

Centro Universitário de Várzea Grande - UNIVAG
Curso de pós-graduação stricto sensu
Mestrado acadêmico em Arquitetura e Urbanismo
UNIVAG em associação com a PUC-Campinas

CÉZAR CLEMENTE PIRES DOS SANTOS

**MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO DE INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS NO
PERÍMETRO URBANO DE CUIABÁ - MT**

Várzea Grande, Mato Grosso, Brasil
2021

Centro Universitário de Várzea Grande - UNIVAG
Curso de pós-graduação stricto sensu
Mestrado acadêmico em Arquitetura e Urbanismo
UNIVAG em associação com a PUC-Campinas

CÉZAR CLEMENTE PIRES DOS SANTOS

Orientador: prof. dr. Manoel Lemes da Silva Neto

**MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO DE INUMDAÇÕES E ALAGAMENTOS NO
PERÍMETRO URBANO DE CUIABÁ - MT**

Dissertação apresentada ao curso de pós-graduação, mestrado acadêmico em Arquitetura e Urbanismo do Centro Universitário de Várzea Grande - UNIVAG em associação com a PUC - Campinas, na linha de pesquisa: Desenvolvimento Territorial e Local, sob orientação do prof. dr. Manoel Lemes da Silva Neto, como requisito parcial para obtenção de título de mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Várzea Grande, MT, Brasil
2021

Ficha catalográfica elaborada por Douglas Rios (CRB1/1610)

Biblioteca Silva Freire – Univag Centro Universitário

S237m Santos, César Clemente Pires.
Mapeamento de áreas de risco de inundações e alagamentos no perímetro urbano de Cuiabá - MT/ César Clemente Pires dos Santos. - Várzea Grande-MT: Univag; PUC-Campinas, 2021.
93 fls.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Lemes da Silva Neto.

Dissertação (Mestrado) Univag/PUC-Campinas, Curso de Pós-Graduação – Mestrado Acadêmico em Arquitetura e Urbanismo – Linha de Pesquisa: Desenvolvimento Territorial e Loca - Cuiabá-MT, 2021.

1. Sistemas de informação geográfica. 2. Planejamento urbano.
3. Alagamentos e inundação. 4. Áreas de risco. I. Título.

CDU 72
CDD 720

CÉZAR CLEMENTE PIRES DOS SANTOS

MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO DE INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS NO PERÍMETRO URBANO DE CUIABÁ - MT

Dissertação de mestrado, apresentada ao UNIVAG - Centro Universitário, como parte das exigências para a obtenção do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Várzea Grande, MT, 30 de agosto de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Manoel Lemes da Silva Neto

Prof. dr. Manoel Lemes da Silva Neto
Pontifícia Universidade Católica de Campinas - PUC - Campinas

Jeane Aparecida Rombi de Godoy Rosin

Prof. dra. Jeane Aparecida. Rombi de Godoy Rosin
UNIVAG - Centro Universitário

Ibraim Fantin da Cruz

Prof. dr. Ibraim Fantin da Cruz
PPGRH – Universidade Federal do Estado de Mato Grosso

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa, Débora Faria de Lima, às minhas filhas, Mariana Lima e Ana Carolina e aos amigos que sempre estiveram presentes me encorajando e me apoiando a continuar esta jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus por me proporcionar saúde para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha esposa e às minhas filhas por sempre me apoiarem em meus estudos e acreditarem em potencial.

Ao meu orientador professor dr. Manoel Lemes da Silva por acreditar e me dar autonomia para realização desta pesquisa.

Aos professores do UNIVAG e da PUC - CAMPINAS, pela dedicação, pelo apoio e pela maestria em compartilhar seus conhecimentos.

Aos meus amigos, Fabiane, Adrielle, Daniel, Daniela, Fabiana e Joel, pelos inúmeros trabalhos e disciplinas realizados juntos, pela amizade e pelo apoio.

Aos membros da banca examinadora, prof. dr. Ibraim Fantin da Cruz e profa. dra. Jeane Ap. Rombi. de Godoy Rosin, por aceitarem, de prontidão, participar e colaborar com esta pesquisa.

Ao UNIVAG por proporcionar o programa de stricto sensu em Arquitetura e Urbanismo e por ser uma instituição pela qual tenho grande apreço como colaboradora.

EPÍGRAFE

O tempo

O tempo somente é porque algo acontece, e onde algo acontece o tempo está [...].

Milton Santos

SUMÁRIO

RESUMO	12
ABSTRACT	14
1. INTRODUÇÃO	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1. PLANEJAMENTO URBANO	17
2.2. PLANO DIRETOR.....	18
2.3. ZONEAMENTO.....	19
2.4. ÁREA DE RISCO E DE VULNERABILIDADE	23
2.5. CLASSIFICAÇÕES DOS RISCOS E DESASTRES	26
2.6. EVENTOS NATURAIS CAUSADORES DE DESASTRES	27
2.7. EVENTOS NATURAIS CAUSADORES DE DESASTRES ASSOCIADOS A DINÂMICA FLUVIAL.....	27
2.7.1. Enchentes urbanas	27
2.7.2. Alagamento	28
2.7.3. Enxurrada	28
2.7.4. Inundação	28
2.7.5. Ocupação do espaço urbano e suscetibilidade	29
2.8. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)	30
2.8.1. SIG aplicado ao mapeamento de fenômenos naturais de origem hidrológica	32
2.8.2. Pesquisas de referência	33
3. OBJETIVO GERAL	35
3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	36
4. JUSTIFICATIVA	36
5. MATERIAIS E MÉTODOS	40
5.1. POLO METODOLÓGICO	40
5.2. ÁREA DE ESTUDO	42
5.3. PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS	44
5.3.1. Aquisição dos dados	45
5.3.2. Mapas temáticos do meio físico	46
5.3.2.1. <i>Mapa de declividade</i>	47
5.3.2.2. <i>Curvatura vertical e curvatura horizontal e formas do terreno</i>	48
5.3.3.3. <i>Pedologia</i>	50
5.3.4. Mapas temáticos socioeconômicos	51
5.3.4.1. <i>Mapa de densidade urbana</i>	51
5.3.4.2. <i>Mapas temáticos de vulnerabilidade social</i>	52
FONTE:	54

5.3.5. Método AHP	54
5.3.6. Matriz de decisão	55
<i>5.3.6.1. Verificação da consistência dos julgamentos</i>	<i>56</i>
5.3.7. Mapa de risco	58
5.3.8. Validação	58
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
6.1. HIPSOMETRIA	59
6.2. DECLIVIDADE	60
6.3. FORMAS DE TERRENO	62
6.4. PEDOLOGIA.....	63
6.5. DENSIDADE URBANA	64
6.6. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL	67
6.7. SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÃO E ALAGAMENTOS	70
6.8. VALIDAÇÃO DO MÉTODO.....	75
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
ANEXOS	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Pesos das classes hipsometrias.....	47
Tabela 2. Classificação da declividade associada a eventos de natureza hidrológica.	48
Tabela 3. Classificação dos tipos de solo com base no grau de fragilidade e pesos.	51
Tabela 4. Classes de densidade urbana de Cuiabá MT por área de ponderação.....	52
Tabela 5. Variáveis censitárias e variáveis utilizadas para mensurar a vulnerabilidade.	53
Tabela 6. Grau do índice de vulnerabilidade social com base nas variáveis censitárias por área de ponderação e pesos.....	54
Tabela 7. Escala absoluta, definição e justificativa para o processo decisório com a AHP.....	55
Tabela 8. Matriz de comparação pareada utilizada no estudo.	56
Tabela 9. Matriz de obtenção dos pesos.....	56
Tabela 10. Pesos dos fatores encontrados atendendo à veracidade da razão de consistência.....	70
Tabela 11. Mapeamentos de áreas de risco geológico e hidrogeológico realizados pela CPRM no ano de 2014.....	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. Perfil esquemático de enchente, inundação e alagamento.....	29
Figura 3. Estrutura geral de sistemas de informação geográfica.	31
Figura 3. Aspectos particulares dos polos metodológicos da prática científica.	42
Figura 4. Mapa do perímetro urbano do Município de Cuiabá com base na Lei Complementar n.º 150/2007.....	44
Figura 5. Fluxograma dos procedimentos operacionais principais.....	45
Figura 6. Combinação de curvaturas verticais para caracterização das formas de terreno, de acordo com seus pesos e atribuídos.....	50
Figura 7. Valores de IR para matrizes quadradas de ordem n.	57
Figura 8. Mapa hipsométrico do perímetro urbano do Município de Cuiabá MT.	60
Figura 9. Mapa de declividade do perímetro urbano do Município de Cuiabá MT. ...	61

Figura 10. Modelos de curvatura do terreno no perímetro urbano do Município de Cuiabá MT.....	63
Figura 11. Mapa de solos do perímetro urbano do Município de Cuiabá MT.....	64
Figura 12. Mapa de densidade urbana do perímetro urbano de Cuiabá.	66
Figura 13. Mapa de vulnerabilidade social do perímetro urbano de Cuiabá.....	69
Figura 14. Mapa de suscetibilidade de inundação e alagamentos do perímetro urbano de Cuiabá MT.....	73
Figura 15. Perfil horizontal evidenciando as áreas de suscetibilidade de inundação e alagamentos em um trecho delimitado do perímetro urbano de Cuiabá MT.....	74
Figura 16. Recorrência de alagamentos no perímetro urbano de Cuiabá.....	79
Figura 18. Validação da metodologia proposta.	81

SANTOS, C. C. P. **Mapeamento de áreas de risco de inundações e alagamentos no perímetro urbano de CUIABÁ - MT**. 2017. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – UNIVAG - Centro Universitário, Várzea Grande, Mato Grosso, 2017.

RESUMO

A estratégia internacional das nações unidas para redução de desastres conceitua que os eventos naturais são processos ou fenômenos de origem natural potencialmente prejudiciais, que ocorrem na biosfera, podendo causar sérios danos socioeconômicos e ambientais às comunidades expostas. O cenário urbano atual da capital mato-grossense, Cuiabá, assim como na maioria dos municípios brasileiros, revela a forma desordenada de apropriação desse espaço urbano, tornando-o susceptível a ações de eventos naturais de origem pluvial, como alagamentos e inundações, ocasionando prejuízos e prejudicando o cotidiano da população. Em 2017, o Brasil alcançou 33,8% da cobertura dos municípios que implementaram medidas de redução de riscos, tendo como destaques positivos o Distrito Federal, com cobertura de 100%, seguido pelo estado do Espírito Santo, com cobertura de 93,6%. Na região Centro-Oeste, o estado de Mato Grosso possui apenas 16,3% de cobertura, atrás do estado de Mato Grosso do Sul, onde a cobertura atinge 49,4%. O decreto n.º 10.692/2021 pontua que os municípios devem elaborar o mapeamento de risco e realizar o cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de inundações bruscas, por meio do mapeamento utilizando geotecnologias como ferramenta de auxílio. Nesse sentido, a presente dissertação objetiva o desenvolvimento de uma metodologia em ambiente SIG para zoneamento de risco de inundação e alagamentos na área urbana do município de Cuiabá – MT, usando parâmetros físicos de fragilidade e parâmetros sociodemográficos de vulnerabilidade. Para compor a base de dados e a geração do modelo metodológico foi feito o uso do sistema de informação geográfica QGIS^R 3.18, de parâmetros físicos de fragilidade (altimetria, relevo, declividade, bem como curvatura vertical e horizontal do terreno) adquiridos no banco de dados de informações ambientais e do projeto TOPODATA. Para geração do índice de vulnerabilidade social, os parâmetros socioeconômicos foram extraídos dos setores do Universo censitário de 2010. Cada variável recebeu um peso estatístico associado ao seu grau de fragilidade e vulnerabilidade para criação do mapa de suscetibilidade, com o auxílio do Método de Análise Hierárquica de processo. Para validação do modelo, foram usadas séries históricas dos registros de inundações nos últimos 40 anos, além do registro de ocorrências de riscos

hidrogeológicos do Serviço Geológico do Brasil. Os resultados evidenciaram que regiões com altitudes variando entre 180 e 270 metros e relevo plano apresentam fragilidade elevada devido à dinâmica de movimentação das massas de água, que tendem a se acumular nessas regiões. Essas características somadas à forma de terreno côncavo convergente e aos solos classificados como plintossolos favorecem a dinâmica superficial e a prevalência do tempo de concentração da água no local, formando grandes regiões alagadiças. O modelo gerado apontou que 41,54% do perímetro urbano de Cuiabá apresentou áreas de alta suscetibilidade à ocorrência de alagamentos ou enchentes e 29,53% das áreas classificadas como de média suscetibilidade. Essas classes de suscetibilidade mapeadas compreendem as regiões com: baixa densidade urbana variando de 0 a 34 habitantes por hectares e índice de vulnerabilidade social considerado baixo por apresentar, em média, 2 moradores por residência, taxa de dependência abaixo de 20%, bem como índice de analfabetismo abaixo de 15% e 27% da população com média salarial variando entre 0 a 1,5 salário mínimo. A aplicação da ferramenta permitiu a identificação de áreas com alto risco inundação e alagamentos, mostrando que a técnica tem grande potencial para ser utilizada pelos gestores municipais para o mapeamento e a gestão urbana dessas áreas de risco.

Palavras-chave: áreas de risco; sistemas de informação geográficas; gestão de riscos; planejamento urbano.

SANTOS. C. C. P. **Mapping risk areas for floods and floods in the urban perimeter of Cuiabá - MT.** 2017. Dissertation (Master's degree in Architecture and Urbanism) – UNIVAG, University Center, Várzea Grande, Mato Grosso, 2017.

ABSTRACT

The United Nations International Strategy for Disaster Reduction conceptualizes that natural events are potentially harmful processes or phenomena of natural origin that occur in the biosphere and can cause serious socioeconomic and environmental damage to exposed communities. The current urban scenario in the capital of Mato Grosso, Cuiabá, as well as in most Brazilian municipalities, reveals the disorderly form of appropriation of this urban space, making it susceptible to actions of natural events of rain origin such as flooding and flooding, causing damage and harming the daily lives of the population. In 2017, Brazil reached 33.8% of the coverage of municipalities that implemented risk reduction measures, with the positive highlights being the Federal District, with 100% coverage, followed by the state of Espírito Santo, with 93.6% coverage. In the Midwest region, the state of Mato Grosso has only 16.3% coverage, behind the state of Mato Grosso do Sul, where coverage reaches 49.4%. Decree No. 10.692/2021 points out that municipalities must prepare risk mapping and carry out the national registry of municipalities with areas susceptible to the occurrence of sudden floods, carrying out the mapping using geotechnologies as an aid tool. In this sense, this dissertation aims to develop a methodology in a GIS environment, for zoning the risk of flooding and flooding in the urban area of the municipality of Cuiabá - MT, using physical parameters of fragility and sociodemographic parameters of vulnerability. To compose the database and generate the methodological model, the geographic information system QGIS 3.18 was used, physical parameters of fragility (altimetry, relief, slope, and vertical and horizontal curvature of the terrain) acquired in the Environmental and Environmental Information Database. TOPODATA project. The socioeconomic parameters were extracted from the sectors of the 2010 census universe to generate the social vulnerability index. Each variable received a statistical weight associated with its degree of fragility and vulnerability to generate the susceptibility map, with the aid of the Hierarchical Analysis method by process. To validate the model, historical series of flood records in the last 40 years and the record of occurrences of hydrogeological risks from the Geological Survey of Brazil were used. The results showed that regions with altitudes ranging between 180 and 270 meters and flat relief present high fragility, due to the dynamics of movement of water

masses, which tend to accumulate in these regions. These characteristics, together with the shape of converging concave terrain and soils classified as plinthosols, favor the surface dynamics and the prevalence of water concentration time at the site, forming large swampy regions. The generated model showed that 41.54% of the urban perimeter of Cuiabá presented areas of high susceptibility to the occurrence of flooding or floods and 29.53% of the areas classified as having medium susceptibility. These mapped susceptibility classes comprise regions with low urban density ranging from 0 to 34 inhabitants per hectare and social vulnerability index considered low, as they have an average of 2 residents per residence, dependency rate below 20%, illiteracy rate below 15% and 27% of the population with an average salary ranging from 0 to 1.5 minimum wages. The application of the tool allowed the identification of areas with high risk of flooding and flooding, showing that the technique has great potential to be used by municipal managers for mapping and urban management of these risk areas.

Keywords: areas of risk; geographic information systems; risk management; urban planning.

1. INTRODUÇÃO

Esta dissertação está distribuída em 6 capítulos, contendo a seguinte estrutura.

O capítulo 1 discorre sobre a fundamentação teórica abordando o planejamento urbano, a criação do plano diretor, os zoneamentos, as áreas de risco e seus tipos de classificação. Além disso, ele aborda as legislações que regem o mapeamento de áreas de risco e a importância da utilização das geotecnologias para o mapeamento de áreas de inundação e alagamentos, assim como os principais autores que desenvolveram estudos na mesma temática.

O capítulo aborda os objetivos da pesquisa, tendo como base fundamental o objetivo geral de desenvolver uma metodologia SIG, simples e coerente, que permita realizar o zoneamento de risco de inundação na área urbana do município de Cuiabá – MT.

O capítulo 3 apresenta a justificativa da pesquisa, pautada no Marco de Ação de Hyogo, no Marco de Sendai, na Política Nacional de Proteção e Defesa Civil e no Decreto n.º 10.692/2021, que instituiu, em seu artigo primeiro, que os Municípios devem realizar o Cadastro Nacional de áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas, realizando o mapeamento das

áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas, com limites georreferenciados (BRASIL, 2021).

O capítulo 4 descreve o polo metodológico utilizado nesta pesquisa, bem como o desenvolvimento metodológico, utilizando parâmetros físicos de fragilidade ambiental (altimetria, relevo, declividade, e curvatura vertical e horizontal do terreno) adquiridos no banco de dados de informações ambientais e do projeto TOPODATA, além de parâmetros socioeconômicos do IBGE, como o número de moradores no setor censitário, a média de moradores por domicílio, a densidade urbana, a porcentagem dos dependentes abaixo 12 anos e acima de 65 anos, o quantitativo de pessoas analfabetas acima de 12 anos, assim como a porcentagem dos responsáveis sem rendimento e com rendimento de até 1 salário mínimo.

Para elaboração do mapeamento de risco de inundação e alagamentos, foi utilizada uma matriz de decisão AHP, com pesos estatísticos para os fatores do meio físico e socioeconômicos, tendo seus resultados validados com base na geração de cenários espaciais provenientes da interpolação de ocorrência de registros de alagamentos dos últimos 40 anos em ambiente SIG.

O capítulo 5 apresenta os resultados da pesquisa, focando a análise dos parâmetros físicos de fragilidade ambiental e os parâmetros socioeconômicos de suscetibilidade para geração do mapa de risco de vulnerabilidade do perímetro urbano de Cuiabá, com validação comprovada por sobreposição de dados de referência.

O capítulo 6 traz as considerações finais dos resultados alcançados com a presente pesquisa, focando sua utilidade para os gestores públicos no uso do cadastramento de áreas de risco como apontados no decreto n.º 10.692/2021.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para a elaboração, a coleta e a manipulação de dados, bem como a produção dos resultados a ser alcançados pontuados nos objetivos específicos, é indispensável que sejam levantados todos os conceitos fundamentais para a pesquisa e as abordagens metodológicas que serão empregadas. Nesse sentido, por meio da fundamentação teórica, busca-se apresentar sínteses e tendências metodológicas sobre o objeto em estudo a ser desenvolvido nesta pesquisa.

2.1. PLANEJAMENTO URBANO

Segundo Silva (2010, p. 89) o planejamento, em geral, “é um processo técnico instrumentado para transformar a realidade existente no sentido de atender aos objetivos previamente estabelecidos, e que esse processo depende simplesmente da vontade do administrador, em colocá-lo em prática ou não”. Em tese, não é um processo juridicamente imposto, mas uma simples técnica, que o administrador possa colocá-la em prática ou não.

Para Lefebvre (1968), o urbano seria uma realidade social composta de relações a conceber pelo pensamento, porém o urbano não poderia ser concebido sem uma base, sem uma morfologia. Desse modo, o urbano é considerado uma forma pura, um ponto de encontro, um lugar de agregação, sem constituir um sistema em razão da independência relativa entre as formas e o conteúdo.

Para atender a essa realidade social, Corrêa (2005) afirma que o planejamento é um elemento fundamental para compreender a produção e a organização do espaço urbano, pois ele expressa os interesses dos segmentos coexistentes na cidade, assim como pode justificar ou não suas ações. Já Souza (2010) remete que o planejamento está ligado ao futuro e que ele tende a simular os desdobramentos de um processo — modelando, de certa forma, as ações e os meios nas tomadas de decisões — no intuito de prevenir problemas futuros e de aproveitar da melhor forma os benefícios no presente, sabendo diferenciar o planejamento da gestão.

Nesse sentido, Souza (2011, p. 46) enfatiza, no livro *Mudar a cidade*, qual é a diferença entre planejamento e gestão urbana; segundo o autor:

Planejamento e gestão não são termos intercambiáveis, por possuírem referenciais temporais distintos e, por tabela, por se referirem a diferentes tipos de atividades. Até mesmo intuitivamente, planejar sempre remete ao futuro: planejar significa tentar prever a evolução de um fenômeno ou, para dizê-lo de modo menos comprometido com o pensamento convencional,

tentar simular os desdobramentos de um processo, com o objetivo de melhor precaver-se contra prováveis problemas ou, inversamente, com o fito de melhor tirar partido de prováveis benefícios. De sua parte, gestão remete ao presente: gerir significa administrar uma situação dentro dos marcos dos recursos presentemente disponíveis e tendo necessidades imediatas. O planejamento é a preparação para a gestão futura, buscando-se evitar ou minimizar problemas e ampliar margens de manobra; e a gestão é a efetivação, ao menos em parte (...) das condições que o planejamento feito no passado ajudou a construir. Longe de serem concorrentes ou intercambiáveis, planejamento e gestão são distintos e complementares.

Portanto, planejar implica acertar, deliberar e programar as ações futuras em curto, médio e longo prazo, garantindo que a gestão presente tenha ferramentas para resolver as questões atuais com soluções imediatas. Para isso, está expresso na Constituição Federal de 1988 (BRASIL, [2020]), em seu capítulo sobre política urbana, que as atribuições de controle, planejamento, gestão e desenvolvimento urbano estão ligadas diretamente aos municípios.

Assim, há uma relação entre política urbana e planejamento, pois o planejamento pode ser apontado como uma ação político-administrativo governamental, pautada em conhecimentos teóricos e definida como políticas e diretrizes práticas pontuadas em processos (FERRARI, 1991).

Philippi *et al.* (2004, p. 6) explica que o “processo de planejamento urbano tem como propósito ordenar, articular e equipar o espaço, de maneira racional, direcionando a malha urbana, assim como suas áreas ou zonas, a determinados usos e funções”.

2.2. PLANO DIRETOR

Para que ocorram os processos de planejamento urbano com os propósitos citados no subtópico anterior, Monteiro (1990, p. 13) “define que o plano diretor é um conjunto de medidas que concilia o desenvolvimento econômico-social de um município, sendo considerado como uma ferramenta de desenvolvimento do espaço urbano”, tornando sua implantação obrigatória para os municípios com mais de 20 mil habitantes, de acordo com a Constituição Federal de 88.

