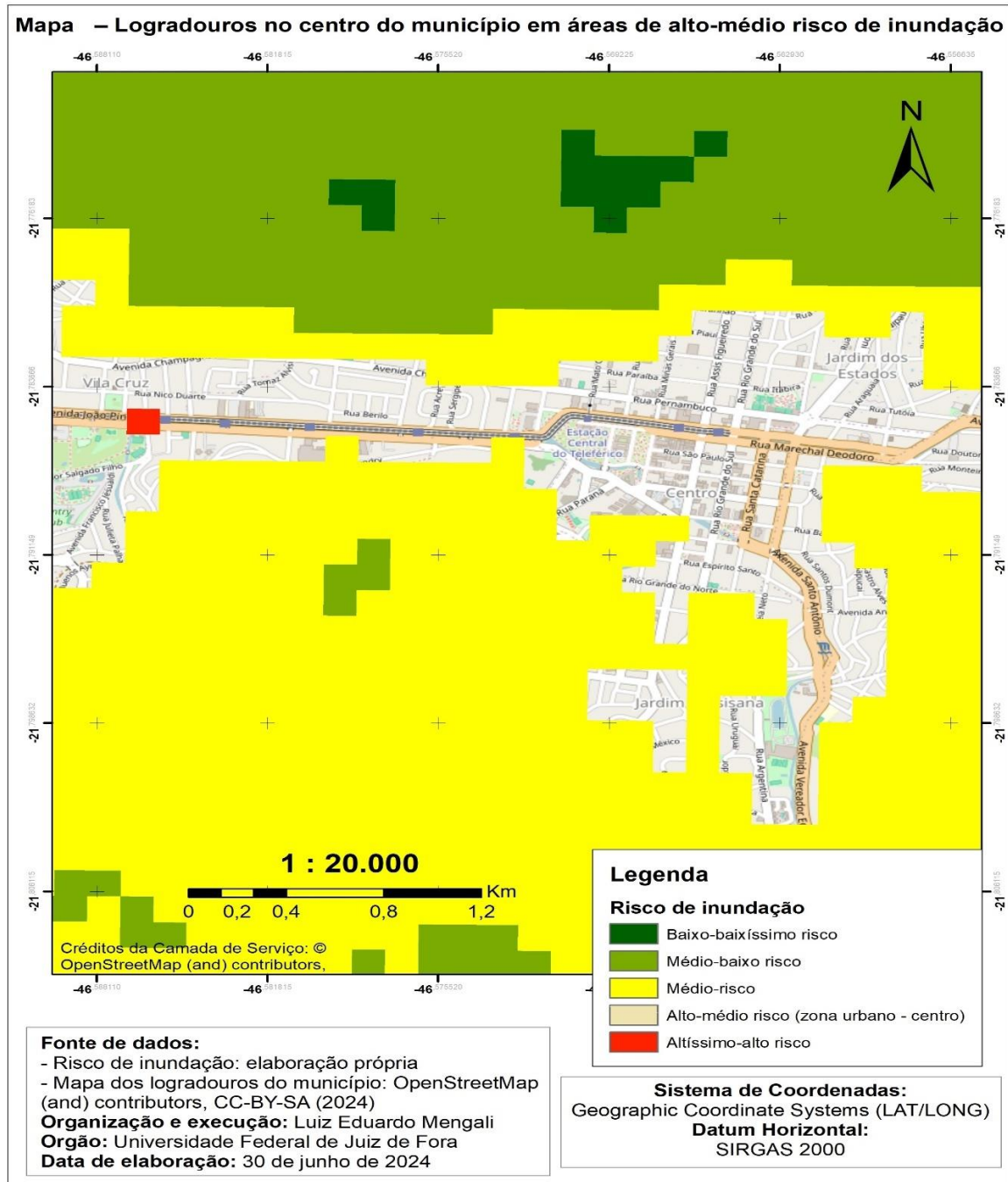
APÊNDICE A – Mapa de localização da área de estudo
Mapa 8 - Localização do município de Poços de Caldas



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

APÊNDICE B – Mapa de áreas da zona urbana classificadas como alto-médio risco

Mapa 9 – Locais da zona urbana do município de Poços de Caldas em áreas de alto-médio risco de inundação



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

**ANEXO A - Fotografias de inundações que ocorreram em Poços de Caldas/MG
na data de 25/01/1925**

Fotografia 1 – Inundação na Avenida João Pinheiro próximo à antiga ponte de
acesso à Rua Gama Cruz – Ano: 1925



Fonte: Museu Histórico e Geográfico de Poços de Caldas/MG (2024).