No âmbito federal, a Constituição já prevê como instrumentos jurídicos distintos os planos nacionais e regionais de ordenamento do território e os planos nacionais e regionais de desenvolvimento econômico e social (BRASIL, [2020]). No caso específico do planejamento territorial municipal, há de se considerar a competência específica do Município em promover o adequado ordenamento territorial “mediante

planejamento e controle do uso, ocupação e parcelamento do solo urbano (BRASIL, [2020]). Esse planejamento do espaço é função preponderante municipal e tem como instrumento básico o plano diretor, o qual Villaça (1999, p. 238) define como:

documento a partir de um diagnóstico científico da realidade física, social, econômica, política e administrativa da cidade, do município e de sua região, apresentaria um conjunto de propostas para o futuro desenvolvimento socioeconômico e futura organização espacial dos usos do solo urbano, das redes de infraestrutura e de elementos fundamentais da estrutura urbana, para a cidade e para o município, propostas estas definidas para curto, médio e longo prazos, e aprovadas por lei municipal.

Em uma versão resumida, Villaça (1999, p. 238) contextualiza que o plano diretor aborda os aspectos da ordem territorial dos municípios. Afirmando que, “nesse conceito, o diagnóstico abarcaria todos os aspectos da realidade urbana, municipal e mesmo regional, mas as propostas referir-se-iam apenas aos aspectos físico-territoriais”, sendo de predominância da competência do governo municipal.

Entre outros instrumentos, a implementação do plano diretor dever conter os instrumentos legais de: apropriação do solo, que se refere às ocupações de terra, ao usucapião e à desapropriação de áreas que garantam a apropriação do solo para moradia de classes de renda mais baixa; ao parcelamento do solo, que se refere à integração na malha urbana, prevendo as diretrizes viárias, à reserva de áreas para uso público tendo como objetivo a garantia de preservação do meio ambiente, da identidade cultural e histórica da cidade; ao zoneamento, que se refere às normas e aos padrões de ocupação e utilização do solo urbano (LAMPARELLI; ZAN, 1989).

Machado (1999, p. 129) afirma que “o zoneamento consiste em dividir o território em parcelas nas quais se autorizam determinadas atividades ou interdita-se, de modo absoluto ou relativo, o exercício de outras atividades”. Para ele, o zoneamento é um dos norteadores do poder de política administrativa, que exerce a finalidade de garantir a salubridade, a paz, a saúde, o bem-estar do povo (MACHADO, 1999).

2.3. ZONEAMENTO

O zoneamento, sob uma holística mais abrangente, consiste na repartição do território municipal, da destinação da terra, do uso do solo ou das características arquitetônicas (SILVA, 2010). Sob o aspecto da repartição do território, faz-se necessário dividir o município em zonas territoriais, sendo elas: zona urbana: zonas

urbanizáveis; zonas de expansão urbana e zona rural. Já a destinação da terra é responsável por dividir o território do município em zonas de uso ou de uso funcional.

Silva (2010, p. 63) apresenta uma distinção entre zoneamento urbano e zoneamento ambiental. Para ele, o zoneamento urbano pode ser entendido como “um procedimento urbanístico destinado a fixar os usos adequados para as diversas áreas do solo municipal, ou destinado a fixar as diversas áreas para o exercício das funções urbanas elementares”. Já o zoneamento ambiental também é entendido como zoneamento, com uma diferença: ele não se limita ao ambiente da cidade, dando mais ênfase à proteção de áreas de significativo interesse ambiental.

O zoneamento, ao discriminar usos e normas, representa uma limitação do direito dos cidadãos, tendo em vista que a propriedade não poderá ser utilizada da maneira desejada unicamente pelo proprietário. Para Villaça (1995, p. 239) “o zoneamento é a modalidade de planejamento urbano mais antiga e mais difundida no Brasil e, sem dúvida, o zoneamento é um instrumento de atuação sobre a organização territorial urbana”.

As normas de zoneamento podem ser diferentes sob a holística de cada gestor municipal, todavia, geralmente, são diferenciadas em diversas zonas, as quais devem possuir suas características peculiares, de acordo com seu uso e sua ocupação do solo. Por isso, o solo urbano, assim como as zonas de expansão urbana, as zonas urbanizáveis ou aquelas de interesse urbanístico especial, estão destinados aos cumprimentos das funções urbanas, como habitar, trabalhar, circular e recrear (SILVA, 2010).

Em atendimento às três funções urbanas supracitadas, podemos apontar que o uso do solo nos aglomerados urbanos e cidades se destina ao uso residencial, ao uso industrial, ao uso comercial, ao uso de serviços, ao uso institucional, ao uso viário e aos usos especiais. Além disso, as zonas de uso e ocupação são áreas delimitadas por lei, tendo em vista os tipos de modalidades de uso.

Tais usos são adotados em lei de zoneamento devido à função da realidade local, na qual se permite especificar as zonas em: zona de uso residencial, zona de uso industrial, zona de uso comercial, zona de uso de serviços, zona de uso institucional e zonas de usos especiais — como é o caso da Capital Cuiabá. Há, ainda, algumas leis municipais que acrescentam a zona de expansão urbana, e dessas

combinações surgem várias zonas de uso e ocupação do solo, as quais são destituídas por códigos, por exemplo:

- ZR1 - Zona Estritamente Residencial de Baixa Densidade;
- ZR2 - Zona Predominantemente Residencial de Média Densidade;
- ZR3 - Zona Predominantemente Residencial de Alta Densidade;
- ZM1 - Zona Mista de Densidade Média Alta;
- ZM2 - Zona Mista de Densidade Alta;
- ZC1 - Zona Comercial Central;
- ZC2 - Zona Comercial Secundária;
- ZI1 - Zona Predominantemente Industrial;
- ZI2 - Zona Estritamente Industrial;
- ZS - Zona de Serviços;
- ZIT - Zona Institucional;
- ZE - Zona de Usos Especiais;
- ZEIS - Zonas Especiais de Interesse Social;
- ZEIA - Zonas Especiais de Interesse Ambiental.

A Lei Complementar n.º 150/2007 apresenta o Plano Diretor Estratégico do Município de Cuiabá - MT, bem como destaca, em seu artigo 34, os três diferentes tipos de macrozona urbana, sendo elas: “Zona urbana de uso múltiplo (ZUM); Zona de expansão urbana (ZEX); Zonas urbanas especiais (ZUE)” (CUIABÁ, 2007).

Das macrozonas supracitadas, vale destacar as Zonas Urbanas Especiais tendo como análise espacial no presente estudo as Zonas de Especial Interesse Social (ZEIS), áreas urbanas existentes com caráter precário de ocupação, o qual a considera como objeto de interesse especial da municipalidade para sua normatização urbanística. Ademais, é importante destacar as Zonas de Interesse Ambiental (ZIA), que são zonas que têm por objetivo a preservação ou a conservação ambiental, destinadas preferencialmente ao lazer e uso público (CUIABÁ, 2007). Em Cuiabá, a lei do zoneamento e de ordenação do solo aponta que as zonas que possuem o interesse local devem ser compostas por diretrizes gerais, estabelecidas em lei, em especial sobre infraestrutura mínima, tamanho de lote e áreas não edificáveis, como apontado no artigo segundo, inciso V, da Lei 6.766/1979:

Art.2º [...].

§ 5º A infraestrutura básica dos parcelamentos é constituída pelos equipamentos urbanos de escoamento das águas pluviais, iluminação pública, esgotamento sanitário, abastecimento de água potável, energia elétrica pública e domiciliar e vias de circulação. (BRASIL, 1997).

O artigo terceiro diz que somente será admitido o parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica, assim definidas pelo plano diretor ou aprovadas por lei municipal.

Art. 3º Parágrafo único [...].

Não será permitido o parcelamento do solo: I - em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas; II - em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados; III - em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes; IV - em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação; V - em áreas de preservação ecológica ou naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção. (BRASIL, 1979).

Sobre a implantação de sistemas de monitoramento para áreas consideradas especiais, como as supracitadas, a Lei n.º 12.608/2012, que Instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) e autorizou a criação de um sistema de informações e monitoramento de desastres aponta no artigo. 3º-B, que diz:

Art. 3º B [...]

Verificada a existência de ocupações em áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos, o município adotará as providências para redução do risco, dentre as quais, a execução de plano de contingência e de obras de segurança e, quando necessário, a remoção de edificações e o reassentamento dos ocupantes em local seguro. (BRASIL, 2012).

Abordando a temática sobre as áreas suscetíveis à ocorrência de eventos de magnitude natural, o artigo 42-A, da Lei n.º 12.608/12, estabelece que deve ser incluso nos planos diretores dos Municípios as “áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos e que deverá conter (BRASIL, 2012)”:

I - Parâmetros de parcelamento, uso e ocupação do solo, de modo a promover a diversidade de usos e a contribuir para a geração de emprego e renda;

II - Mapeamento contendo as áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos;

III - Planejamento de ações de intervenção preventiva e realocação de população de áreas de risco de desastre;

IV - Medidas de drenagem urbana necessárias à prevenção e à mitigação de impactos de desastres; e

V - Diretrizes para a regularização fundiária de assentamentos urbanos irregulares, se houver, observadas a Lei nº 11.977, de 7 de julho de 2009, e demais normas federais e estaduais pertinentes, e previsão de áreas para habitação de interesse social por meio da demarcação de zonas especiais de interesse social e de outros instrumentos de política urbana, onde o uso habitacional for permitido. (BRASIL, 2012).

2.4. ÁREA DE RISCO E DE VULNERABILIDADE

De acordo com Kobiyama (2006, p. 17), o risco é a “probabilidade de perda esperada para uma área habitada em um determinado tempo, devido à presença iminente de um perigo”. Já, Castro (2000) ressalta que, nas Nações Unidas, o entendimento de áreas de risco está associado ao grau de perda esperada devido a um determinado fenômeno natural, dependendo do risco natural e da vulnerabilidade.

Para Narváez *et al.* (2009), o risco está associado a dois fatores, sendo eles: a ameaça e a vulnerabilidade. Dessa forma, pode-se entender que o risco ocorre na inter-relação ou no cruzamento desses dois fatores, cujas características e especificidades são diferentes. Assim, compreende-se que o risco resulta na probabilidade de dano e perda.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (2007, p. 26), conceitua área de risco como:

área passível de ser atingida por fenômenos ou processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso. As pessoas que habitam essas áreas estão sujeitas a danos à integridade física, perdas materiais e patrimoniais. Normalmente, no contexto das cidades brasileiras, essas áreas correspondem a núcleos habitacionais de baixa renda (assentamentos precários). Área é um local passível de ser atingido por fenômenos ou processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso.

O Ministério das Cidades (BRASIL, 2004, p. 10) define área de risco como:

área passível de ser atingida por processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso. As pessoas que habitam essas áreas estão sujeitas a danos à integridade física, perdas materiais e patrimoniais. Normalmente, essas áreas correspondem a núcleos habitacionais de baixa renda (assentamentos precários).

Para Herrera *et al.* (2000, p. 137-138), a condição de risco será adquirida somente “quando ocorrer a ocupação da área para atividades humanas, e que esta ocupação deverá enfrentar as consequências desse fenômeno, tendo como pressuposto três fatores: a ameaça ou o perigo; a vulnerabilidade; e a exposição ou elementos de risco”.

Herrera *et al.* (2000) definem que a ameaça ou o perigo se refere à probabilidade de ocorrência das consequências de um fenômeno de origem natural, geralmente de natureza surpreendente, de rápida evolução e de gravidade relativa, concentrada durante um certo período e em um local, afetando um componente ou todo o sistema territorial exposto. Para o autor, as avenidas constituem ameaças, resultantes da combinação da tipologia e das características dos eventos de chuva de alta intensidade com um conjunto de fatores físicos da área. Sob essa perspectiva, a

diferença fundamental entre ameaça e risco é que ameaça se refere à probabilidade de um evento natural se manifestar, enquanto risco está relacionado à probabilidade de certas consequências (HERRERA *et al.*, 2000).

Já a vulnerabilidade é definida por Herrera *et al.* (2000) como a predisposição intrínseca ou a suscetibilidade de componentes antrópicos do território a ser o impactado na sua totalidade (destruição) ou na sua parcialidade (deterioração) devido ao impacto da ameaça. Ademais, ela representa a extensão ou a magnitude da probabilidade de dano ou perda de um componente ou sistema territorial exposto à ameaça que exceda seu nível de tolerância ou resposta. Portanto, ela constitui o fator de risco interno que se manifesta por sua fragilidade ou sua fraqueza diante do evento natural.

Geralmente, está também ligada à situação socioeconômica e aos níveis de gestão e institucionalização do sistema territorial em que altas chuvas podem impactar adversamente. Além disso, é um indicador do grau de ineficiência de uma determinada parcela da população em adaptar sua organização a essas mudanças no ambiente, o qual denota a incapacidade das estratégias de planejamento territorial projetadas e implementadas pela comunidade para "absorver" os efeitos de tais mudanças.

Por isso, a vulnerabilidade depende de duas condições: sendo a primeira relacionada à localização do componente em relação à zona de impacto da ameaça — por exemplo, áreas suscetíveis a inundações frequentes — e a segunda condição associada às suas características e ao seu estado de conservação.

Portanto, "a vulnerabilidade é essencialmente uma condição humana, uma característica da estrutura social e um produto de processos sociais e histórico" (HERRERA *et al.*, 2000).

Por último, Herrera *et al.* (1995, p. 19) definem a exposição ou os elementos de risco como "a distribuição espacial da população, ou das atividades econômicas, ou de bens materiais, ou de obras de engenharia e serviços civis, públicos etc., sobre os quais o fenômeno natural negativo pode impactar".

Augusto Filho *et al.* (1990) apresentam a conceituação de alguns termos, conceitos e autorias utilizados internacionalmente em estudos sobre risco e desastres. Na classificação, os autores apresentam que existem dois grandes conjuntos de termos utilizados, cujas diferenças se baseiam na possibilidade ou não de apresentarem danos ou perdas socioeconômicas (Quadro 1).

Quadro 1. Conceituação de termos internacionais correspondentes a eventos, acidentes e desastres

TERMINOLOGIA	CONCEITUAÇÃO	AUTORIA
Natural Event	Um evento natural, seja geológico, climatológico, etc. É simplesmente uma ocorrência natural sem conseqüências socioeconômicas ou perigos potenciais.	Engineering geology, an Enviromental Approach (1986).
Natural Hazard	Eventos que ocorrem naturalmente e são capazes de causar danos ou mortes de pessoas e/ou estragos em propriedades.	Natural Hazard, Risk Assessment and Public Policy (1982).
	Significa a probabilidade de ocorrências, dentro de um período de tempo específico, numa dada área, de um estrago potencial por fenômenos naturais.	UNDRO-ONU (1979).
Geologic Hazard	Condição geológica ou fenômeno geológico que apresenta um risco ou é um perigo potencial à vida e propriedade, ocorrendo naturalmente ou por interferência do homem.	American Geological Institute (1984).
Natural Disaster	Um desastre natural é resultado da ocorrência de um Hazard.	Engineering Geology, an Environmental Approach (1986).

Fonte: Augusto Filho *et al.* (1990).

Dessa forma, Reckziegel (2005, p. 75) descreve que os eventos naturais “consistem em eventos que ocorreram sem registros de perdas socioeconômicas, ocorrendo na sua maioria em áreas sem ocupação humana”. Já os perigos e os desastres “sempre estarão associados a alguma perda ou algum dano socioeconômico, tendo grande frequência a ocorrência em áreas ocupadas”. Sendo que o perigo corresponde à probabilidade de ocorrência do evento em uma área ocupada, e os desastres estão relacionados a um evento já ocorrido, que tenha sido registrado algum tipo de dano (RECKZIEGEL, 2005).

Cristo (2002) apresenta a conceituação Brasileira dos termos supracitados relacionados ao estudo de áreas de risco, perigos e desastres. Essas terminologias são propostas pela Política Nacional de Defesa Civil (BRASIL, 2000):

Desastre: Resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais e ambientais com consequentes prejuízos econômicos e sociais;
 Risco: Medida de danos ou prejuízos potenciais, expressa em termos de probabilidade estatística de ocorrência de um desastre e de intensidade das conseqüências previsíveis;
 Vulnerabilidade: Condição ou características sociais que determinam a exposição de um sujeito ao risco;
 Fragilidade: Condições ou características naturais que determinam a exposição de um meio físico-natural ao risco;
 Dano: Medida que define a intensidade ou severidade da lesão resultante de um acidente ou evento adverso. Se for perdido o controle sobre o risco, pode resultar em perda humana, material ou ambiental, física ou funcional. O dano também define a intensidade das perdas humanas, materiais ou ambientais, induzidas às pessoas, comunidades, instituições, instalações e/ou ecossistemas, como conseqüência de um desastre;

Ameaça: Estimativa de ocorrência e magnitude de um evento adverso, expresso em termos de probabilidade estatística de concretização do evento e da provável magnitude de sua manifestação;

Segurança: Estado de confiança, individual ou coletivo, baseado no conhecimento e no emprego de normas de proteção e na convicção de que os riscos de desastres foram reduzidos, em virtude de terem sido adotadas medidas minimizadoras;

Defesa Civil: Conjunto de ações preventivas, de socorro, assistenciais e reconstrutivas, destinadas a evitar ou minimizar os desastres, preservar a moral da população e restabelecer a normalidade social.

Seguindo as mesmas considerações propostas por Reckziegel (2005) para a elaboração de sua tese de mestrado, optou-se por utilizar o termo *hazard* como sinônimo de perigo e de risco, já que eles estão relacionados ao mesmo processo, e associados a atividades humanas diretamente expostas às forças naturais. Assim, o risco e o perigo estão relacionados em duas dimensões: sendo a primeira na dimensão dos fenômenos naturais de algum evento adverso, como os eventos de origem hidrológica, e a dimensão social, formada pela exposição da sociedade ao risco (RECKZIEGEL, 2005).

2.5. CLASSIFICAÇÕES DOS RISCOS E DESASTRES

No Brasil, foram desenvolvidas diversas classificações referentes aos riscos. A maior parte das classificações se baseia no processo desencadeador para dividir os tipos de risco. Augusto Filho *et al.* (1990) apresentam uma proposta de classificação em que os riscos são divididos em atmosféricos, quando relacionados aos processos originados de agentes atuantes na atmosfera, e geológicos, quando associados aos processos originados na astenosfera e hidrosfera. Os riscos geológicos são, ainda, divididos em endógenos e exógenos, dependendo da dinâmica a que estão relacionados e se é interna ou externa, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2. Classificação dos riscos, de acordo com a origem do processo desencadeador

CLASSIFICAÇÃO		PROCESSOS
Atmosféricos		- Tufões - Ciclones - Tempestades - Secas
Geológicos	Endógenos	- Terremotos - Vulcanismo - Tsunamis
	Exógenos	- Escorregamentos - Enchentes - Erosão - Subsidência - Solos expansivos

Fonte: Augusto Filho *et al.* (1990).

2.6. EVENTOS NATURAIS CAUSADORES DE DESASTRES

A estratégia internacional das Nações Unidas para redução de desastres (UNISDR, 2002) conceitua os “eventos naturais como processos ou fenômenos naturais potencialmente prejudiciais que ocorrem na biosfera, e podem causar sérios danos socioeconômicos às comunidades expostas”, associados à dinâmica fluvial, que podem causar enchentes, enxurradas e alagamentos. Além disso, há os eventos naturais associados à dinâmica atmosférica, que podem causar tempestades e vendavais, precipitação de granizo, tornados, ciclones e furacões, estiagens e secas. Existem também os desastres naturais associados à dinâmica de encosta, que podem originar movimentos de grandes camadas de solo ou barro, queda tombamento e movimento de blocos, deslocamentos e rastejos.

Embora a presente dissertação aponte os eventos naturais que podem surgir nas três dinâmicas supracitadas, a análise para a elaboração do estudo ocorrerá abordando os desastres associados à dinâmica fluvial.

2.7. EVENTOS NATURAIS CAUSADORES DE DESASTRES ASSOCIADOS A DINÂMICA FLUVIAL

2.7.1. Enchentes urbanas

Para Tucci (1997), as enchentes em áreas urbanas são a consequência de dois processos, que ocorrem de forma isolada ou de forma integrada, podendo ser classificadas de duas maneiras: enchentes devido ao processo de urbanização e enchentes em áreas de fundo de vale pela população ribeirinha.

As enchentes de urbanização ocorrem mediante o aumento da frequência e da magnitude das enchentes, devido ao uso e à ocupação do solo associado a ocupações construtivas de superfícies impermeáveis e de redes de condutos de escoamentos (TUCCI, 1997).

Já as enchentes em áreas ribeirinhas são associadas ao enchimento da calha do rio ou córrego, devido ao volume precipitado nos períodos chuvosos, atingindo a população que há ocupa. Essas enchentes acontecem, principalmente, pelo processo natural de chuvas e escoamento das águas, no qual o rio ocupa seu leito maior, com tempo de retorno da ordem de dois anos (TUCCI, 1997).

Pompêo (2000) também conceitua as enchentes como fenômenos naturais, que ocorrem regularmente nos cursos d'água devido às chuvas elevadas. Em áreas

urbanas, elas ocorrem em decorrência da grande intensidade das chuvas por um longo período, dando origem aos transbordamentos dos cursos d'água provocados pelas mudanças atípicas no ciclo hidrológico em regiões com maiores altitudes nas bacias hidrográficas ou pela própria alteração antrópica da região urbanizada.

2.7.2. Alagamento

Grilo (1992) descreve que os alagamentos geralmente ocorrem em áreas planas ou com depressões, assim como em fundos de vale, em virtude do comprometimento do escoamento superficial em direcionar a água para os fundos de vale devido à insuficiência de drenagem do sistema pluvial e ao perfil topográfico elevado pela cota do rio. A Codificação e Classificação Brasileira de Desastres (COBRADE, 2012) “classifica alagamentos como a extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas”.

2.7.3. Enxurrada

De acordo com a Cobrade (2012), a conceituação do termo enxurrada é “o escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado”. Além disso, é caracterizada pela elevação ascensão das vazões de um determinado curso d'água e seu transbordamento.

2.7.4. Inundação

O conceito de inundação é considerado um evento de natureza hídrica em áreas urbanas. Para Tucci e Bertoni (2003, p. 51), “a inundação ocorre quando as águas dos rios, riachos, galerias pluviais saem do leito de escoamento devido à falta de capacidade de transporte de um destes sistemas e ocupa áreas onde a população utiliza para moradia, transporte, recreação, comércio, indústria, entre outros”. Tais eventos podem ser ocasionados pelo comportamento natural dos da malha hídrica e também ampliados pelo efeito de alterações de origem antrópica devido ao processo de urbanização, por exemplo, a impermeabilização das superfícies e a canalização de córregos.

A Funasa (2015, p. 531) ilustrou (Figura 2) e contextualizou esses termos como: **enchente**: “representa o fenômeno de ocorrência de aumento de vazões com transbordamento de um canal de drenagem”, **inundação** “representa o extravasamento do fenômeno de enchente” e **alagamento**: “acúmulo de água nas ruas e nos perímetros urbanos por problema de drenagem”.

Figura 1. Perfil esquemático de enchente, inundação e alagamento



Fonte: Defesa Civil de São Bernardo do Campo, SP (2011).

2.7.5. Ocupação do espaço urbano e suscetibilidade

O espaço urbano se tornou o lugar, por excelência, da consolidação e expansão do modo de produção capitalista, no conjunto de diferentes usos da terra justapostos entre si, com várias áreas definidas, formando um complexo conjunto da organização espacial de uso da terra. Tais usos determinam as áreas da cidade a partir de suas funções, que podem ser comerciais, residenciais, de serviços, de entretenimento etc., ou aquelas reservadas para a futura expansão da cidade e do capital (CORRÊA, 1989, p. 6).

Corrêa (1989, p. 7) exemplifica que “este conjunto de usos da terra é, em realidade, a organização espacial da cidade ou, simplesmente, o espaço urbano, que aparece assim como espaço fragmentado”. Esse espaço fragmentado deve ordenado e possuir inter-relações entre as áreas de usos, sendo elas expressa na sua dependência ou até mesmo nas suas relações de maneira pouco variável. Desse modo, as áreas consideradas funcionais também devem possuir articulação e ordenação.

O cenário urbano dos municípios brasileiros, em sua maioria, revela a forma desordenada de apropriação desse espaço urbano, norteado pela ausência de planejamento. Esse desarranjo traz como seqüela níveis abusivos de deterioração ambiental, tornando esse espaço urbano susceptível a ações de eventos naturais,

gerando prejuízos e se tornando comum e evidente no cotidiano urbano (OLIVEIRA, 2004).

Para Julião *et al.* (2009), “a susceptibilidade pode ser entendida como a propensão para uma área ser afetada por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações”.

Segundo a terminologia do Ministério das Cidades (BRASIL, 2007, p. 10), a palavra “suscetibilidade” é adotada quando há “predisposição a um evento de uma determinada área, indicando a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em áreas de interesse ao uso do solo, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência”, sendo elas classes de áreas susceptíveis e não susceptíveis.

No intuito de esclarecer o termo suscetibilidade tendo como objeto central as inundações, Lima (2010, p. 23) aponta:

para a identificação das áreas sujeitas à inundação também foi utilizada a denominação suscetibilidade como um ou mais atributos físicos que uma determinada área possui e que a torna potencialmente sujeita à ocorrência de desastres relacionados à dinâmica hídrica.

Na perspectiva de identificação de áreas sujeitas à inundação, o mapeamento de áreas de risco surge como ferramenta indispensável por propiciar a avaliação do risco utilizando-se de diversas fontes de dados. Nesse sentido, “os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) vem ganhando muita importância, pois essa ferramenta garante adquirir e manipular dados cartográficos, podendo gerar resultados de baixo custo para análise de desastres associados a eventos de origem natural” (RAMÍREZ *et al.*, 2005, p. 260).

2.8. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

A definição de SIG é ampla, podendo ter várias definições, por exemplo, a definição de Burrough (1986, p. 193), que diz que o GIS é “um poderoso conjunto de ferramentas para recolha, armazenamento, recuperação e exibição de dados do mundo real para determinados propósitos”.

Já Taveira Pinto (2011, p. 10) define Sistema de Informações Geográficas (SIG) como uma base de dados com informação espacial,

composta por um conjunto de ferramentas para recolher, armazenar, recuperar, transformar e visualizar as informações espaciais sobre os

elementos que compõem a superfície terrestre, aplicando-se à análise, gestão ou representação do espaço e dos fenômenos que nele ocorrem.

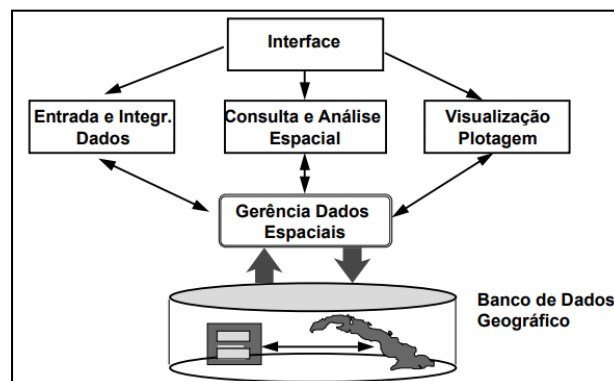
Mais a fundo, Korte (2001) explica que o SIG usa funções de dados geométricos ligados a tabelas de atributos alfanuméricos, e essas ligações são feitas por meio de um identificador (chave), podendo ser alimentado editado e manipulado.

Relacionado ao armazenamento, Mendes Filho *et al.* (2007) apontam que os SIGs podem armazenar informações com atributos espaciais e não espaciais para modelagem de cenários em diversas aplicações, sendo elas ambientais e socioeconômicas. Esse armazenamento propicia ao usuário a tomada de decisões, associadas a parâmetros ambientais e sociais.

O SIG pode ser utilizado em várias ciências de estudo, tendo como destaque as modelagens e aplicações dos elementos do meio físico, biótico e social, devido à sua ampla gama de aplicações, que inclui temas como geofísica, agricultura, floresta, cartografia, cadastro urbano e redes de concessionárias de água, energia elétrica e telefonia, e que todas as relações entre estes elementos dos meios físicos biótico e social podem ser apresentados de três maneiras, como por exemplo: a produção de mapas; o suporte para análise de fenômenos de ordem espacial; e como fonte de armazenamento por meio da criação de banco de dados espaciais (MEDEIROS, 1999, p. 38).

Na Figura 3, Câmara (2001) apresenta os seguintes componentes de um SIG, os quais se relacionam de forma hierárquica e de uma forma geral. As funções de processamento de um SIG operam sobre dados em uma área de trabalho em memória principal (banco de dados). As interações desses dados geográficos e as funções de processamento são feitas por mecanismos de seleção e consulta, que definem restrições sobre o conjunto de dados a ser visualizado ou plotado.

Figura 2. Estrutura geral de sistemas de informação geográfica.



Fonte: Câmara (2001, p. 33).

Devido à dinâmica e à alta complexidade do espaço urbano, as geotecnologias oferecem contribuições positivas para o planejamento das cidades, podendo ser comprovada por Câmara *et al.* (1996a, p. 28), que aponta que “a utilização do SIG para aplicações socioeconômicas tanto pode ser realizada para o planejamento, quanto para à avaliação de mudanças em uma região em resposta a uma determinada política”.

A partir desse princípio, o uso de geotecnologias permite, por parte dos gestores do espaço urbano, ter uma visão geral da configuração socioespacial da cidade, expondo as formas de ocupação do solo, bem como propiciando o mapeamento e o cadastro das áreas com ocupações de risco.

Assim, o uso de ferramentas de geotecnologias aplicadas em estudos socioambientais propiciam aos usuários realizar análises espaciais sob a holística de várias camadas temáticas. Ademais, possibilita-se, ao mesmo tempo, a geração de diversos cenários para ser aplicados nas tomadas de decisões, tornando essa ferramenta de grande importância como difusora do uso de tecnologias, com aplicações imprescindíveis na atualidade.

Alguns sistemas de informações georreferenciadas oferecem um conjunto de ferramentas que permitem desenvolver modelagens complexas envolvendo vários critérios e objetivos. A introdução recente de rotinas de apoio à decisão no ambiente dos SIGs tem possibilitado o aumento na flexibilidade e na complexidade das análises efetuadas com essa ferramenta.

2.8.1. SIG aplicado ao mapeamento de fenômenos naturais de origem hidrológica

Campana e Tucci (2001) abordam que um dos desafios de maior dificuldade enfrentados pelo poder público é prevenir quais são as consequências na população devido ao processo de ocupação desordenada, visto que, na maioria das vezes, essas áreas não foram analisadas antes da ocorrência do processo de ocupação.

Os autores apontam que a análise espacial e o cadastramento das áreas de risco antes da ocupação humana, com o auxílio de geotecnologias, tornam-se uma etapa inicial para as ações de mapeamento e prevenção de riscos de enchentes e alagamentos, tornando essa metodologia de uso essencial. Uma vez que ela proporciona o mapeamento de áreas de risco e o mapeamento da exposição da

população nas áreas consideradas de risco, pode-se, assim, evitar de maneira precisa a exposição humana e esses impactos (CANPANA; TUCCI, 2001).

Atualmente, o gerenciamento e a análise de risco com o auxílio do SIG têm sido muito utilizados pelos gestores de políticas públicas, pois a ferramenta demonstra maior agilidade e acurácia, tendo como exemplos de aplicações os trabalhos de Bartels (1998), Fedra (1998), Pruppers (1998). Os SIGs possuem uma gama de atributos e funções capazes de realizar a integração dos dados e a geração de cálculos cumulativos para mapeamento de risco (PRUPPERS, 1998; COZZANI, 2006).

Para o mapeamento de áreas de risco, a maioria dos autores aborda apenas os parâmetros físicos sem levar em consideração os parâmetros sociais. Para Saw *et al.* (2005), a interação de dados sociais é de suma importância para mapeamentos de áreas de risco, visto que, muitas vezes, essas áreas já estão ocupadas. O mesmo autor expressa que os métodos de integração dos dados de risco social são primordiais para a realização dessas análises, inclusive por meio da definição de áreas de cálculo, como a densidade populacional, a segregação socioespacial e os zoneamentos.

Scoti e Menezes (2014) apresentam que a utilização dos SIGs pode auxiliar a identificação e a definição das áreas de risco e de seu mapeamento, sendo alinhados com os avanços tecnológicos — pela facilidade de acesso e gratuidade e pela disposição de bases de dados — que representam ferramentas indispensáveis e essenciais aos mapeamentos e à identificação das áreas com risco de alagamentos e enchentes.

2.8.2. Pesquisas de referência

Silva (2013) propôs critérios para a ordenação do uso e a ocupação do solo urbano — com base na integração do mapeamento de áreas ribeirinhas inundáveis a fatores legais e institucionais — em áreas urbanas com pouca disponibilidade de dados e ocupação desordenada. Seu objetivo foi realizar o planejamento do uso e a ocupação do solo urbano, integrando o mapeamento de áreas com risco de inundação do município de Atibaia, São Paulo. Em sua metodologia, foi utilizada: a análise hidrológica de dados de precipitação e vazão das estações de monitoramento do Rio Atibaia monitoradas pela ANA; a análise hidráulica utilizando modelos digitais de

elevação para a geração de mapas de hipsometria; a análise do zoneamento e uso, assim como a ocupação do solo integrantes do plano diretor municipal, pontuando informações sobre as áreas de preservação, as áreas de várzea e a densidade populacional dos habitantes nas zonas de risco em ambiente SIG.

Os resultados obtidos por Silva (2013) evidenciaram 40% de toda área mapeada representou grau médio de risco, correspondendo às regiões que devem sofrer algum tipo de intervenção devido à ocupação e ao processo de expansão urbana, comprovando o uso da geotecnologia para mapeamento de áreas de risco.

Menezes (2014) desenvolveu um método utilizando SIG, para realizar o zoneamento das áreas de risco de inundação na área urbana de Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, bem como evidenciar a problemática de 22 bairros com histórico de enchentes alagamentos e inundações. Os produtos utilizados para o desenvolvimento de sua metodologia foram pautados em aquisição e modelagem de dados Raster de origem de um MDE, extração de dados hipsométricos e de declividade. O presente autor pontuou que as áreas com declividades abaixo de 2% representariam áreas planas de fundo de vale, bem como regiões mais susceptíveis a inundações.

Souza (2017) desenvolveu uma técnica utilizando geotecnologia para subsidiar a análise de danos ambientais e urbanos em caso de rompimento da UHE Santa Branca, localizada no município de Santa Branca, no Vale do Paraíba. Para a criação dos mapas de potencial de inundação, o autor utilizou dados de séries históricas da região para compreender a distribuição sazonal das cheias na bacia hidrográfica.

Diferentemente dos demais autores citados, Souza (2017) analisou a relação dos mapas de potencial de inundação associando variáveis do setor censitário — por exemplo, o número de domicílios permanentes com pavimentação, a arborização e os bueiros — com o auxílio do método AHP para a tomada de decisões. Seu resultado evidenciou que, no eventual rompimento da barragem, a destruição atingiria aproximadamente 32.590 habitantes.

Rezende (2020) realizou a análise de risco de desastres por inundação gerando cenários temporais na cidade de Governador Valadares, Minas Gerais. Para gerar o cenário de vulnerabilidade social dos habitantes inseridos nas áreas suscetíveis à inundação do município de Governador Valadares, foi necessário realizar a elaboração de mapeamentos de perigo de inundação considerando a suscetibilidade

e a probabilidade de recorrência de inundações pela utilização de imagens de satélite, vetores com áreas de suscetibilidade à inundação, parâmetros físicos de hidrografia, geologia, solos, período de retorno de vazão e dados socioeconômicos de alfabetização, infraestrutura básica, responsável pelo domicílio, idade e renda do universo censitário dos anos 2000 e 2010.

No estudo proposto por Rezende (2020), foi pontuado que sua proposta metodológica foi desenvolvida a partir de técnicas de geoprocessamento e geoestatística, destacando a utilização da modelagem em ambiente SIG para a elaboração de cenários temporais de risco de desastre e evidenciando a nítida contribuição das geotecnologias para estudos de risco.

Por fim, vale destacar o artigo com mais de 50 citações publicado por Goerl *et al.* (2012), que aplica em sua metodologia para mapeamento de áreas de risco de inundação indicadores sociais do universo censitário de 2000 para mensurar a vulnerabilidade social de exposição ao risco (IBGE).

O processo metodológico desta pesquisa foi desenvolvido com base na literatura de referência, que aborda a temática de mapeamento de áreas de risco utilizando geotecnologias. Para a construção do modelo empírico, foram utilizados parâmetros físicos de hipsometria e declividade extraídos de MDE, utilizados por Silva (2013) e Menezes (2014), parâmetros pedológicos, utilizados por Rezende (2020), além de variáveis socioeconômicas dos setores censitários para a geração de indicadores de vulnerabilidade social, propostos por Goerl *et al.* (2012).

Em comparação às bases de referência, o diferencial desta pesquisa é a utilização de modelos de curvaturas verticais e horizontais para a geração das formas de terreno, como proposto por Valeriano (2008). A importância da inclusão das formas de terreno no presente estudo garantirá melhor acurácia na análise empírica, já que os terrenos classificados como côncavo-convergente proporcionam a máxima concentração e o acúmulo do escoamento superficial, e os terrenos convexo-divergente definem a máxima dispersão do escoamento superficial.

3. OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste trabalho consiste em desenvolver uma metodologia em ambiente SIG para o zoneamento de risco de inundação e alagamentos na área urbana do município de Cuiabá, Mato Grosso.

3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo principal desta pesquisa, serão definidos quatro objetivos específicos, sendo eles:

- Determinar as áreas susceptíveis a inundações e alagamentos pelas características dos meios físico e socioeconômicos;
- Identificar, delimitar e categorizar as áreas com perigo de inundação por meio de matrizes de interação;
- Representar espacialmente e estabelecer zonas de risco associado ao cruzamento dos dados dos meios físico e socioeconômicos;
- Propor, por meio da metodologia zonas de risco de inundação, informações para compor estudos de planejamento urbano e zoneamento urbano municipal atendendo ao Decreto n.º 10.692/2021.

4. JUSTIFICATIVA

Referente aos instrumentos para redução de riscos e de desastres naturais, o Marco de Ação de Hyogo (MAH), implementado em 2005, tem seu destaque junto aos Estados-membros das Nações Unidas. Foi estabelecido que seu objetivo era aumentar a resiliência das nações e das comunidades frente aos desastres até o ano de 2015, atuando na redução considerável das perdas que ocasionaram os desastres, tanto para vidas humanas quanto para os bens sociais, econômicos e ambientais das comunidades e dos países (ONU, 2005).

Foi pontuado que os Estados-membros das Nações Unidas deveriam implementar plataformas nacionais multissetoriais para coordenar a redução de riscos de desastres em seus respectivos países, apoiar e promover o Marco de Ação de Hyogo — designando recursos para a criação de plataformas nacionais multissetoriais e efetivas a fim de orientar os processos de formulação de políticas para redução de riscos, bem como integrando o planejamento e desenvolvimento de estratégias para a redução da pobreza — com a finalidade de satisfazer as necessidades locais (ONU, 2005).

O Marco de Ação de Hyogo perdurou por 10 anos, fornecendo primordiais para redução de risco de desastres naturais. Todavia, sua aplicação gerou várias lacunas, indicando a necessidade de desenvolver o marco voltado para implementar ações a nível governamental e em cooperação com entidades de pesquisa visando mapear e identificar os possíveis riscos de desastres que necessitam de intervenções, além de

orientar a aplicação dos possíveis investimentos para garantir melhor resiliência da população (ONU, 2005).

Para preencher as lacunas deixadas pelo Marco de Ação de Hyogo, foi criado o Marco de Sendai, na Terceira Conferência Mundial sobre a Redução do Risco de Desastres, em março de 2015. Esse Marco tem como objetivo alcançar a redução substancial dos riscos de desastres, perdas de vidas, riscos econômicos, físicos, sociais, culturais e ambientais de pessoas, empresas, comunidades e países ao longo dos próximos 15 anos (SENDAI, 2015).

Foram estabelecidas sete metas a nível global para atingir o objetivo proposto. Elas visão: à redução substancial da mortalidade global por desastres até 2030; à redução substancial do número de pessoas afetadas em todo o mundo até 2030, comparando os dados de 2005 a 2015, objetivados pelo marco de Hyogo; à redução das perdas econômicas diretas por desastres em relação ao produto interno bruto (PIB) global até 2030; à redução substancial dos danos causados por desastres em infraestrutura básica e à interrupção de serviços básicos, como unidades de saúde e educação, inclusive por meio do aumento de sua resiliência até 2030; ao aumento substancial do número de países com estratégias nacionais e locais de redução do risco de desastres até 2020; à intensificação substancial da cooperação internacional com os países em desenvolvimento por meio de apoio adequado e sustentável para complementar suas ações nacionais para a implementação desse quadro até 2030; ao aumento substancial da disponibilidade e do acesso a sistemas de alerta precoce para vários perigos, informações e avaliações sobre o risco de desastres para o povo até 2030 (SENDAI, 2015).

No contexto nacional, o Marco de Sendai aponta que sua abordagem para redução dos riscos de desastres deve levar em consideração prioridades no contexto nacional, como:

promover acesso em tempo real a dados confiáveis, fazer uso do espaço e de informações *in situ*, incluindo sistemas de informação geográfica (SIG), e utilizar inovações em tecnologia da informação e comunicação para melhorar as ferramentas de medição e a coleta, análise e divulgação de dados. (SENDAI, 2015, p. 10).

O Escritório das Nações Unidas para a Redução de Riscos de Desastres (UNISDR) publicou, em janeiro de 2020, que o Brasil aparece em 15º lugar entre os países do globo com a maior população exposta ao risco de inundação de rios durante

duas décadas, ocorrendo cerca de 70 desastres e afetando quase 70 milhões de pessoas.

Para o tratamento de redução de riscos de desastres naturais no Brasil, em 2011, foi criado o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) por meio do Decreto Presidencial n.º 7.513/2011. Foi proposta a missão de monitorar as ameaças naturais em áreas de risco dos municípios brasileiros, além de realizar pesquisas e inovações tecnológicas que possam contribuir para a melhoria de seu sistema de alerta antecipado, com o objetivo final de reduzir o número de vítimas fatais e prejuízos materiais em todo o país.

Atualmente, o CEMADEN monitora 959 municípios com histórico de registros de desastres naturais decorrentes de movimentos de massa ou decorrentes de processos hidrológicos, como inundações, enxurradas ou grandes alagamentos, em todas as regiões brasileiras, incluindo a capital de Mato Grosso, Cuiabá. Até 31 de dezembro de 2020, o CEMADEN registrou 15.995 alertas para risco hidrológico e de movimentos de massa, classificando-os em três níveis de risco e alerta.

Em 2017, o Brasil alcançou 33,8% da cobertura dos municípios que implementaram medidas de redução de riscos, tendo como destaques positivos o Distrito federal, com cobertura de 100%, seguido pelo Estado do Espírito Santo, com cobertura de 93,6%. Em relação aos destaques negativos, o Estado do Piauí ocupa a última colocação, com cobertura de apenas 4%, seguido pelo Estado do Rio Grande do Norte, com 7,8%. Na região Centro-Oeste, o Estado do Mato Grosso possui apenas 16,3% dessa cobertura, ficando atrás do Estado do Mato Grosso do Sul, com cobertura de 49,4% (IBGE, 2017).

O indicador de cobertura dos municípios que implementaram medidas de redução de risco foi elaborado a partir da Pesquisa de Informações Básicas Municipais (MUNIC), que, em 2013, inseriu, pela primeira vez, questões específicas sobre a gestão de riscos e desastres, com os objetivos de potencializar ainda mais o propósito dessa pesquisa e contribuir para a orientação de diversas políticas públicas (ONU, 2016).

A meta desse indicador é conceber aos pobres e àqueles em situação de vulnerabilidade meios de superação, com o intuito de reduzir a exposição e a vulnerabilidade da população aos desastres naturais, relacionados a condições ambientais, econômicas, sociais e ambientais (BRASIL, 2017).

Os riscos relacionados aos desastres urbanos, como as enchentes, as inundações e os escorregamentos, são mais bem percebidos e conhecidos do que outros riscos, como os riscos associados à contaminação química. A gestão de riscos é um processo que se inicia quando a sociedade reverbera as ações desse processo adverso existente, sentindo os impactos em sua magnitude, os quais podem provocar consequências danosas superiores ao admissível por essa comunidade (ONU, 2016).

Nesse sentido, a gestão de risco envolve o planejamento e a aplicação de políticas, estratégias, instrumentos e medidas orientadas a impedir, reduzir, prever e controlar os efeitos negativos dos fenômenos que possam causar risco à população, aos seus bens e serviços, bem como ao meio ambiente (BRASIL, 2017).

A gestão de riscos é, portanto, o processo de adaptação de políticas, estratégias e práticas orientadas a reduzir o risco e minimizar seus efeitos, assim como implica intervenções sobre as causas que geram vulnerabilidades e perigos.

Em 2013, a MUNIC identificou, nos municípios brasileiros, a existência de algumas medidas e alguns instrumentos, capazes de gerenciar o risco com relação a desastres decorrentes de enchentes, inundações graduais ou enxurradas. Dessas medidas identificadas, temos como destaque o cadastro de riscos, o plano de contingência, o programa habitacional para realocação de população de baixa renda em área de risco, mecanismos de controle e fiscalização para evitar ocupação em áreas suscetíveis aos desastres e o mapeamentos de áreas de risco de enchentes ou inundações, que são o objetivo principal desta pesquisa (ODS BRASIL, 2017).

Em 2017, a MUNIC propôs que, para mensurar as ações e o cumprimento das metas do indicador 1.5.4, teriam de ser consideradas as estratégias locais de redução de risco, os instrumentos de planejamento, como: o Plano Diretor, que contempla a prevenção de enchentes ou inundações graduais, enxurradas ou inundações bruscas; a Lei de Uso e Ocupação do Solo, que contempla a prevenção de escorregamentos ou deslizamentos de encostas; entre outros documentos técnicos, assim como os instrumentos, supracitados, de gerenciamento utilizados até 2003 (ODS BRASIL, 2017).