Fotografia 2 – Inundação na Avenida João Pinheiro – Ano: 1925



Fonte: Museu Histórico e Geográfico de Poços de Caldas/MG (2024).

ANEXO B – Fotografias de alagamentos em Poços de Caldas/MG no ano de 1926

Fotografia 3 – Alagamento na antiga Rua Marquês de Paraná, atual Rua Assis Figueiredo, próximo à esquina com a Rua Prefeito Chagas - Ano: 1926



Fonte: Museu Histórico e Geográfico de Poços de Caldas/MG (2024).


Fotografia 4 – Alagamento na antiga Rua Marquês de Paraná, atual Rua Assis Figueiredo – Ano: 1926




Fonte: Museu Histórico e Geográfico de Poços de Caldas/MG (2024).

ANEXO C – Cópia do relatório da COMPDEC de Poços de Caldas/MG sobre à inundação de 19/01/2016

Relatório 1 – Da COMPDEC de Poços de Caldas/MG sobre à inundação de
19/01/2016



PREFEITURA MUNICIPAL DE POÇOS DE CALDAS
Secretaria Municipal de Defesa Social
 COORDENADORIA MUNICIPAL DE
 PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL
 Rua Paraíba, 211 – Centro – CEP 37.701-022
 (35) 3697-5354 / 199



RELATÓRIO

DESASTRE DE 19/01/2016

CLASSIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO BRASILEIRA DE DESASTRES (COBRADE)

1) Geológicos:
 1.1.3.2.1- Deslizamentos de solo e/ou rocha

2) Hidrológicos:
 1.2.1.0.0 – Inundações
 1.2.2.0.0 – Enxurradas
 1.2.3.0.0 – Alagamentos

3) Meteorológicos
 1.3.2.1.4 – Chuvas intensas

POÇOS DE CALDAS, 17 DE MARÇO DE 2016

CLASSIFICAÇÃO E ABRANGÊNCIA

O desastre ocorrido pode ser classificado quanto a intensidade em Desastre Nível I, que de acordo com o Ministério da Integração Nacional, são desastres onde os danos e prejuízos são suportáveis e superáveis pelo governo local.

A região central do município foi fortemente atingida com o desastre ocorrido. Foram abrangidas 12 ruas na área central, entre elas Assis Figueiredo, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Barros Cobra, Alagoas, Espírito Santo, Rio Grande do Norte, Santa Catarina, Rua Junqueiras, São Paulo, Minas Gerais, Prefeito Chagas além das Praças Pedro Sanches e Dom Pedro II e Parque José Afonso Junqueira.

Além da região central, foram registrados danos e ocorrências em vários bairros do município, sendo eles: Jardim Vitória, São José, Vila Togni, Funcionários, Jardim Santa Augusta, Jardim São Paulo, Jardim Novo Mundo, Jardim Santa Rosália, Santa Ângela, Jardim Centenário, Vale Dantas, Parque Vivaldi Leite Ribeiro, Jardim Country Club, Santa Lúcia, Residência Tiradentes, Vila Nova e São João.

ANEXO D – Reportagem sobre à inundação em Poços de Caldas/MG no dia 19/01/2016

Recorte 1 - Reportagem sobre à inundação no município em 19/01/2016

Do G1 Sul de Minas

Chuva em Poços de Caldas provoca alagamento e 'carrega' carros.

No Centro, moradores subiram em bancos para fugir da correnteza.

A chuva provocou alagamento e "carregou" carros em Poços de Caldas/MG.



Fonte: G1 Sul de Minas - Foto: Michel Teixeira (2016).

A forte chuva que atingiu **Poços de Caldas** (MG) na noite desta terça-feira (19) deixou diversos pontos da cidade alagados. A tempestade durou cerca de uma hora, mas foi o suficiente para deixar vários moradores ilhados em suas residências e locais de trabalho.

O volume de água cobriu parte das ruas centrais, como Assis Figueiredo, Prefeito Chagas, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Barros Cobra, Junqueiras, Capitão Afonso Junqueira, Alagoas e avenida João Pinheiro. Vários veículos foram arrastados com a fozza da água e alguns bateram contra os outros na avenida João Pinheiro, em frente ao Complexo Cultural da Urca e também nas ruas centrais.

Fonte: G1 Sul de Minas (2024).