Dentro desse contexto a utilização dos SIGs vem se tornando uma ferramenta popular de fácil operacionalidade, permitindo a utilização integrada dados do meio físico, e socioeconômico com representação acurada auxiliando o usuário na tomada de decisões.

Por isso, a aplicação da presente metodologia desenvolvida para mapeamento de áreas susceptíveis a alagamentos e inundações colabora com uma das prioridades nacionais do Marco de Sendai, uma vez que o marco promove a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), bem como o uso de inovações em tecnologia da informação para aperfeiçoar o uso da ferramenta em ambiente SIG, no mapeamento, na coleta e na análise de dados para divulgação e tomada de decisões.

Para o contexto de Cuiabá, a aplicação da pesquisa vai ao encontro do artigo 3^A da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, Lei Federal 12.608/2012, na qual aponta que “os municípios devem elaborar mapeamento de risco contendo as áreas susceptíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos” (BRASIL, 2012).

Em 3 de maio de 2021, foi publicado o Decreto n.º 10.692/21, que instituiu, em seu artigo primeiro, que os Municípios devem realizar

o cadastro nacional de Municípios com áreas susceptíveis à ocorrência de deslizamentos de grande Impacto, inundações bruscas, realizando o mapeamento das áreas susceptíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas, com limites georreferenciados. (BRASIL, 2021).

O documento diz ainda que cabe também aos municípios “a responsabilidade na elaboração da carta geotécnica de aptidão à urbanização e estabelecer diretrizes urbanísticas com vistas à segurança dos novos parcelamentos do solo e ao aproveitamento de agregados para a construção civil (BRASIL, 2021)”.

Assim, a proposta metodológica desenvolvida no presente projeto atende aos preceitos estabelecidos pelo Decreto n.º 10.692/21, devido à operacionalidade e à aplicabilidade, colaborando no fornecimento de informações do mapeamento das áreas de risco, evidenciando que a metodologia é de fácil utilização e aplicabilidade para os gestores municipais implantarem em ações de planejamento urbano e tomadas de decisões.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. POLO METODOLÓGICO

Optou-se, nesta pesquisa, pela escolha de uma metodologia capaz de compreender o objeto de estudo em evidência. Logo, o método quadripolar, proposto por Bruyne *et al.* (1977, p. 35), aborda os fundamentos teórico-metodológicos necessários, para que haja a dialética, a compreensão, o funcionalismo e a

estruturação da pesquisa “de forma que haja a possibilidade de testar modelos ou sistemas estruturais, para que possam ser aplicados por meio de experimentação no estudo de caso proposto”.

A metodologia quadripolar foi proposta, em 1977, por Paul De Bruyne, Jacques Herman e Marc de Schoutheete, da Universidade de Louvain, na Bélgica, e trata-se de uma resposta alternativa ao positivismo e à dicotomia redutora entre a abordagem quantitativa e qualitativa. Para Silva (2014), esse método surge como opção metodológica das ciências sociais aplicadas e especialmente da ciência da informação como alternativa à tradicional pesquisa linear.

O modelo desse método é formado por quatro polos, sendo eles: epistemológico, teórico, técnico e morfológico (Figura 3). Eles interagem entre si, por isso o processo de investigação se desenvolve a partir de um campo estruturado, baseando-se nesses quatro polos ou em diferentes instâncias metodológicas, que podem possuir exigências próprias, sem se constituírem em momentos separados (SILVA, 2014).

Para Silva (2014), toda pesquisa se inicia após ser delimitado o polo epistemológico visando situar a investigação em paradigmas e critérios de cientificidade que orientam a pesquisa. De acordo com Burrell e Morgan (1979), a epistemologia está relacionada à essência do próprio conhecimento, sob o ponto de vista de como o indivíduo poderia começar a entender a realidade investigada e transmitir esse conhecimento a partir da construção de objetos científicos.

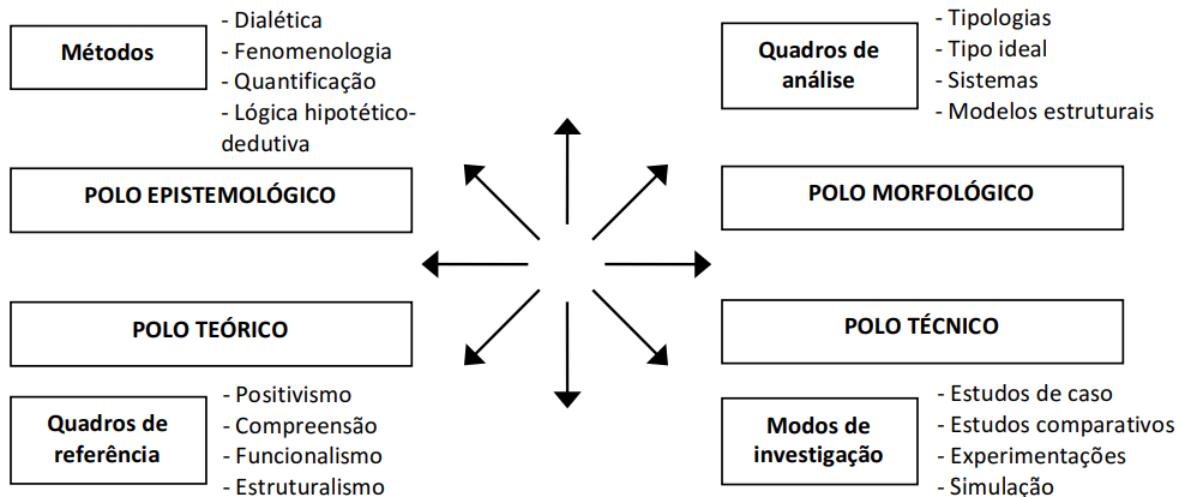
Já o polo teórico está centralizado na racionalidade do pesquisador que conhece e aborda o objeto, bem como a imprecisão de leis, a formulação de hipóteses, teorias e conceitos operatórios e, conseqüentemente, a validação ou a invalidação. Hodges (1997) define que o polo teórico é um conjunto de sentenças e remete a uma fórmula com todas as variáveis conhecidas.

De acordo com Bruyne *et al.* (1974), para que ocorra a separação dos dados relevantes para a problemática da investigação, o polo técnico se ocupa dos procedimentos de aquisição, tabulação e processamento de dados. Em última análise, os fatos irão aferir a pertinência dos sistemas teóricos nos quais essas hipóteses serão inseridas.

No polo morfológico, ocorre a objetivação da problemática com a organização e apresentação dos resultados utilizados com base nos outros três polos, tendo como

ilustração da interação destes polos a Figura 3, conforme apresentado por Bruyne *et al.* (1977).

Figura 3. Aspectos particulares dos polos metodológicos da prática científica



Fonte: Bruyne, Herman e Schoutheete (1977, p. 36).

5.2. ÁREA DE ESTUDO

O perímetro urbano de Cuiabá teve sua primeira regulamentação, por meio do Ato n.º 176, de 25 de julho de 1938, posteriormente sancionado pela Lei n.º 534, em 4 de junho de 1960, pelo então prefeito Hélio Palma de Arruda, no qual delimitaram-se as zonas urbanas e suburbanas da cidade, estabelecendo a área urbana em 4,50 km². No início da década de 1960, a população de Cuiabá se mantinha com aproximadamente 50 mil habitantes, tendo um crescimento exponencial de 50 mil habitantes para mais de 100 mil habitantes em 1970. Esse crescimento ocorreu devido às novas levas de migrantes durante as décadas de 1970 e 1980. Grande parte desse contingente radicou-se na cidade, tornando a área urbana impossível de comportar toda população. Por essa razão, foram sancionadas leis ampliando o limite do perímetro urbano em 1974, 1978 e 1982. Em 12 de março de 1974, o prefeito José Vilanova Torres sancionou a Lei n.º 1.346, delimitando as áreas urbanas e de expansão urbana da cidade, ficando Cuiabá com a área urbana de 48,45 km².

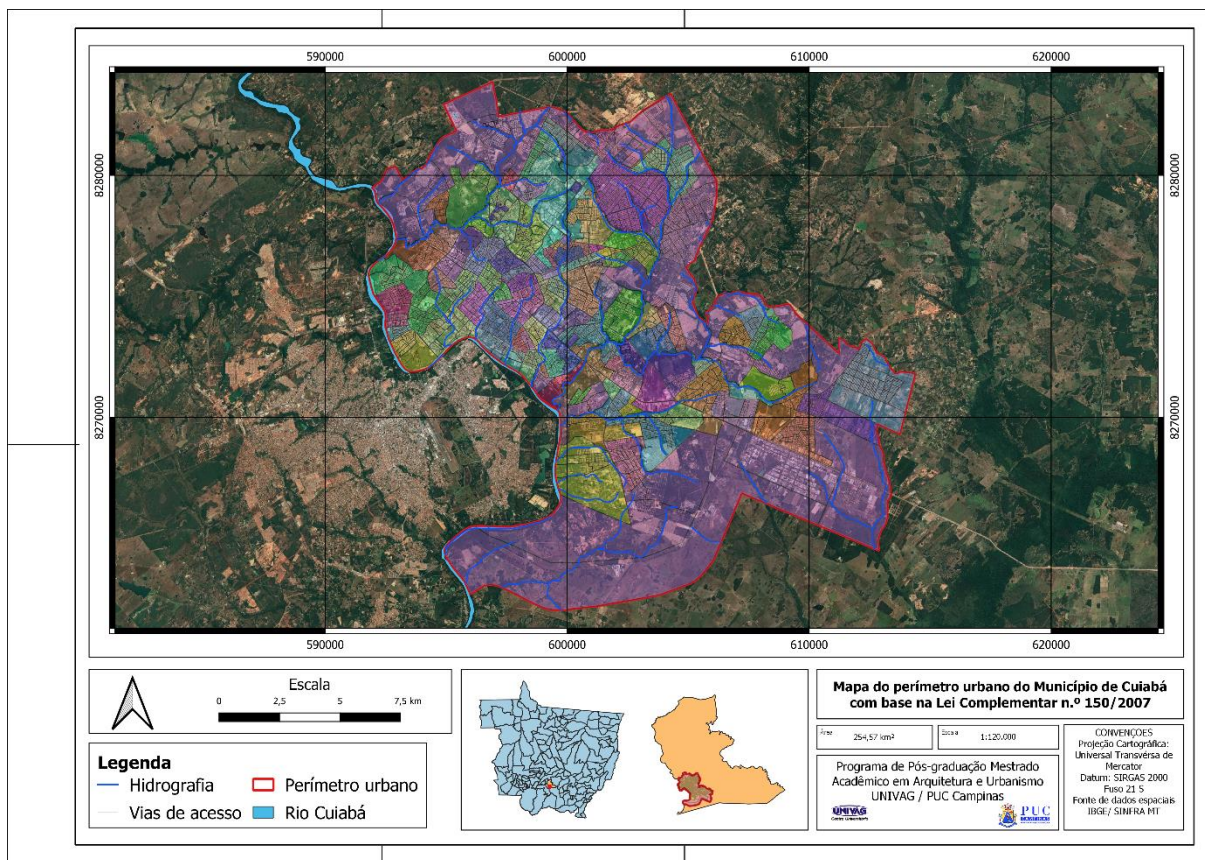
No ano de 1978, o prefeito Manoel Antônio Rodrigues Palma sancionou a Lei n.º 1.537, redefinindo as áreas urbanas e de expansão urbana, passando a área urbana para 104,98 km². Em 1982, a Lei n.º 2.023, de 9 de novembro, que dispõe sobre o uso e a ocupação do solo urbano no município de Cuiabá, nela foi definida a nova zona urbana, ficando a área urbana de Cuiabá com 153,06 km².

O censo demográfico realizado pelo IBGE, no ano de 1980, contabilizou mais de 200 mil habitantes, evidenciando que a população de Cuiabá continuava a crescer vertiginosamente para mais de 400 mil habitantes no ano de 1991. Para resolver tal situação, naquele período, a Lei Complementar n.º 003, de 1992, a Lei do Plano Diretor, determinou, em uma de suas diretrizes, a incorporação ao perímetro urbano das parcelas urbanas localizadas fora dos limites do perímetro. Diante desses fatos, foi elaborada e sancionada, pelo prefeito Dante Martins de Oliveira, a Lei n.º 3.412/94, definindo um novo limite do perímetro urbano do município, denominado Macrozona Urbana. Nela, foram incorporadas as parcelas urbanas localizadas nas adjacências do perímetro urbano, bem como uma faixa marginal localizada na Rodovia dos Imigrantes, expandindo o perímetro urbano para 251,94 km², incluindo várias glebas não urbanizadas e as definindo como áreas de expansão urbana.

Em julho de 2004, o perímetro urbano municipal foi novamente alterado, com a sanção da Lei n.º 4.598, incorporando a região do Sucuri para a construção do Núcleo Habitacional Sucuri, estabelecendo a área do perímetro urbano de 251,94 km² para 252,58 km². Entretanto, em dezembro de 2004, com a sanção da Lei n.º 4.719, o limite do perímetro urbano foi ampliado novamente em 1,99 km². Incorporou-se parte da área definida pela Lei n.º 4.485, passando a macrozona urbana a contar 254,57 km².

Diante dessa realidade, o Plano Diretor de Desenvolvimento Estratégico de Cuiabá foi consolidado pela Lei Complementar n.º 0150, de janeiro de 2007, sancionada pelo prefeito Wilson Santos, que determinou, em seu artigo 89: a proibição da ampliação do perímetro urbano pelo período de 10 anos, a partir da aprovação da lei, salvo em situação de calamidade pública, mantendo seu perímetro 254,57 km², conforme estabelecido anteriormente pela Lei n.º 4.719, apresentado na Figura 4.

Figura 4. Mapa do perímetro urbano do Município de Cuiabá com base na Lei Complementar n.º 150/2007



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

5.3. PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

Os procedimentos adotados para a realização desta pesquisa estão descritos no fluxograma a seguir (Figura 5), no qual apresenta os cinco passos operacionais para a aquisição de fontes de dados espaciais, do recorte espacial para modelagem do estudo e da validação do método baseado no método quadripolar, proposto por Bruyne *et al.* (1977). Todos os dados utilizados são essenciais para atingir os objetivos propostos, principalmente na utilização de estudos para os meios físico e socioecológicos.

Figura 5. Fluxograma dos procedimentos operacionais principais



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

5.3.1. Aquisição dos dados

Para elaboração dessa pesquisa, foram utilizadas imagens do satélite de alta resolução GeoEye, disponível pelo plugin QuickMapServices, que possibilita a visualização de uma camada web de mapas on-line dentro de um projeto do operacionalizado pelo sistema de informações geográfica QGIS. Essas camadas provêm de serviços on-line de mapeamento, como Google Earth, que disponibiliza imagens do satélite GeoEye, com data de passagem no dia 7 de maio de 2019 para que seja possível realizar espacialmente como estão o uso e a ocupação do solo.

Para o mapeamento do meio físico e a geração dos mapas de relevo, altimetria, declividade, curvatura do terreno e forma do terreno, utilizou-se o Modelo Digital de Elevação (DEM) proveniente da missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM). Os dados Topodata podem ser adquiridos gratuitamente no site do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE/ projeto Topodata).

Os dados Topodata são arquivos no formato matricial, tendo um refinamento na sua resolução espacial por meio de técnicas de processamentos computacionais, alterando sua resolução espacial com o pixel de origem de 90 m para 30 m. Tais dados

estão todos estruturados em quadrículas compatíveis com a articulação na escala 1:250.000, sendo utilizada para a área de estudo a folha 15S57.

Os dados de pedologia foram adquiridos no Banco de Dados de Informações Ambientais (BDiA) produzidos pelo IBGE. Esse banco é um sistema de informações ambientais para o Brasil disponível para consulta pública na web. Na plataforma, é possível acessar e adquirir informações espaciais referentes à coleção de bases temáticas dos mapeamentos de recursos naturais da geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação. Para o desenvolvimento da pesquisa, foram adquiridos dados pedológicos no formato shapefile da folha 15S57, compatíveis com a articulação na escala 1:250.000 para o Município de Cuiabá.

Para modelagem dos dados socioeconômicos, foram utilizadas informações do Universo por setor censitário de 2010. A unidade territorial adotada para as análises dos dados referentes à população foi o setor censitário, conforme delimitado e identificado pelo IBGE (2010). A partir do mapeamento da divisão censitária disponibilizada no formato vetorial, foram realizados procedimentos de união por código do setor dos dados espaciais dos setores censitários de Cuiabá: no formato shapefile com as tabelas de resultados do Universo censitário originais do IBGE no formato XLS (Microsoft Excel).

5.3.2. Mapas temáticos do meio físico

5.3.2.1. Mapa hipsométrico

Evans (2011) aponta que os parâmetros morfométricos (elevação e declividade) manipulados em ambiente SIG possibilitam uma gama de variáveis para serem analisados quantitativamente em paisagens heterogêneas. De acordo com Evans (2011), a elevação é essencialmente um valor pontual da superfície terrestre acima do nível do mar. Em um Modelo Digital de Elevação (MDE), os arquivos são estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, formando uma grade de células com valores de elevação distribuídos em cada célula (pixel).

Para gerar o mapa hipsométrico do perímetro urbano de Cuiabá, foi adquirido a quadrícula 15S57 no formato Raster Geotiff, disponível gratuitamente no banco de dados geomorfológico do Brasil "Projeto Topodata". Todas as quadrículas disponíveis estão na escala de articulação 1:250.000, em folhas de 1° de latitude por 1,5° de longitude.

Após a aquisição da imagem contendo dados brutos de elevação, foi necessário realizar o processo de reclassificação, que consiste na classificação altimétrica do relevo em intervalos regulares de cotas, visando destacar porções específicas do terreno de acordo com seu grau de fragilidade.

Florinsky *et al.* (2002) apontam que, quanto maior a altitude, menor será a probabilidade de inundação para uma determinada região devido à ação da lei da gravidade, que direciona a água para as regiões mais baixas.

Nesse projeto, as classes de altitude foram representadas individualmente por meio de uma paleta graduada de cores, com intervalos de 30 m (Tabela 01) com base na variação topográfica apresentada pela área de estudo de Magalhães *et al.* (2011) e adaptada pelo autor, utilizando o comando `r.reclass`, que reclassifica o mapa Raster com base nos valores categorizados.

Tabela 1. Pesos das classes hipsometrias

Classe de altitude (m)	Grau de Fragilidade	Peso
150 – 180	Muito elevada	5
180 – 210	Elevada	4
210 – 240	Moderada	3
240 – 270	Baixa	2
> 270	Nula	1

Fonte: Adaptada de Magalhães *et al.* (2011).

5.3.2.1. Mapa de declividade

Segundo Valeriano (2008, p. 28) “a declividade é definida como o ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação à horizontal. Seus valores podem variar de 0° a 90°, embora seja mais comumente expressa em porcentagem, de zero a infinito”.

Valeriano (2008) considera a declividade como o parâmetro do relevo mais importante em uma análise geomorfológica devido à sua estreita associação a processos de transporte gravitacional, como escoamento, erosão e deslizamento.

Em estudos urbanísticos, a utilização de parâmetros geomorfológicos, como declividade, é uma variável básica a ser incorporada no planejamento territorial dos estudos mais conservadores até os estudos mais tecnológicos, sendo baseados em modelagem numérica utilizando MDE.

O mapa de declividade foi gerado pelo MDE Topodata com auxílio da ferramenta de análise de terreno Raster no programa QGIS. Essa ferramenta gera

mapas de relevo, sendo possível escolher duas formas de representação: a expressa em porcentagem ou a expressa em graus. Nesse estudo, optou-se pela representação em porcentagem, tendo como produto um arquivo produzido com a nomenclatura Slope.

Após a geração do dado matricial Slope, foi realizado o processo de reclassificação das classes de declividade em cinco classes utilizando o comando `r.reclass`, que reclassifica o mapa Raster com base nos valores categorizados — conforme descrito pela EMBRAPA (1979) — e pesos atribuídos para representar a probabilidade de ocorrência de eventos relacionados à hidrologia, como movimento de massa de água (Tabela 2).

Tabela 2. Classificação da declividade associada a eventos de natureza hidrológica

Declividade (%)	Probabilidade de ocorrência	Peso
0 – 2,5	Muito elevada	5
2,5 – 5	Elevada	4
5 – 7,5	Moderada	3
7,5 – 15	Baixa	2
>15	Nula	1

Fonte: Adaptada de Embrapa (1979).

5.3.2.2. *Curvatura vertical e curvatura horizontal e formas do terreno*

De acordo com Valeriano (2008, p. 35), a curvatura vertical expressa o formato da vertente quando observada em perfil. O autor afirma que “é definida com a segunda derivada da altitude, o que pode ser descrito como a variação da declividade ao longo de uma determinada distância, se referindo ao caráter convexo/côncavo do terreno, quando analisado em perfil” (VALERIANO, 2008, p. 35).

Já a curvatura horizontal expõe a direção da projeção na horizontal e é também definida como uma derivada de segunda ordem das cotas topográficas. Relacionada a movimentos convergentes e divergentes de redes de fluxo, Valeriano (2008, p. 38) diz que “a curvatura horizontal pode ser descrita como a variação da orientação de vertentes ao longo de uma determinada distância. Na nossa percepção comum, a curvatura horizontal se traduz no caráter de divergência ou convergência das linhas de fluxo”.

As curvaturas verticais extraídas dos dados SRTM Topodata apresentam valores negativos que representam as superfícies convexas, valores positivos que

representam superfícies côncavas, bem como valores nulos (zero) que representam superfícies planas. Já no caso do mapa de curvaturas horizontais, os valores negativos representam as superfícies côncavas; os valores positivos, as superfícies convexas; e os valores nulos (zero), as superfícies planas.

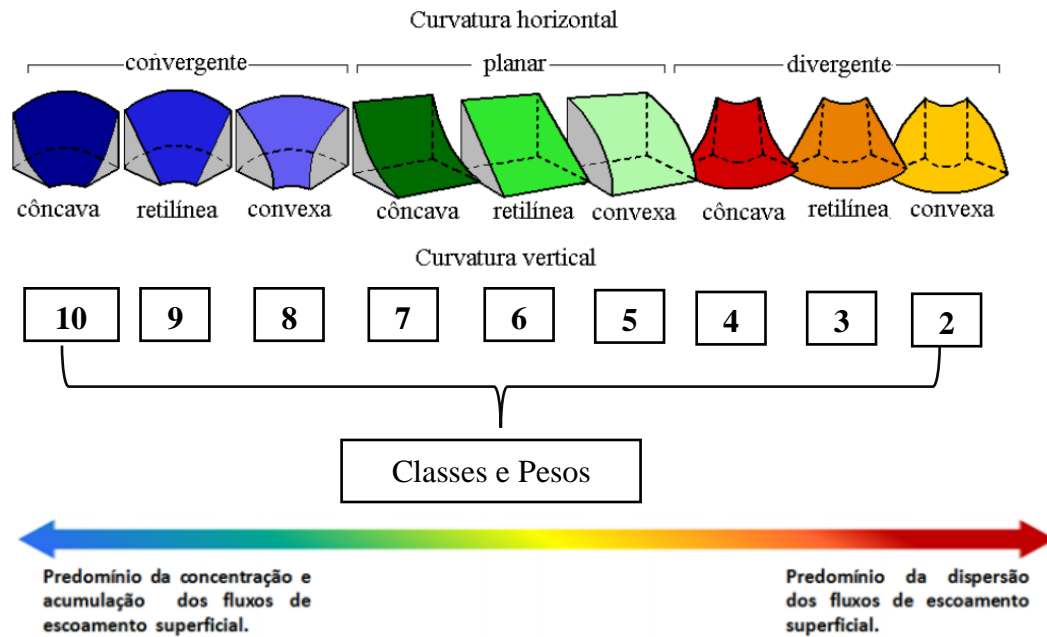
Valeriano (2008) utilizou a combinação dois arquivos distintos para fornecer meios interpretativos de maneira equivalente. Ele realizou as combinações entre essas curvas e visualizou que a soma das duas informações representa a caracterização das formas de terreno, associadas diretamente às propriedades hidrológicas e de transporte de sólidos.

A geração do mapa de curvaturas em ambiente SIG ocorreu por meio da aquisição dos produtos gerados pela base de dados Topodata na escala de 1:250.000, da folha 15S57 para as curvaturas verticais e horizontais. No software QGIS, foi realizada a etapa de processamento dos dados por meio da calculadora raster, que permite realizar operações matemáticas utilizando dados em formato Geotiff, tendo como resultado nove classes provenientes do somatório dos dois produtos.

Para atribuição de pesos referente ao processo de movimentação de massa e acúmulo de fluxo, foi utilizado o comando `r.reclass` para gerar um arquivo Raster com valores categorizados por pesos de predomínio de acumulação variando entre 7, 8, 9 e 10 e pesos associados ao predomínio de dispersão variando entre 2, 3, 4 e 5, representando as formas do terreno e a dinâmica hidrológica (Figura 6).

Na escala de combinações, o maior o valor indica a forma côncavo-convergente (10), dando origem à máxima concentração e ao acúmulo do escoamento, já o menor valor (2) representa o modelo de curvatura convexa-divergente, promovendo a máxima dispersão do escoamento para as outras formas de terreno, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6. Combinação de curvaturas verticais para caracterização das formas de terreno, de acordo com seus pesos e atribuídos



Fonte: Adaptada de Valeriano (2008) e Dikau (1990).

5.3.3.3. Pedologia

A base cartográfica utilizada para consulta espacial e confecção do mapa pedológico foi adquirida no Banco de Dados de Informações Ambientais (BDiA), que é um sistema de informações ambientais a nível Nacional e disponível para consulta pública na web. Essa base de dados espaciais reúne a coleção temática dos mapeamentos de recursos naturais do país nos temas geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação produzidos pelo IBGE.

Para representação do recorte espacial, foi adquirido arquivo *vege_area_mu_5103403.cpg*, em formato shapefile, da Folha SD.21, que representa a região da Baixada Cuiabana. Esse arquivo está disponível para download gratuito no site do sistema de geociências do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), na escala 1:250.000.

A pedologia foi escolhida para compor um dos atributos para realização do presente projeto devido ao grau de fragilidade dos diferentes tipos de solo, os quais podem apresentar um papel relevante no processo de suscetibilidade à inundação. Diferentes tipos de solos podem demonstrar, segundo os materiais que são constituídos, diferentes níveis de permeabilidade. Assim, torna-se relevante sua

inserção na análise da perigosidade na dinâmica de inundação, considerando que, quanto maior for o nível de permeabilidade, maior será a suscetibilidade da área ser inundada, utilizando como base os materiais geológicos descritos por Ross (1994).

Para analisar o grau de fragilidade de acordo com o tipo de solo, o arquivo vetorial *vege_area_mu_5103403.cpg* foi reclassificado de acordo com seu grau de fragilidade ambiental (Tabela 3) e convertido do formato vetorial para o formato matricial para a realização dos procedimentos de modelagem, além da geração de mapas de alagamentos e inundação.

Tabela 3. Classificação dos tipos de solo com base no grau de fragilidade e pesos

Solo	Graus de Fragilidade	Peso
Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho escuro e Vermelho amarelo, textura argilosa.	Muito baixa	1
Latossolo Amarelo e Vermelho amarelo, textura média/argilosa, Argissolo, Gleissolo	Baixa	2
Latossolo Vermelho amarelo, Nitossolos, Aluvissolos, neossolos textura média/argilosa, Planossolos.	Média	3
Plintossolo com cascalho, Cambissolo, Argissolo Vermelho amarelo	Alta	4
Neossolos com cascalho	Muito Alta	5

Fonte: Adaptada de Ross (1994).

5.3.4. Mapas temáticos socioeconômicos

5.3.4.1. Mapa de densidade urbana

Acioly e Davidson (1998, p. 16) apontam que “a densidade urbana é um dos mais importantes indicadores e parâmetros de desenho urbano a ser utilizado no processo de planejamento e gestão”. A densidade urbana representa o número total da população em uma área específica que, para o âmbito urbano, pode ser traduzido em habitantes por uma unidade: geralmente medida em hectares (ha).

A metodologia desenvolvida para análise da vulnerabilidade para dados socioeconômicos utiliza os parâmetros de densidade urbana, obtida a partir da grade numérica gerada pela interpolação de valores de média ponderada dos dados censitários de 2010 do IBGE, que considera o número de pessoas/ha e pode expressar o número de pessoas em risco. Serão utilizados dados demográficos por áreas de ponderação do município de Cuiabá, sendo categorizados em cinco classes temáticas, conforme apresentado na Tabela 4.

A fonte de dados utilizada para a geração do mapa de densidade urbana foi o arquivo *Basico_CUIABA.xls*, que contém os códigos e nomes das subdivisões geográficas e a informação básica do cadastro de áreas (totais, médias e variâncias). A variável “V002” foi utilizada para gerar a densidade urbana por setor censitário e apresenta informações relacionadas ao número de moradores em domicílios particulares permanentes ou população residente em domicílios particulares permanentes (IBGE, 2010).

A densidade urbana foi extraída pela divisão do número de moradores por setor censitário pela área de cada setor em hectares, realizado com o auxílio da calculadora vetorial no software QGIS 3.16. Após a geração do arquivo de DU no formato vetorial (shapefile), foi realizado o procedimento de conversão do arquivo vetorial para matricial e a reclassificação em cinco classes temáticas estabelecendo diferentes graus de densidade, utilizando como base os valores propostos por Acioly e Davidson (1998) e adaptados pelos autores, como descritos na Tabela 4.

Tabela 4. Classes de densidade urbana de Cuiabá MT por área de ponderação

Densidade urbana (habitante/Ha)		
Grau	Classes	Peso
Baixa	0 a 34	1
Médio baixo	34 a 74	2
Médio Alta	74 a 124	3
Alta	124 a 226	4
Muito alta	Acima de 226	5

Fonte: Adaptada de Acioly e Davidson (1998).

5.3.4.2. Mapas temáticos de vulnerabilidade social

Conforme apontado por Hill e Cutter (2001), a vulnerabilidade social está associada às características da população, que a tornam mais ou menos suscetível aos impactos adversos dos perigos. Modelar a vulnerabilidade social dos lugares com limites geográficos definidos pode apresentar vantagens significativas, uma vez que essa abordagem permite mapear vulnerabilidades e comparar os níveis relativos a vulnerabilidade de um lugar para outro ou de uma região para outra.

Embora existam várias definições do termo vulnerabilidade, conforme apontado pelos autores Warmington (1995), Lewis (1999) Comfort *et al.* (1999), Sarewitz e Pielke (2000), esta pesquisa optou pela definição de vulnerabilidade descrita pelo Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas (UNPD 2004, p. 11), o qual descreve que “a vulnerabilidade é uma condição ou processo resultante de fatores

físicos, sociais, econômicos e ambientais, os quais determinam a probabilidade e escala dos danos causados pelo impacto de um determinado perigo”.

Para gerar o mapa temático de vulnerabilidade social, foram selecionadas oito variáveis censitárias, conforme utilizadas por Goerl *et al.* (2012), para construir um índice de vulnerabilidade social (Tabela 5), sendo três relacionadas às características demográficas (*D*) provenientes da planilha *Basico_CUIABA.xls*, uma relacionada às características de dependência/idade proveniente da planilha *Responsavel01.xls* (*Td*), uma associada à educação proveniente da planilha *Pessoa01.xls* (*A*) e uma relacionado à renda proveniente da planilha *ResponsavelRenda.xls* (*R*), como demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5. Variáveis censitárias e variáveis utilizadas para mensurar a vulnerabilidade

Variáveis censitárias	Variáveis de vulnerabilidade
Número de moradores no setor	Número de moradores no setor (NM)
Média de moradores por domicílio	Média de moradores por domicílio (MMD)
Densidade Urbana	Densidade Urbana (Du)
População acima de 65 anos	Soma da porcentagem da população abaixo de 12 anos e acima de 65 (Td)
População abaixo de 12 anos	
Pessoas analfabetas acima de 12 anos	% de pessoas analfabetas acima de 12 anos (A)
Responsáveis sem rendimento	Soma da porcentagem dos responsáveis sem rendimento e com rendimento de até 1 Salário-Mínimo (R)
Responsável com rendimento até 1 Salário-Mínimo	

Fonte: Adaptada de Goerl *et al.* (2012).

Ao quesito dependência, adotou-se como limite a população abaixo de 12, que, de acordo com o Estatuto da Criança e do Adolescente (ECA), é considerada criança, sendo totalmente dependente de seus pais ou responsáveis, perante a lei e a sociedade. Além disso, inclui-se a população acima de 65 anos, constituída de pessoas idosas, conforme descrito na Organização Mundial de Saúde (OMS).

Com base nessas variáveis, é desenvolvido o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), conforme descrito na equação abaixo:

$$IVS = \frac{Dd + Nm + Mmd + Td + A + R}{IDHM} \quad \text{Equação 1}$$

Na equação, *Dd* é a densidade demográfica em hectares, *Nm* é o número de moradores no setor censitário, *Mmd* é média de moradores por domicílio, *Td* é a porcentagem da taxa de dependência dos idosos e jovens, *A* é a porcentagem de analfabetos acima de 12 anos, *R* é a porcentagem da somatória dos responsáveis

sem rendimento ou com até 1 salário-mínimo, e IDHM é o Índice de Desenvolvimento Humano do Município de Cuiabá. O IDHM é dividido em três classes, sendo: de 0 a 0,499 (baixo desenvolvimento), 0,5 a 0,799 (médio desenvolvimento) e 0,8 a 1 (alto desenvolvimento). A Capital do Estado de Mato Grosso possui o IDHM 0,785, o que a deixa próxima ao alto desenvolvimento.

Para a construção de cada dimensão do IVS, foram utilizados pesos equivalentes para cada indicador — por meio da observação dos parâmetros máximos e mínimos (equação 2) em cada indicador — para transformá-los em um indicador padronizado, com valores variando de 0 a 1, em que 0 corresponde à situação ideal, ou desejável e 1 corresponde ao cenário mais desfavorável.

$$V_{escalado} = \frac{\text{Valor observado} - \text{Valor Mínimo}}{\text{Valor máximo} - \text{Valor mínimo}} \quad \text{Equação 2}$$

Esse valor escalonado foi classificado em cinco classes com pesos estabelecidos em escala crescente, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Grau do índice de Vulnerabilidade Social com base nas variáveis censitárias por área de ponderação e pesos

Índice de Vulnerabilidade Social		
Grau	Escala de IVS	Peso
Muito alta	1 a 0,8	5
Alta	0,8 a 0,6	4
Médio Alta	0,6 a 0,4	3
Médio baixo	0,4 a 0,2	2
Baixo	0,2 a 0	1

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

5.3.5. Método AHP

O método de Análise Hierárquica de Processos (AHP), criado por Saaty (1977), consiste em construir uma escala de importância entre os elementos analisados para, posteriormente, colocá-los em uma matriz de relacionamento para ser feita uma comparação pareada. Assim, pode-se ter uma percepção de que há uma hierarquia de importância entre os elementos analisados. Para o mapeamento da vulnerabilidade, foi utilizado o método AHP, levantando em consideração os condicionantes estabelecidos por Caprario (2017): hipsometria, declividade e parâmetros propostos pelo autor como formas de curvatura do terreno, litologia, densidade urbana e o índice de vulnerabilidade social.

Para prosseguir com o processo de hierarquização proposto pelo método AHP, foi adaptada a escala absoluta de Saaty (1987), que contém a intensidade de importância em escala absoluta de 1 a 9. Para cada grau de intensidade, existe uma definição e uma justificativa, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7. Escala Absoluta, Definição e Justificativa para o processo decisório com a AHP

Intensidade da importância da escala absoluta	Definição	Justificativa
1	Igual importância	As duas atividades contribuem equitativamente para o objetivo
3	Importância moderada de um sobre o outro fator	Julgamento e experiência favorecendo fortemente uma atividade sobre a outra
5	Essencial ou forte importância	Julgamento e experiência favorecendo fortemente uma atividade sobre a outra
7	Importância muito forte	Uma atividade é fortemente favorecida e sua dominância é demonstrada na prática
9	Importância Extrema	Evidência favorecendo uma atividade sobre a outra é a mais expressiva possível na ordem de afirmação
2-4-6-8	Valores intermediários entre os julgamentos adjacentes	Quando há necessidade de compromisso

Fonte: Adaptada de Saaty (1987).

5.3.6. Matriz de decisão

Após a análise e a escolha dos valores de importância absoluta, citados na Tabela 7, eles foram pontuados em uma matriz de comparação, seguindo este arranjo: a primeira linha (hipsometria) foi comparada às seis colunas (hipsometria, declividade, curvatura, litologia, densidade urbana e IVS). Em seguida, a segunda linha (declividade) foi comparada aos elementos das seis colunas e assim sucessivamente. Dessa forma, dividiu-se cada fator dos elementos pela somatória dos elementos da coluna a qual ele pertence, como mostra a Tabela 8.

Tabela 8. Matriz de comparação pareada utilizada no estudo

Fatores	Hipsometria	Declividade	Curvatura	Litologia	Densidade urbana	Índice de Vulnerabilidade Social
Hipsometria	1,00	0,33	0,14	0,33	0,14	0,33
Declividade	3,00	1,00	0,20	0,33	0,33	0,33
Curvatura	7,00	5,00	1,00	5,00	0,33	3,00
Litologia	3,00	3,00	0,20	1,00	0,33	0,33
Densidade urbana	7,00	3,00	3,00	3,00	1,00	3,00
Índice de Vulnerabilidade Social	3,00	3,00	0,33	3,00	0,33	1,00
Somatória	24,00	15,33	4,87	12,66	2,47	8,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Posteriormente, realizou-se uma nova matriz, em que o *peso-wi* de cada fator foi calculado pela média de cada linha, como disposto na Tabela 9.

Tabela 9. Matriz de obtenção dos pesos

Fatores	Hipsometria	Declividade	Curvatura	Litologia	Densidade urbana	Índice de Vulnerabilidade Social	Peso-wi
Hipsometria	0,042	0,022	0,029	0,026	0,058	0,042	0,036
Declividade	0,125	0,065	0,041	0,026	0,135	0,042	0,072
Curvatura	0,292	0,326	0,205	0,395	0,135	0,375	0,288
Pedologia	0,125	0,196	0,041	0,079	0,133	0,041	0,103
Densidade urbana	0,292	0,196	0,616	0,237	0,404	0,375	0,353
Índice de Vulnerabilidade Social	0,125	0,196	0,068	0,237	0,135	0,125	0,148

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

5.3.6.1. Verificação da consistência dos julgamentos

Segundo Saaty (2008), com a aplicação do método AHP, é possível determinar o grau de inconsistência pelo cálculo da razão de consistências (RC), levando em consideração os julgamentos escolhidos na Tabela 7. Cada julgamento analisado pelo cálculo da RC indicará a intensidade que o autovalor da matriz de julgamentos se afasta de sua ordem. Para a execução dos cálculos, Saaty (2008) propôs três equações:

$$RC = IC/IR$$

Equação 2:

$$IC = \frac{(\lambda_{m\acute{a}x} - n)}{n - 1}$$

Equação 3:

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{[Aw]_i}{w_i}$$

Equação 4:

RC = razão de consistência;

IR = índice aleatório extraído da Tabela 8;

IC = índice de consistência;

n = número de fatores testados (número de colunas ou linhas);

$\lambda_{m\acute{a}x}$ = autovetor;

$[Aw]_i$ = matriz resultante do produto da matriz de comparação $[Aw]_i$ pelos pesos calculados (w_i);

(w_i) = pesos calculados.

Segundo Saaty (1987, p. 4), “o índice randômico necessário para o cálculo da razão de consistência varia de acordo com o número de fatores escolhidos pelo analista”. Para o desenvolvimento da proposta, foi escolhido o valor de RI de 1,25, que representa os seis fatores utilizados na elaboração do mapa de suscetibilidade a inundação e alagamentos no perímetro urbano de Cuiabá, conforme a Figura 7.

Figura 7. Valores de IR para matrizes quadradas de ordem n

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>RI</i>	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Fonte: Adaptado de Saaty (1987).

Após a validação dos pesos estatísticos por meio do cálculo da razão de consistências (RC), foi realizada a modelagem espacial do mapa de risco utilizando a equação 5, a qual representa as áreas suscetíveis à inundação alagamentos. Dessa forma, multiplica-se o peso estatístico encontrado pelo seu respectivo fator, utilizando a ferramenta Raster Calculator no Sistema de Informação Geográfico QGIS 3.18.

$$SAI = \frac{Pe_1 * PCH + Pe_2 * PCD + Pe_3 * PCFT + Pe_4 * PCP + Pe_5 * PCDU + Pe_6 * PCIVS}{6}$$

Equação 05

SAI: Suscetibilidade a inundação e alagamentos;

Pe₁ (0,036) Pe₂ (0.072) Pe₃ (0.288) Pe₄ (0.103) Pe₅ (0.353) Pe₆ (0.148): Pesos; estatísticos determinados para os fatores;

PCH: Pesos classes de hipsometria (vide Tabela 1);

PCD: Pesos classes de declividade (vide Tabela 2);

PCFT: Pesos classes Formas de terreno (vide Figura 7);

PCP: Pesos classes de Pedologia (vide Tabela 3);

PCDU: Pesos classes de Densidade Urbana (vide Tabela 4);

PCIVS: Pesos classes de vulnerabilidade social (vide Tabela 5).

5.3.7. Mapa de risco

Após as ponderações, as variáveis foram hierarquizadas de acordo com cada grau de suscetibilidade, sendo classificado em cinco faixas de suscetibilidade, bem como variando entre os valores máximo e mínimo dos pesos encontrados. Por isso, foram classificadas categorias de suscetibilidade de acordo com os valores numéricos preestabelecidos pelas cinco faixas de suscetibilidade — sendo elas: muito baixa (0 a 0,2), baixa (0,2 a 0,4), média (0,4 a 0,6), alta (0,6 a 0,8) e muito alta (0,8 a 1), com base no trabalho de Ouma e Tateish (2014) —, representadas espacialmente em formato de mapas digitais ou impressos no compositor de mapas do QGIS 3.16.

5.3.8. Validação

Para validação das faixas de suscetibilidade georreferenciadas pelo mapa de risco elaborado pelo método AHP, procedeu-se primeiramente à busca de informações sobre inundações alagamentos e enchentes no Município de Cuiabá, entre os anos de 1974 — “Data da primeira enchente ocorrida no município” — até o ano de 2019. A validação ocorreu por meio de levantamentos bibliográficos, matérias jornalísticas e acervos de notícias digitais.

Cada evento ocorrido foi cadastrado em formato de tabela CSV “comma-separated-values”, contendo dados referentes ao ano de ocorrência, aos bairros afetados, ao volume precipitado e à fonte de informação extraída. Para geração do mapa de alagamentos e inundações com base na série histórica de ocorrências, o arquivo CSV foi importado no Software QGIS 3.18, assim como foi utilizada a técnica de interpolação do tipo Ponderação pelo Inverso da Distância (Inverse Distance Weighting - IDW).

Essa técnica analisa valores conhecidos, como “precipitação e recorrência de alagamentos nos bairros”, para estimar valores em áreas desconhecidas, gerando um arquivo Raster com valores de recorrência de casos de alagamentos e inundações por bairros.

Outro método de validação proposto foi a sobreposição dos dados vetoriais de áreas de risco hidrogeológico mapeados, no ano de 2014, pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais – CPRM, com o arquivo Raster gerado pelo modelo de matriz de decisões pelo método AHP. Ao todo, foram utilizadas sete áreas de risco hidrogeológico mapeadas pela CPRM, sendo categorizadas como áreas de alto e muito alto risco hidrogeológico no perímetro urbano de Cuiabá.

Essas informações fazem parte do Relatório de setorização de áreas em alto e muito alto risco geológico: área urbana do Município de Cuiabá – MT, elaborado, em setembro de 2014, para incorporar os dados nacionais do Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais.

Seu acesso pode ser feito pelo site da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais, disponível no seguinte link: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres.html>.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. HIPSOMETRIA

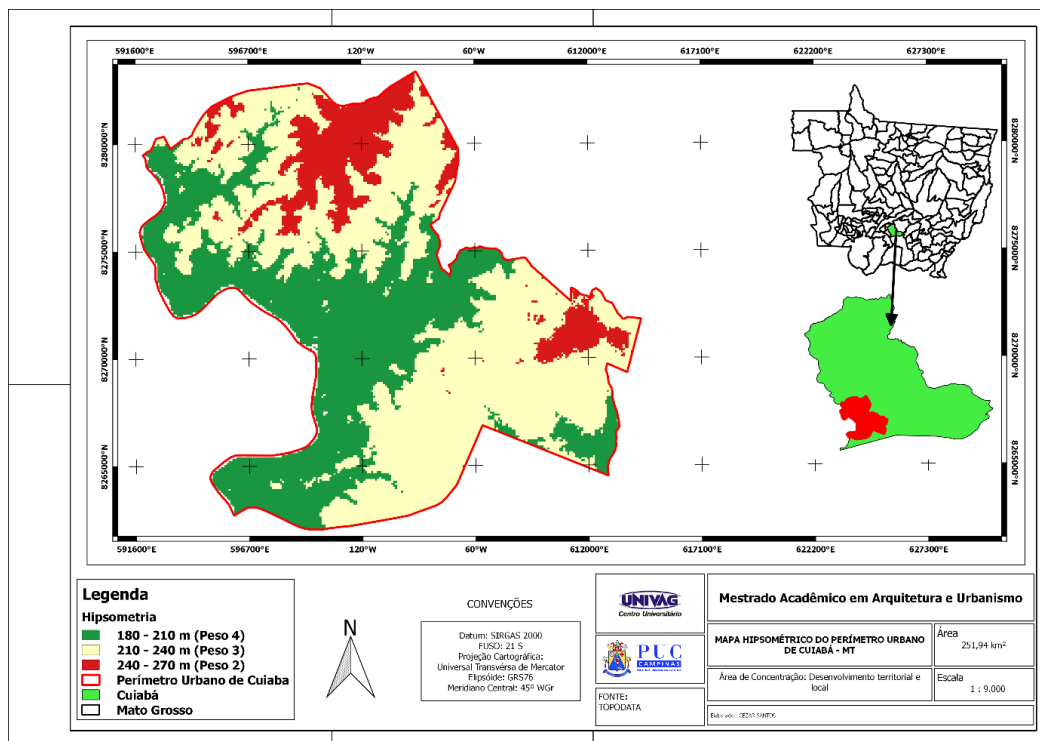
A hipsometria do perímetro urbano de Cuiabá variou entre 180 m (AltMin) a 270 m (AltMax) em relação ao nível do mar, sendo representado por 38,41% de altitudes variando entre 210 m e 240 m, seguido por 38,21% de altitudes entre 180 e 210 m (Figura 8).

Associados aos eventos de origem fluvial, as áreas com altitudes entre 180 m e 210 m são consideradas de fragilidade elevada devido à dinâmica de deslocamento da água — que tende a escoar das altitudes mais elevadas — para as áreas com menores altitudes, caracterizadas como áreas de fundo de vale no perímetro urbano de Cuiabá.

Para Tucci (2005), os rios normalmente drenam nas suas cabeceiras, áreas com grande declividade, produzindo escoamento de alta velocidade e alagamentos no leito maior ou em áreas planas de relevo acidentado. Em Cuiabá, essas áreas são

mais propícias à ocupação, deixando a população vulnerável a riscos de alagamentos e enchentes.

Figura 8. Mapa hipsométrico do perímetro urbano do Município de Cuiabá MT



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

6.2. DECLIVIDADE

Associada à dinâmica dos eventos de origem fluvial, a declividade está relacionada à velocidade do escoamento superficial e ao tempo de concentração que a água ficará na região. Foi identificado que áreas com relevo plano e com declividades que variam entre 2,5% e 5% (Figura 9) são altamente susceptíveis à ocorrência de cheias e alagamentos devido ao acúmulo de escoamento.

Em contrapartida, as áreas com relevo ondulado superior a 15% podem desencadear o carreamento de sedimentos e o transporte em alta velocidade da água proveniente dos eventos de origem fluvial para as regiões mais planas. O relevo ondulado representou 42,15% de toda declividade do perímetro urbano de Cuiabá, variando entre 7,5% e 15%, seguido pela classe de declividade de 5% a 7,5%, correspondendo ao relevo suavemente ondulado de acordo com a Embrapa (1979).

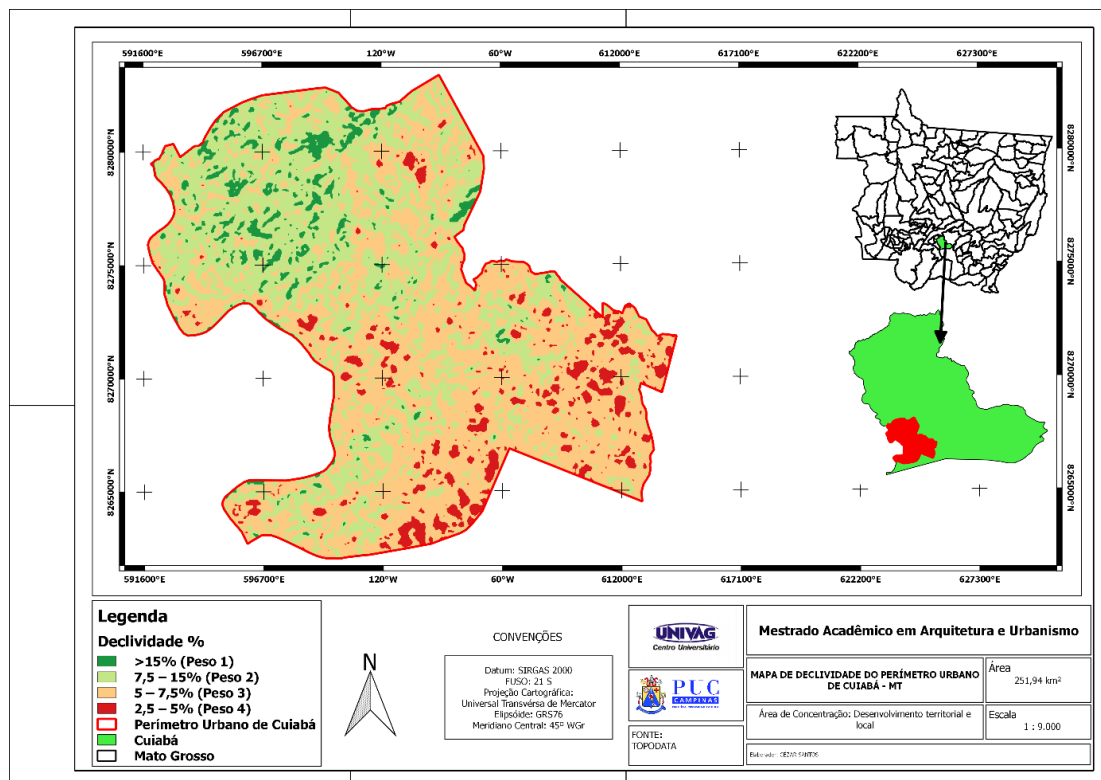
Tucci (2005) pontua que o controle atual do escoamento na drenagem urbana tem sido realizado de forma equivocada pelos gestores, com sensíveis prejuízos à população. Em Cuiabá, foi observado que, nos últimos 20 anos, a expansão do perímetro urbano ocasionou a canalização dos córregos urbanos de montante para

juntamente à bacia hidrográfica. Esse processo ocasiona o aumento das vazões máximas e dos volumes de escoamento, tornando significativo o surgimento de novas inundações pontuais em trechos canalizados, visto que há mudanças nas declividades provenientes de ações de corte e aterro nesse processo construtivo.

O artigo 3º da lei n.º 6766/79, a Lei de Parcelamento do Solo Urbano, aponta que “[...] somente será admitido o parcelamento do solo para fins urbanos de expansão urbana ou de urbanização específica [...]”, não sendo permitido “[...] o parcelamento do solo em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações [...]”, como identificado pela classe de declividade de 2,5% e 5% (Figura 9) (BRASIL, 1979). Para que ocorra o uso do solo no processo de urbanização nessas áreas, faz-se necessário assegurar o escoamento das águas.

Outro fator relevante evidenciado no mapa são áreas com relevo acima de 15%. O artigo 3º da lei 6766/79 também destaca a seguinte situação: “[...] em terrenos com declividade igual ou superior a 30% [...]”, o processo de ocupação “[...] se atendidas as exigências específicas das autoridades competentes [...]”, como obras para minimizar a inclinação dos taludes e encostas (BRASIL, 1979).

Figura 9. Mapa de declividade do perímetro urbano do Município de Cuiabá MT



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

6.3. FORMAS DE TERRENO

Segundo Araújo (2006), as curvaturas representam a caracterização das formas do terreno, às quais se associam diretamente as dinâmicas hidrológicas e de transporte de materiais sólidos.

A curvatura horizontal indica uma relação direta com o escoamento superficial nas vertentes e com a concentração e a dispersão dos fluxos de água. Assim, verificou-se que 40% da área estudada apresentou vertentes com curvatura horizontal convergente ou muito convergente, ou seja, vertentes com maior potencial para transporte de partículas maiores e erosão pluvial.

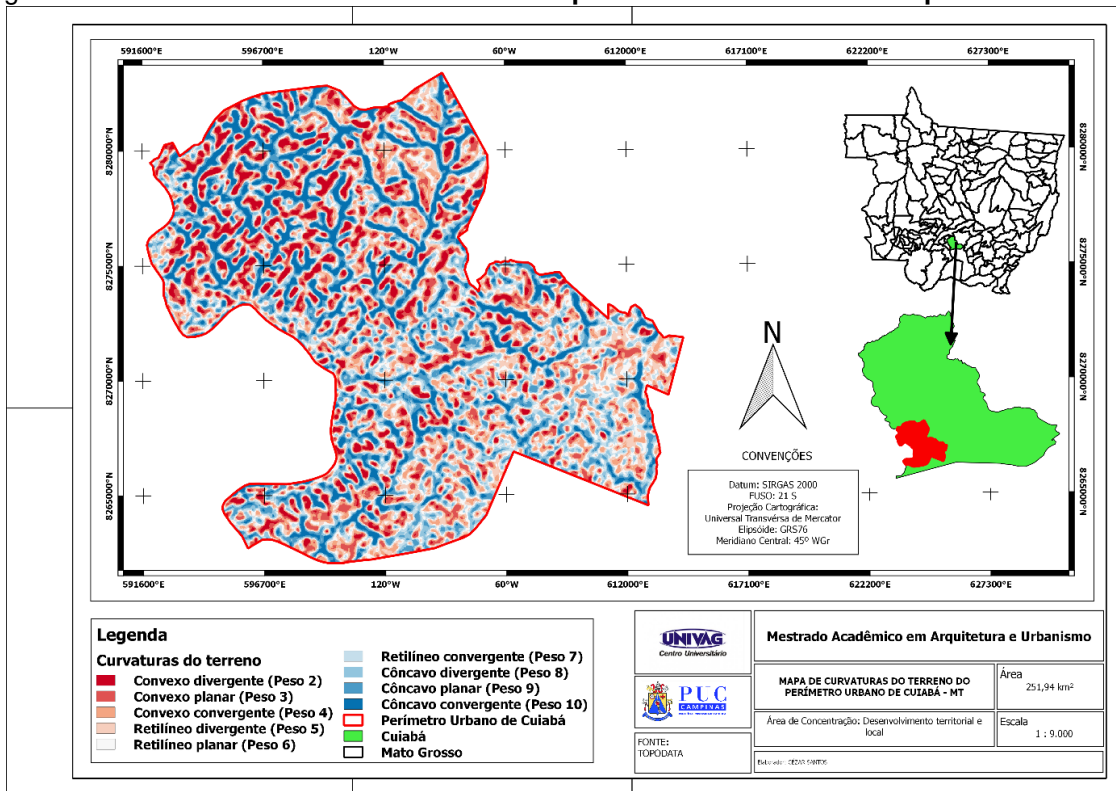
A curvatura do terreno classificada como retilínea convergente apresentou a maior proporção, 21,09%, se comparada aos nove modelos de formas de terreno, seguido por 19,31% classificados como côncavo divergente (Figura 10). Referente à dinâmica de concentração e acúmulo do escoamento, o perímetro urbano de Cuiabá obteve 33,37% das áreas mapeadas com características de áreas alagáveis ou áreas inundáveis, sendo representado pelos modelos de terreno com características côncavas caracterizados pelas colorações em tom de azul (Figura 10).

Em relação à dispersão do escoamento superficial, o perímetro urbano de Cuiabá apresentou 12,41% das áreas mapeadas com essas características, sendo simbolizadas pelas classes convexas de curvatura do terreno, distribuídas espacialmente em áreas de dispersão com altitudes mais elevadas e relevo ondulado, assim como representadas pela coloração em tons de vermelho (Figura 10).

Segundo Valeriano (2008), essas classes apresentam a dinâmica de escoamento superficial de baixa energia relacionado ao transporte e à remoção das partículas do solo, por isso apresentam baixa vulnerabilidade à perda de solos.

CAO *et al.* (2016) utilizaram curvaturas de terreno para identificar áreas de inundações relâmpago em uma mina de carvão localizada ao Leste do Distrito de Fangshan, no sudoeste de Pequim, bem como verificaram que as formas côncavas se mostraram as mais sujeitas ao alagamento, como verificado na proposta metodológica.

Figura 10. Modelos de curvatura do terreno no perímetro urbano do Município de Cuiabá MT



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

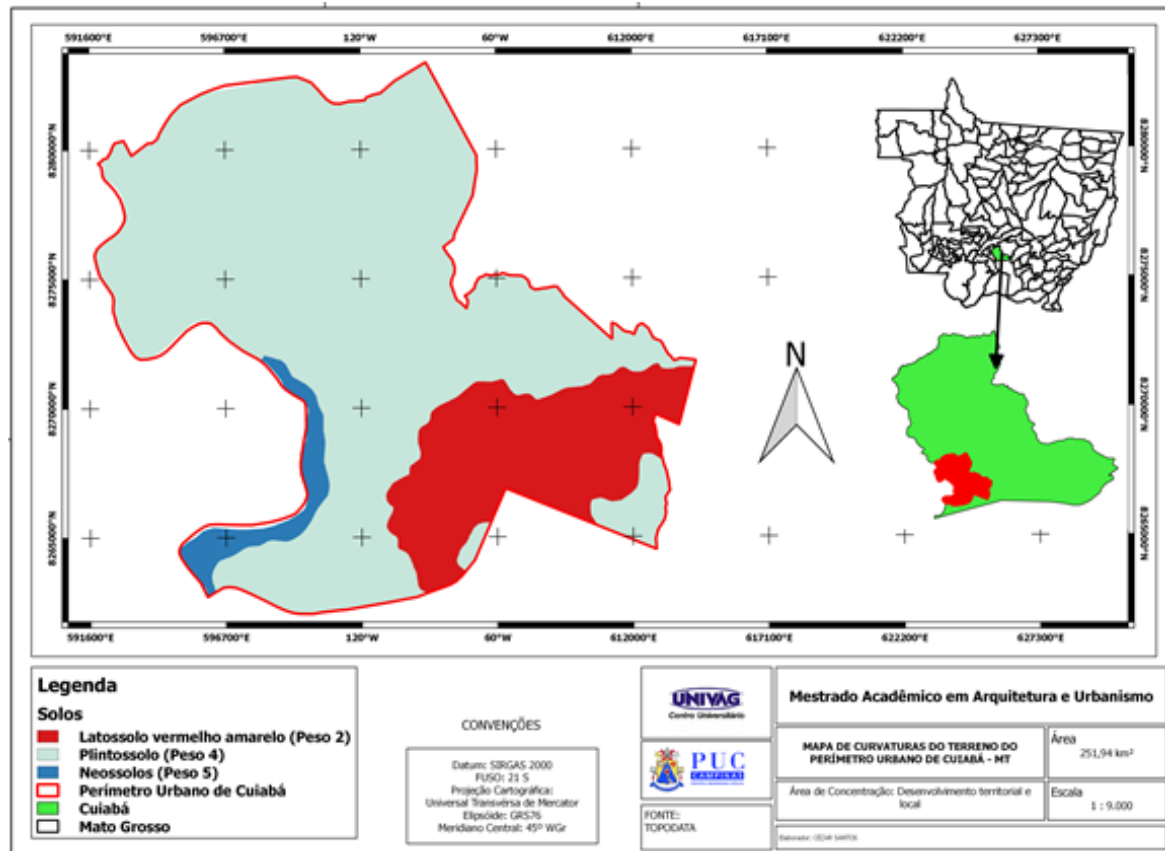
6.4. PEDOLOGIA

O mapa pedológico do perímetro urbano de Cuiabá apresentou 69,23% de solo classificado como plintossolo (Figura 11). Esse solo possui característica arenosa com elevada textura e baixa permeabilidade. Associando ao grau de fragilidade no perímetro urbano de Cuiabá, Luciano *et al.* (2012) apontam que esse tipo de solo é classificado como de alto grau de fragilidade por possuir baixa taxa de infiltração, que potencializa os processos erosivos e o carreamento de sedimentos em períodos de chuvas intensas e prolongadas, originando movimentos de massa e assoreamento.

O solo do tipo latossolo vermelho amarelo apresentou 23,08% da área total do perímetro urbano (Figura 11). Segundo Ross (1994), os latossolos do tipo vermelho e amarelo são identificados em áreas de relevo plano ou suave ondulado, e normalmente ocorrem em ambientes bem drenados com grau de fragilidade considerado baixo.

Já o solo do tipo neossolos apresentou 7,69% distribuído na área do perímetro urbano (Figura 11) em fundos de vale. De acordo com Rovedder e Eltz (2008), esse solo geralmente está associado às margens dos corpos hídricos e é caracterizado como de alto grau de fragilidade hídrica.

Figura 11. Mapa de solos do perímetro urbano do Município de Cuiabá MT



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

6.5. DENSIDADE URBANA

Analisando a distribuição espacial da densidade urbana no perímetro urbano de Cuiabá, 93,3% representam áreas com baixa densidade, variando de 0 a 34 habitantes por hectares, seguido por 3,10% classificados como de médio para baixa densidade, variando de 34 a 74 habitantes por hectares (Figura 12). É possível observar que os valores com alta densidade estão localizados pontualmente na Região Nordeste do perímetro urbano do município, com a distribuição acima de 226 habitantes por hectares.

Esta distribuição está concentrada nos setores censitários “510340310420038” e “510340310420033” denominados Residencial Santa Inês e Residencial São Carlos. Esses conjuntos habitacionais são considerados os primeiros conjuntos verticais do Estado de Mato Grosso, construídos nos anos 1990. Ao todo, são 1.880 unidades, sendo 912 unidades para o Residencial Santa Inês e 976 unidades para o Residencial São Carlos.

Acioly e Davidson (1998) apontaram que áreas de alta densidade apresentam vantagens, como: eficiência na oferta de infraestrutura; uso eficiente da terra; geração

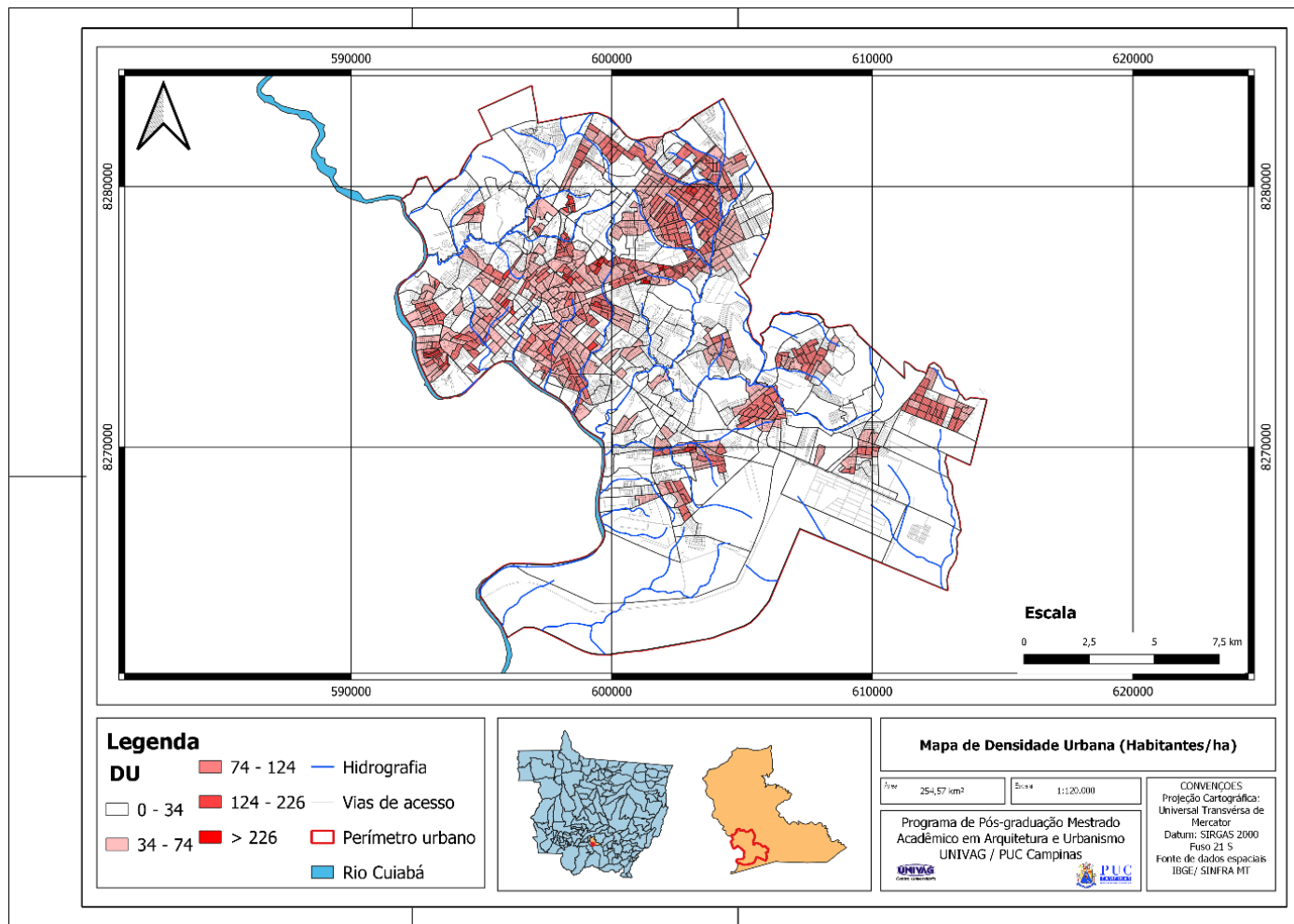
de receitas; maior controle social; facilidade de acesso aos consumidores e maior acessibilidade a emprego. As desvantagens geradas pela alta densidade ocorrem no meio biótico, por exemplo, na degradação ambiental pela falta de estruturas associadas ao saneamento, aos aspectos sociais se relacionados ao aumento da criminalidade e da saturação do espaço construído.

Em contrapartida, os mesmos autores pontuam que áreas com baixa densidade urbana apresentam vantagem associadas à possibilidade de aplicação de infraestrutura de baixo custo e em menor grau de degradação ambiental. Cuiabá apresenta 93,3% de densidade urbana baixa.

Acioly e Davidson (1998) demonstram que regiões com baixa densidade apresentam mais pontos negativos que positivos, tendo como destaque a precariedade na acessibilidade aos serviços públicos, pouca interação social, altos custos para oferta e manutenção dos serviços, altos custos e precariedade do transporte público, além de excesso de consumo de terra urbana e infraestrutura. Esses reflexos podem ser perceptíveis na capital do Estado de Mato Grosso e na Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá.

Acioly e Davidson (1998) abordam que a ausência de uma gestão urbana eficiente faz com que a densidade urbana tenda a aumentar em locais com alta acessibilidade por conta de atrativos, como a geração de emprego, os serviços urbanos e os altos níveis de infraestrutura, tornando o custo da terra mais alto nessas regiões.

Figura 12. Mapa de densidade urbana do perímetro urbano de Cuiabá



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

6.6. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL

Os resultados extraídos das variáveis censitárias — número de moradores no setor (Nm), média de moradores por domicílio (Mmd), densidade urbana (Du), porcentagem dos dependentes abaixo 12 e acima de 65 anos (Td), pessoas analfabetas acima de 12 anos (A) e porcentagem dos responsáveis sem rendimento e com rendimento de até 1 salário-mínimo (R) — apontaram os mesmos cenários para densidade urbana. Os valores de IVS classificados como muito alto estão distribuídos nos setores censitários “510340310420038” e “510340310420033”, denominados Residencial Santa Inês e Residencial São Carlos (Figura 13).

Os valores que categorizaram esses setores como de muito alta vulnerabilidade social foram: a densidade urbana com valores acima de 328,878 hab/ha, a média de 2,34 moradores por habitação, 14,89% da população abaixo de 12 anos e 2,5% acima de 65 anos, com a taxa de dependência em torno de 17,47%. Outros indicadores foram considerados importantes para classificação de vulnerabilidade social desses setores, por exemplo, a renda, sendo representada por 18,59% de pessoas sem salário e 10% recebendo apenas um salário-mínimo. A variável de analfabetismo obteve a maior representatividade, chegando à representação de quase a metade da população residentes nesses setores (46,30%).

Analisando da distribuição espacial da vulnerabilidade a classe “alta” obteve o percentual de 1,03%. Esse percentual está associado a habitações de interesse social, como os conjuntos verticais Terra Nova, Paiaguás e Alvorada. Os indicadores que caracterizaram esses conjuntos habitacionais como de alta vulnerabilidade foram: a média de 2,51 moradores por unidades habitacionais, a taxa de dependência entre 22% e o indicador de renda de 17%, que representa a população que não possui renda ou que ganham até um salário-mínimo. Outro fator relevante é a taxa de analfabetismo em torno de 46%.

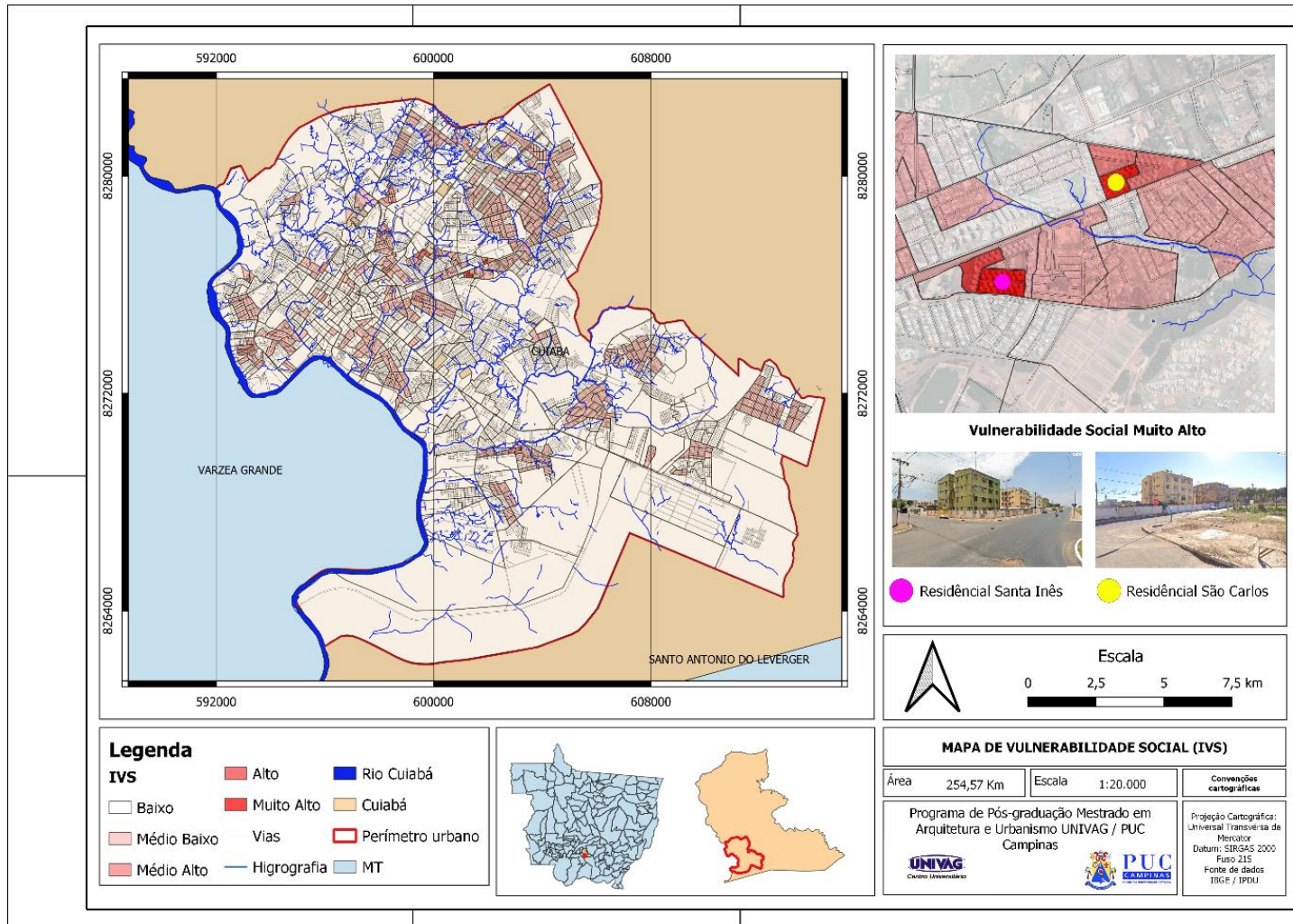
Ao associar a vulnerabilidade social elaborada com base no estudo desenvolvido por Goerl *et al.* (2012), ficou evidente que setores com alta vulnerabilidade não possuem associação à fragilidade ambiental, mas sim com o risco de exposição dos habitantes ao perigo de eventos de origem natural, devido às circunstâncias de exposição. Isso demonstra que, em inundações e alagamentos, as características físicas da bacia hidrográfica têm um papel mais importante na construção do risco do que as condições de vulnerabilidade.

Referente ao estágio de urbanização atuando no processo de degradação ambiental dos recursos hídricos, foi identificado a presença de um curso d'água perene de segunda ordem canalizado. Se analisarmos o processo de impermeabilização, Tucci (2000) pontua que, para cada 10% de aumento de área impermeável, há um acréscimo de cerca de 100% no volume do escoamento superficial e que, se considerado apenas o arruamento, esse é responsável por 260% de aumento no coeficiente de escoamento superficial.

Nessa circunstância, a população inserida nos bairros Jardim Eldorado e Sol Nascente, localizados ao montante dos Residenciais Santa Inês e São Carlos, pode ficar exposta ao perigo de eventos hidrológicos por conta das características físicas da região, como a diferença de nível de 20 m em um trecho de 1,5 km de montante para jusante do Córrego Moinho, as declividades variando de 2% a 10% e a forma do terreno concavo-convergente.

Essas características físicas evidenciam que, na ocorrência de uma eventual precipitação de grande intensidade e pouca duração, o escoamento superficial ocorrerá em menor tempo de concentração originando alagamentos localizados e picos de enchente devido à alta taxa de impermeabilização do montante da bacia.

Figura 13. Mapa de vulnerabilidade social do perímetro urbano de Cuiabá



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

6.7. SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÃO E ALAGAMENTOS

A utilização da matriz AHP resultou na obtenção dos pesos estatísticos para cada fator, atendendo à veracidade desses fatores por meio da razão de consistências (RC), que apontou valores abaixo de 0,1, indicando que 90% dos julgamentos devem obter valores confiáveis. Os resultados apontaram que a RC encontrada foi de 0,07, o que indicou a veracidade nos julgamentos, pois ela foi menor que 0,1. Os pesos encontrados para os fatores hipsometria, declividade, curvatura do terreno, pedologia, densidade urbana e vulnerabilidade social estão dispostos na Tabela 10.

Tabela 10. Pesos dos fatores encontrados atendendo a veracidade da razão de consistência

Fatores	Peso WI
Hipsometria	0,038
Declividade	0,076
Curvatura	0,298
Pedologia	0,107
Densidade demográfica	0,330
Índice de vulnerabilidade social	0,152

Fonte: Elaborada pelo autor (2021)

Os resultados obtidos por meio da modelagem espacial utilizando os parâmetros físicos para análise da fragilidade (declividade, hipsometria formas de terreno e pedologia), assim como os parâmetros socioeconômicos para análise de vulnerabilidade (densidade urbana e o índice de vulnerabilidade social) e o estabelecimento de pesos estatísticos por meio da matriz de decisão AHP deram origem ao mapa de suscetibilidade de áreas de inundação e alagamentos. Com isso, foi possível identificar o grau de influência de fator ao risco de alagamentos e enchentes no perímetro urbano do município de Cuiabá (Figura 14).

A modelagem evidenciou que 41,54% do perímetro urbano de Cuiabá apresentou áreas de alta suscetibilidade de ocorrência de alagamentos ou enchentes (em tom azul claro), seguido por 29,53% das áreas classificadas como de média suscetibilidade (em tom pastel), como evidenciado na Figura 14. Por sua vez, a categoria muito baixa (em tom vermelho) representou apenas 1,12% das áreas mapeadas, tendo como características específicas o relevo acima de 15%, altitudes que variam entre 240 m e 270 m e o modelo de curvatura de terreno convexo-divergente que possui a máxima dispersão de fluxo de água.

A classe de risco muito alta obteve sua representatividade, em torno de 15,79% de todo perímetro urbano de Cuiabá. Nesses pontos, estão associados majoritariamente os cursos d'água e fundos de vale que envolvem a parte urbanizada

do município (Figura 14). Entre as características potenciais que deram origem às áreas de alta suscetibilidade, estão a elevação variando entre 180 m e 210 m, o relevo plano com declividade variando entre 2,5% e 5%, os fundos de vale com a predominância de neossolos com alto grau fragilidade hídrica e o modelo de curvatura côncavo-convergente, que propicia o acúmulo de movimentos de massa nas áreas de relevo plano.

Referente aos dados socioeconômicos, o modelo demonstrou que as áreas de suscetibilidade alta e muito alta foram espacializadas, em sua maioria, em regiões ocupadas pela população de baixa renda e com densidade populacional baixa. Para McHarg (1968), tal dissociação entre o movimento social e a natureza é justificada devido à constatação de que o padrão econômico assume um papel antiético à ecologia, haja vista a exploração intensa da natureza, enquanto os campos da sociologia, história, governos e leis parecem ignorar tal situação e degradação do ambiente.

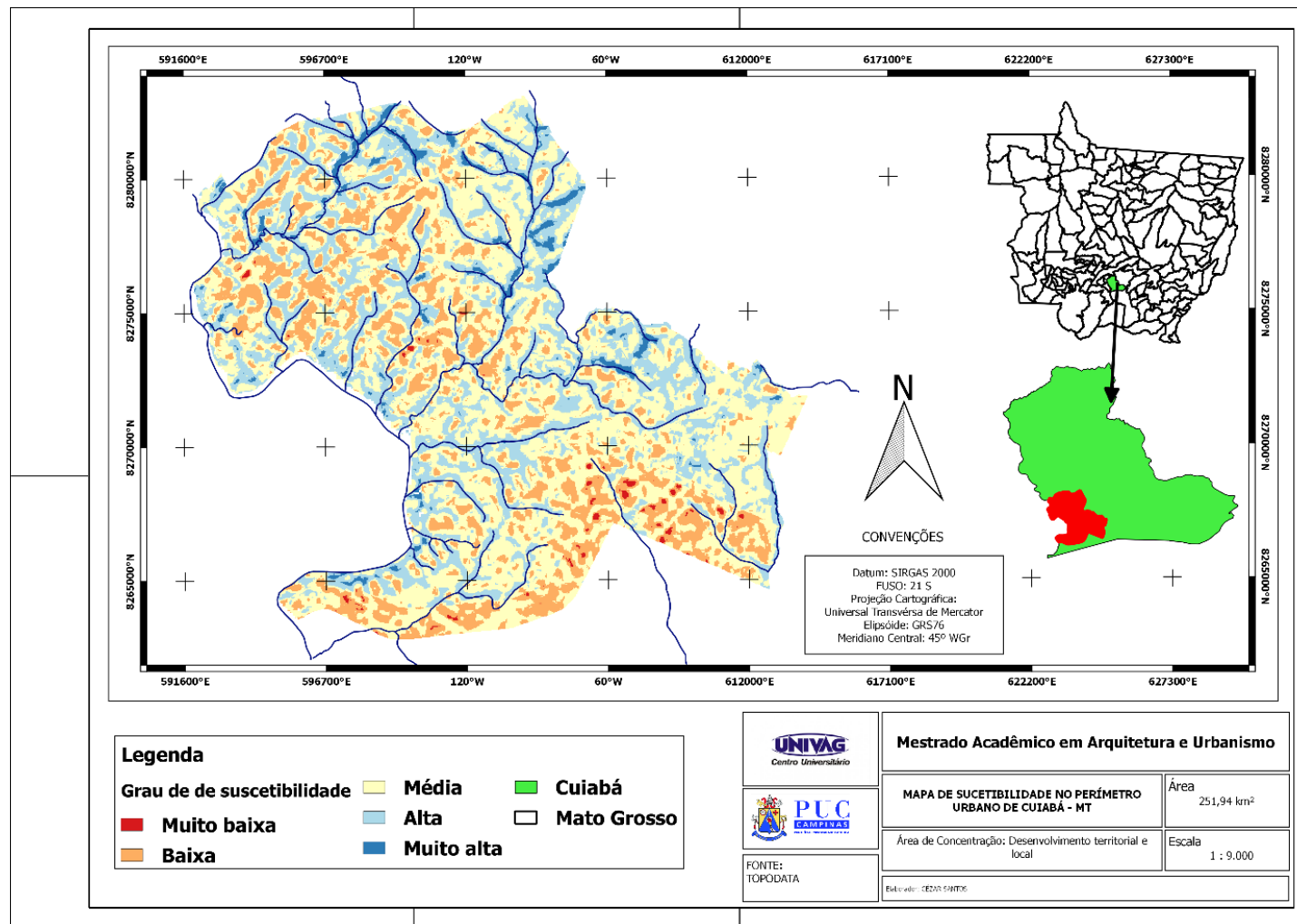
Segundo Zamparoni (2014), em Cuiabá, a maior parte das áreas de risco a enchentes está localizada às margens do rio Cuiabá e em entorno dos seus córregos urbanos por ocupações irregulares formadas por grilos e propriedades sem documentação legalizada, associada à população de baixa renda. Também foi pontuado pela autora que as enchentes ocorridas entre os anos 40 até os anos 2000 sempre foram associadas ao regime hidrológico e pluviométrico da bacia do rio Cuiabá.

Hoje, o reflexo de alagamentos e inundações está associado, não ao alto regime de fluviométrico e pluviométrico, mas, sim, aos processos erosivos e à obstrução dos córregos urbanos que desaguam no rio Cuiabá. Segundo dados da Defesa Civil de Cuiabá, em 2009, foram levantadas cerca de 5,5 mil famílias vivendo em áreas de risco nas margens dos córregos e rios, totalizando uma área de 1.300 hectares em áreas consideradas de risco e, principalmente, em área de Preservação Permanente (APPs).

O reflexo das ocupações irregulares nas áreas de fundo de vale foi expresso em um grande número de desabrigados e na perda de bens no ano de 2001, classificado como o ano de ocorrência do maior desastre socioambiental ocorrido no mês de março em toda a Baixada Cuiabana. Em 2001, uma forte chuva com intensidade de 5 horas e o volume de 129 mm provocou a morte de 15 pessoas e

deixou cerca de 1.300 famílias desabrigadas nos bairros Despraiado, Jardim Brasil, entre outros da faixa de risco (FOLHA DE SÃO PAULO, 2001).

Figura 14. Mapa de suscetibilidade de inundação e alagamentos do perímetro urbano de Cuiabá MT

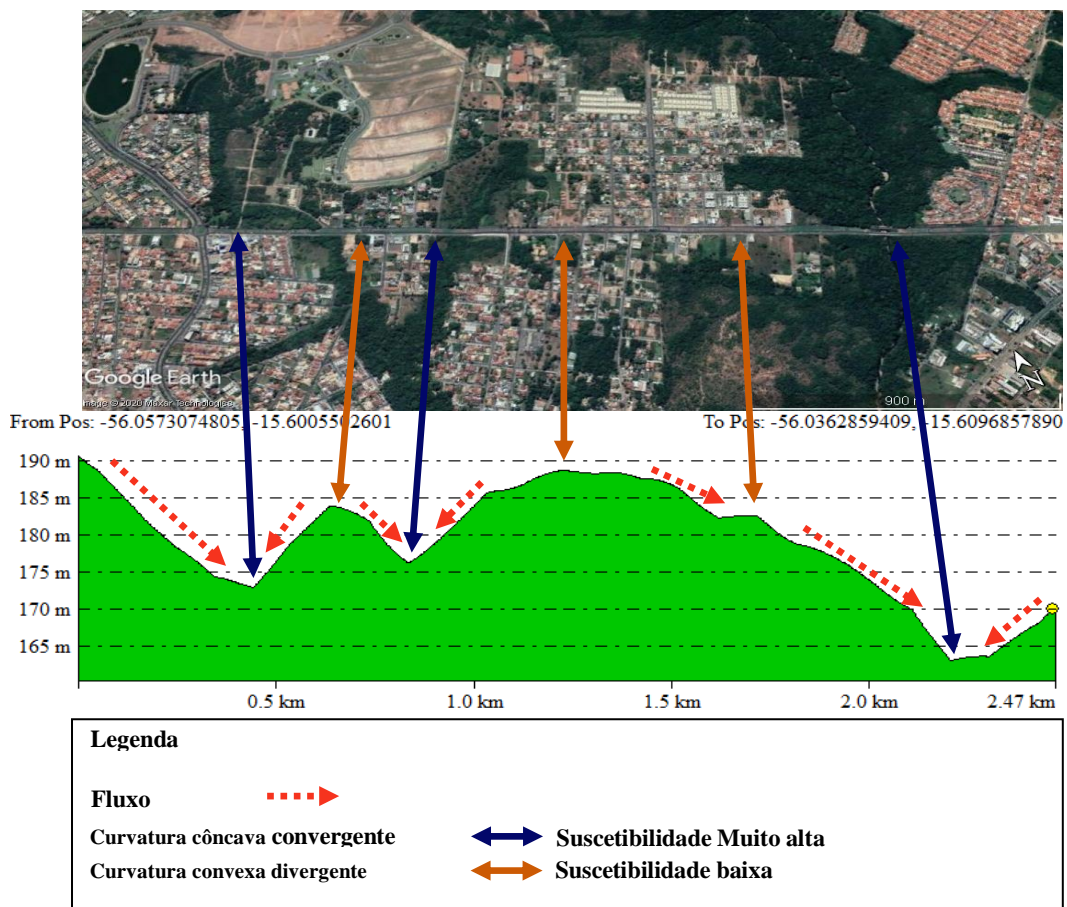


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em um trecho delimitado de 2,47 km, em umas das principais vias do Município de Cuiabá, é possível observar que o perfil horizontal do terreno evidenciou a espacialização do modelo de curvatura côncava-convergente (Figura 15) e, nos trechos caracterizados como fundo de vale, com a presença de cursos d'água inseridos nas áreas de preservação permanente (APPs). Por sua vez, nos trechos com o modelo de curvatura convexa-divergente (Figura 15), o perfil demonstrou que essas áreas possuem características antrópicas, com implantação de conjuntos residenciais com altas taxas de impermeabilização do solo.

Nascimento e Costa (2019) identificaram características peculiares em áreas de alta suscetibilidade, e que essas regiões possuem o relevo plano — próximas às redes de drenagem, onde estão localizadas as planícies de inundação — combinado com a presença de superfícies densamente ocupadas e impermeabilizadas devido ao processo de urbanização.

Figura 15. Perfil horizontal evidenciando as áreas de suscetibilidade de inundação e alagamentos em um trecho delimitado do perímetro urbano de Cuiabá MT



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

6.8. VALIDAÇÃO DO MÉTODO

O Quadro 3 apresenta o histórico de enchentes e alagamentos relatados no município de Cuiabá nos últimos 45 anos. O maior volume precipitado foi de 105,5 mm no ano de 1995, atingindo toda região do grande Dom Aquino. Como apontado por Zamparon (2014), em Cuiabá, a maioria das enchentes ocorridas foi associada ao regime hidrológico e pluviométrico da bacia do rio Cuiabá, antes da implantação da Usina Hidroelétrica de Manso. As outras fontes de alagamentos e inundações após os anos 2000 foram relacionadas aos processos de canalização e impermeabilização dos córregos urbanos da Capital Cuiabana, conforme apresentado no Quadro 3.

Como dito anteriormente, no ano de 2001, Cuiabá registrou o maior desastre natural atingindo cerca de 5 mil moradores inseridos nas áreas de fundo de vale.

Se associar os volumes de precipitação ocorridos após os anos 2000, é possível justificar que os alagamentos registrados estão relacionados ao processo de ocupação antrópica e à ineficiência do sistema de drenagem urbana. Em 2009, uma precipitação de grande intensidade e curta duração atingiu os bairros Jardim Petrópolis, Tijucal, Bosque da Saúde II, Dom Aquino, além das duas principais Avenidas da Capital, Avenida CPA e Avenida Miguel Sutil.

Em dezembro de 2010, uma chuva de 8,02 mm atingiu os bairros: Bosque da Saúde, Cohab São Gonçalo, Parque Geórgia, São Francisco, Parque Ohara, Jardim Mossoró, Nossa Senhora Aparecida, Jardim Tropical, Alvorada, Boa Esperança. De 2011 em diante, a Região Central passou a registrar ocorrências de alagamentos provenientes de chuvas de grande intensidade e curto espaço de tempo, evidenciando o grave problema projetual do sistema de macrodrenagem da Capital Mato-grossense.

O ano de 2019 apresentou a maior recorrência de casos de alagamentos na Região Central e nos bairros onde estão inseridos os córregos urbanos. Ao todo, foram quatro recorrências de alagamentos em um intervalo de 12 meses, atingindo os bairros: Porto, Areão, Centro, Prainha, Jardim Cuiabá, Jardim Shangrilá, Santa Cruz e Boa Esperança, São Gonçalo, Despraiado, Bosque da Saúde, Santa Rosa, Goiabeiras, Dom Aquino, Praeiro, Parque Ohara, Nossa Senhora Aparecida, Vista Alegre e Porto (Quadro 3).

Quadro 3. Série histórica de registros de inundações e alagamentos no município de Cuiabá – MT

Data da chuva	Volume precipitado (mm) 1556015	Cota (m) 66260001	Bairros atingidos	Fonte
16/3/1974	41,5	10,83	Dom Aquino (fusão dos bairros Barcelos, Ana Poupina, Morro do Tambor, Areal e Aldeia) Grande terceiro e Porto	JORNAL O ESTADO DE MATO GROSSO, n. 6.755, 16 mar. 1974, p. 8
10/1/1995	105,6	10,35	Dom Aquino (fusão dos bairros Barcelos, Ana Poupina, Morro do Tambor, Areal e Aldeia) Grande terceiro e Porto	DIÁRIO DE CUIABÁ: https://www.diariodecuiaba.com.br/cidades/inundacoes-fizeram-desabrigados-em-4274-e-95/49719
25/4/2001	129	6,29	Despraiado, Jardim Brasil	FOLHA DE SÃO PAULO: https://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff2604200133.htm
28/5/2009	-	5,46	Jardim Petrópolis, Tijucal, Bosque da Saúde II, Dom Aquino, Av. CPA e Av. Miguel Sutil	FILHO, C. M. F. M e AMARAL, D. B 2014 Revista Sociedade&Natureza
05/12/2010	-	8,02	Bosque da Saúde, Cohab São Gonçalo, Parque Geórgia, São Francisco, Parque Ohara, Jardim Mossoró, Nossa Senhora Aparecida, Jardim Tropical, Alvorada, Boa Esperança	FILHO, C. M. F. M e AMARAL, D. B 2014 Revista Sociedade&Natureza: http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/22300/pdf_75
31/3/2011	-	4,22	Centro da cidade	GAZETA DIGITAL: https://www.gazetadigital.com.br/editorias/cidades/chuva-invade-ps-de-cuiaba-e-alaga-casas/269665

Data da chuva	Volume precipitado (mm) 1556015	Cota (m) 66260001	Bairros atingidos	Fonte
13/12/2012	-	3,97	Centro da cidade e Bairro Jardim Cuiabá	G1 MATOGROSSO: http://g1.globo.com/mato-grosso/noticia/2012/12/chuva-intensa-provoca-alagamentos-em-bairros-de-cuiaba.html
18/3/2013	-	5,14	Planalto, CoopHEMA, Industriário, Jardim Europa, Jardim Itália, Cohab São Gonçalo, Praeiro, Quilombo e Miguel Sutil, Parque Geórgia, São Gonçalo Beira Rio e Jardim Mossoró	_G1 MATOGROSSO: http://g1.globo.com/mato-grosso/fotos/2013/03/chuva-provoca-alagamentos-em-cuiaba-e-varzea-grande.html
26/10/2016	18,4	5,94	Jardim Europa, Bairro do Porto, Bairro Areão, Araés, Jardim Petrópolis, Pico do Amor	G1 MATOGROSSO: http://g1.globo.com/mato-grosso/noticia/2016/10/temporal-alaga-ruas-e-avenidas-em-cuiaba-e-cause-transtorno-no-transito.html
10/0/2017	3,4	6,99	Jardim Petrópolis, Pico do Amor, Alvorada, Centro da Cidade	G1 MATOGROSSO: http://g1.globo.com/mato-grosso/noticia/2017/02/chuva-volta-causar-alagamento-e-congestionamento-em-viaduto-de-mt.html
28/12/2018	18,2	5,41	Bairro Dom Aquino, Santa Rosa e Jardim Cuiabá, Centro da Cidade, Araés	G1 MATOGROSSO 28/12/2018: https://g1.globo.com/mt/mato-grosso/noticia/2018/12/28/temporal-cause-alagamentos-deslizamento-de-terra-e-destroi-casas-na-grande-cuiaba.ghtml

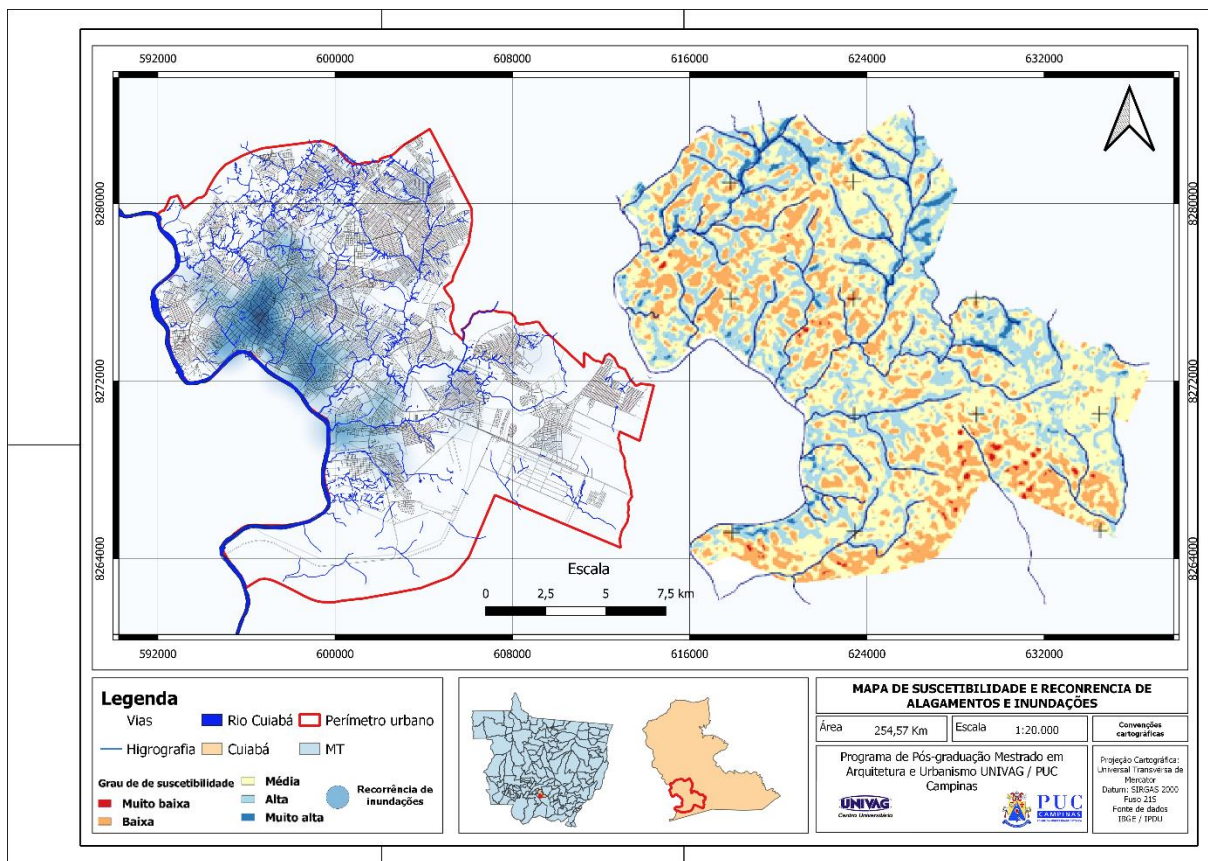
Data da chuva	Volume precipitado (mm) 1556015	Cota (m) 66260001	Bairros atingidos	Fonte
19/1/2019	14,2		Porto, Areião	G1 MATOGROSSO: https://g1.globo.com/mt/mato-grosso/noticia/2019/01/19/chuva-forte-causa-alagamentos-e-carros-ficam-quase-submersos-em-cuiaba.ghtml
03/4/2019	21,2		Porto, Areião, Centro, Prainha, Jardim Cuiabá, Jardim Shangrilá, Santa Cruz e Boa Esperança, São Gonçalo, Despraiado	G1 MATOGROSSO: https://g1.globo.com/mt/mato-grosso/noticia/2019/04/03/chuva-forte-causa-estragos-em-avenidas-e-ruas-de-cuiaba.ghtml
17/10/2019	5,8		Alvorada, Bosque da Saúde, Santa Rosa e Goiabeiras, Dom Aquino e Praeiro	GAZETA DIGITAL: https://www.gazetadigital.com.br/editorias/cidades/forte-chuva-e-venda-val-deixam-ruas-alagadas-em-cuiab-e-vrzea-grande/595371
10/12/2019	14,2		Parque Ohara, Nossa Senhora Aparecida, Vista Alegre	JORNAL O ESTADO DE MATO GROSSO

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Com as informações de ocorrências de alagamentos e inundações levantadas em uma escala temporal de 45 anos — e modeladas por meio de técnica de interpolação —, foi possível observar a recorrência de casos de inundação nos bairros de Cuiabá.

Na Figura 16, é possível observar que as manchas de registros de alagamentos estão concentradas na Região Central e na orla do rio Cuiabá. Tal concentração está associada a cinco registros de ocorrência noticiados na série histórica. Os bairros Alvorada, Bosque da Saúde, Cohab São Gonçalo, Despraiado, Jardim Cuiabá, Jardim Europa, Jardim Petrópolis, Parque Geórgia, Praeiro e São Gonçalo Beira Rio tiveram três registros de recorrência: a maioria dos bairros relatados margeia córregos urbanos e o principal rio da capital. No restante, 11 bairros tiveram dois registros e 16 bairros tiveram apenas um registro com base na série histórica dos últimos 45 anos.

Figura 16. Recorrência de alagamentos no perímetro urbano de Cuiabá



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

No ano de 2014, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) realizou oito ocorrências de riscos geológicos e hidrogeológicos na Capital Cuiabá (Tabela 11) para compor o cadastro georreferenciado de áreas de risco, assim como o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais. Foi cadastrado um evento de

origem geológica relacionado à obra de terraplenagem executada em maciço rochoso para a ampliação do complexo viário da Avenida Miguel Sutil. O risco de deslizamento foi gerado devido à verticalização do corte e à condição desfavorável das estruturas geológicas do litologia local (Filito); houve o avanço do talude em direção às moradias da Rua Xavante.

Os demais registros estão associados a ocorrências hidrogeológicas por processos de voçorocamento instalados nas margens dos córregos urbanos. No relatório, também foi constatado que a falta de drenagem superficial e de projetos urbanísticos é a responsável pela grande energia acumulada nas águas pluviais, pela formação dos processos erosivos, bem como pelo surgimento de alagamentos e pelas inundações urbanas. No levantamento, consta que as oito ocorrências poderão afetar 361 imóveis e 1.840 famílias Cuiabanas, como apresentado na Tabela 11.

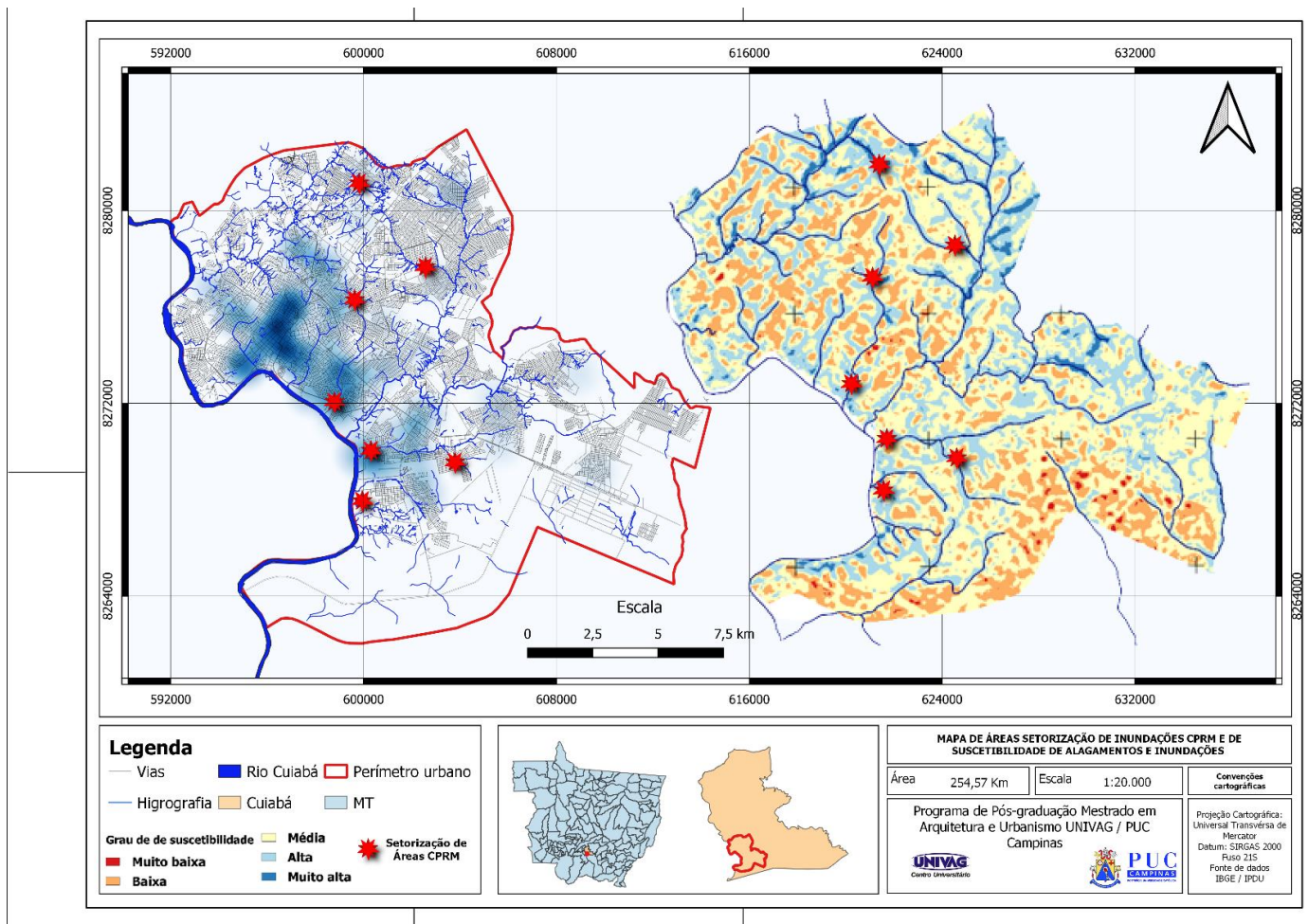
Tabela 11. Mapeamentos de áreas de risco geológico e hidrogeológico realizados pela CPRM no ano de 2014

X	Y	Código de ocorrência	Local afetado	Grau de Risco	Quant. imóveis em risco	Quant. de pessoas em risco
596901	8277428	MT_CB_SR_01_CPRM	Av. Xavante - Bairro Santa Helena	Muito Alto	12	60
599815	8281140	MT_CB_SR_02_CPRM	Jardim Vitória e Jardim Florianópolis	Alto	30	150
603790	8269560	MT_CB_SR_03_CPRM	Bairros Getúlio Vargas, Coxipó e Jardim Itapagé	Alto	210	1050
598791	8272058	MT_CB_SR_04_CPRM	Córrego do Barbado	Alto	23	115
600304	8270040	MT_CB_SR_05_CPRM	Córrego São Gonçalo	Alto	25	125
599944	8267957	MT_CB_SR_06_CPRM	Parque Atalaia	Alto	30	150
602566	8277659	MT_CB_SR_07_CPRM	Córrego Gunitá	Alto	23	150
599630	8276300	MT_CB_SR_08_CPRM	Av. Gonçalo Antunes de Barros	Alto	20	100
Total					361	1840

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para analisar as áreas de risco mapeadas geograficamente pela CPRM em 2014 e comparar se o modelo de risco gerado pelo método AHP obteve resultados satisfatórios, foi gerado um modelo comparativo evidenciando: a localização dos pontos demarcados pela CPRM e a recorrência de registros nos últimos 45 anos (ilustração à esquerda do mapa), assim como a sobreposição do modelo de vulnerabilidade de áreas de risco proposto na presente dissertação, com a sobreposição dos pontos georreferenciados pelo Serviço Geológico do Brasileiro em 2014 (ilustração à direita do mapa) (Figura 17).

Figura 17. Validação da metodologia proposta



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

É possível observar que o modelo proposto identificou as áreas de risco cadastradas pela CPRM em 2014. Todos os pontos demarcados estão associados a áreas com risco de vulnerabilidade “alto” e “muito alto”. O modelo obteve resultados positivos para identificação de áreas com suscetibilidade baixa e muito baixa para vulnerabilidade.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia aplicada neste estudo possui o caráter inédito, pois teve como parâmetro principal a utilização dos modelos de curvatura de terreno para a identificação desses eventos. Valeriano (2008) elaborou um documento técnico para orientar o uso de dados TOPODATA para análises geomorfométricas. Embora existam várias metodologias utilizando SIG e parâmetros físicos para a identificação de áreas de vulnerabilidade, alagamentos e inundação, não foram encontradas referências do uso de modelos de curvatura de terreno na identificação desses fenômenos como principal elemento de análise.

Com relação à geração do Índice de vulnerabilidade social (IVS) para o mapeamento das classes de vulnerabilidade no perímetro urbano de Cuiabá, ele apresentou informações relevantes para identificação de áreas classificadas, como muito alta e de baixa vulnerabilidade. Ainda que os dados do censo de 2010 não expressem o cenário atual de uso e ocupação do solo no município, esse índice auxiliou a observar que as áreas com baixa vulnerabilidade social está associada principalmente à baixa densidade urbana, demonstrando que a malha urbana do município possui grandes vazios urbanos em algumas regiões, bem como há ocupações de grande magnitude em outras regiões.

Sobre o IVS associado ao mapeamento de riscos, essas variáveis estão diretamente correlacionadas ao risco de exposição dos habitantes ao perigo de eventos de origem natural devido às circunstâncias de exposição, e não à suscetibilidade de exposição a riscos de inundação.

O desenvolvimento desta pesquisa se fundamentou em contribuir com o desenvolvimento de uma metodologia acessível e de fácil aplicação para Capital do Estado de Mato Grosso e de qualquer região. A ideia é que essa metodologia deixe de ser aplicada em caráter experimental e passe a ser considerada uma ferramenta para auxiliar a gestão de risco nos municípios que possuem a necessidade de atender

ao decreto n.º 10.692/2021, uma vez que eles devem realizar o Cadastro Nacional Municipal de áreas suscetíveis à ocorrência de inundações bruscas, no prazo de um ano, contado da data de inclusão no Cadastro Nacional do Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil, observado o disposto no inciso 7º do artigo 3º-A da Lei n.º 12.340/2010.

É importante frisar que esta proposta metodológica foi desenvolvida a partir de técnicas de geoprocessamento e geoestatística, utilizando dados espaciais e georreferenciados originados de fontes gratuitas e de referência, com destaque para a utilização de pesos estatísticos para parâmetros do meio físico e socioeconômicos, e validados com fontes de referência para compor o cenário da modelagem das áreas de vulnerabilidade de alagamentos e inundações. O mais importante é que os usuários poderão utilizar os pesos estatísticos para a geração de modelos similares em outras regiões, sem que seja realizado o procedimento de validação estatística.

Observando a questão pontual do atual Plano Diretor do Município de Cuiabá (Lei Complementar n.º 150/07), a metodologia poderá auxiliar os gestores — assim como os gestores de todo o País — a realizar o zoneamento de áreas de risco e incorporá-las nos planos diretores e zoneamentos, com o intuito de garantir o monitoramento dessas áreas de maneira planejada.

O artigo 42^A da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Lei n.º 12.608/12) estabelece que deve ser incluso nos planos diretores dos municípios, as áreas suscetíveis à ocorrência de inundações. A mesma lei aponta, ainda, que é necessário realizar o mapeamento das áreas suscetíveis para que ocorra o devido planejamento.

Por fim, espera-se que a metodologia desenvolvida em ambiente SIG possa nortear novas aplicações, visando contribuir com o mapeamento de áreas de risco e a tomada de decisões, relacionado a prevenção e a mitigação de eventos de origem hidrológica.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIOLY, C.; DAVIDSON, F. **Densidade urbana**: um instrumento de planejamento e gestão urbana. 2. ed. Rio de Janeiro: Mauad, 2011.

AUGUSTO FILHO, O.; CERRI, L. E. S.; AMENOMORI, C. J. **Riscos geológicos**: aspectos conceituais. *In*: 1º SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 1990, São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, 1990, p.334-341.

CEMADEN, Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Anuário da sala de situação do ano de 2017**. São José dos Campos, v. 1, n. 1. 2019.

ARAÚJO, E. P. **Aplicação de dados SRTM à modelagem da erosão em microbacias por geoprocessamento**. 2006. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

BURROUGH, P. A. **Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment**. Monographs on Soil and Resources Survey. n. 12. Oxford: Clarendon Press, 1986.

BELO, J. P. R. **Os SIG aplicados à análise do risco de inundação progressiva do rio Tejo, entre Belver e Vila Nova da Barquinha, região do Médio Tejo**. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica) – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal, 2012.

BRUYNE, P. de; HERMAN, J.; SCHOUTHEETE, M. de. **Dinâmica da pesquisa em ciências sociais: os polos da prática metodológica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1977.

BURREIL, G.; MORGAN, G. Part 1: In search of a framework 1. Assumptions about the nature of social science e 2. Assumptions about the nature of society. *In*: BURREIL, G. e MORGAN, G. **Sociological paradigms and organizational analysis**. London: Heinemann Educational Book, 1979. Disponível em:

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília: Presidência da República, [2020]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 11 out. 2021.

_____. **Lei n.º 8.069, de 13 de julho de 1990**. Estatuto da Criança e do Adolescente. Brasília: Presidência da República, 1990.

_____. **Legislação Lei n. 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 o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC. Autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres. Legislação informatizada. Brasília: Presidência da República, 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm. Acesso em: 14 out. 2021.

_____. Ministério da Saúde. **Manual de Saneamento**. 4. ed. Brasília: Funasa, 2015. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/Mnl_Saneamento.pdf/ae1d4eb7-afe8-4e70-ae9a-0d2ae24b59ea. Acesso em: 14 out. 2019.

_____. **Comissão Nacional para os ODS. Plano de Ação 2017 - 2019**. Brasília: Presidência da República, 2017b. Disponível em:

<http://www4.planalto.gov.br/ods/publicacoes/plano-de-acao-da-cnods-2017-2019>.

Acesso em: 14 out. 2021.

_____. **Pesquisa de informação básica municipais**. Brasília: IBGE, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/protacao-social/10586-pesquisa-de-informacoes-basicas-municipais.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 14 out. 2021.

_____. **Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN**. Brasília: Presidência da República, [2021]. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/composicao/rede-mcti/centro-nacional-de-monitoramento-e-alertas-de-desastres-naturais>. Acesso em: 14 out. 2021.

_____. **Decreto n.º 10.692, de 3 de maio de 2021**. Institui o Cadastro Nacional de Municípios com Áreas Suscetíveis à Ocorrência de Deslizamentos de Grande Impacto, Inundações Bruscas ou Processos Geológicos ou Hidrológicos Correlatos. Brasília: Presidência da República, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.692-de-3-de-maio-de-2021-317632332>. Acesso em: 14 out. 2021.

_____. **Banco de Dados de Informações Ambientais – Bdia**. Brasília: IBGE, 2021. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. Acesso em: 14 out. 2021.

_____. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2007. Disponível em: <http://planodiretor.mprs.mp.br/arquivos/mapeamento.pdf>. Acesso em: 14 out. 2021.

CAO, C. *et al.* Flash flood hazard susceptibility mapping using frequency ratio and statistical index methods in coalmine subsidence areas. **Sustainability**, online, v. 8, n. 9, p. 948, may/sept. 2016.

CASTRO, S. D. A. de. Riesgos y peligros: una visión desde la geografía. **Scripta Nova**, Barcelona, n. 60, mar. 2000. Disponível em: <http://www.ub.edu/geocrit/sn-60.htm>. Acesso em: 28 set. 2019.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996.

CÂMARA, G. *et al.* **Introdução à ciência da geoinformação**. 2. ed. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.

CAMPANA, N. A.; Tucci, C. E. M., Predicting floods from urban development scenarios: case study of the Diluvio basin. **Urban Water**, Oxford, v. 3, n. 2, p. 113-124. 2001. Disponível em: <http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/01/predicting-floods-from-urban-developmente-scenarios-diluvio-basin-porto-alegre.pdf>. Acesso em: 14 out. 2021.

CAPRARIO, J. **Desenvolvimento de um instrumento para o mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações urbanas**. 2017. Dissertação (Mestrado

em Engenharia Ambiental) – Centro tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/176913/346390.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 out. 2021.

CRISTO, S. S. V. de. **Análise da susceptibilidade a riscos naturais relacionados às enchentes e deslizamentos do setor leste da bacia hidrográfica do Rio Itacorubi, Florianópolis, SC.** 2002. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Florianópolis, Florianópolis, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/82704/188467.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 out. 2021.

COBRADE. **Codificação e classificação Brasileira de Desastres.** 2012. Disponível em: http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=f9cdf8bfe31e-4902-984e-a859f54dae43&groupid=10157. Acesso em: 23 out. 2019.

CORRÊA, R. L. **O espaço urbano.** 4. ed. São Paulo: Ática, 2005.

CUIABÁ. **Lei Complementar n.º 150, de 29 de janeiro de 2007.** Dispõe sobre o plano diretor de desenvolvimento estratégico de Cuiabá e dá outras providências. Cuiabá: Câmara Municipal de Cuiabá, 2007. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/mt/c/cuiaba/lei-complementar/2007/15/150/lei-complementar-n-150-2007-dispoe-sobre-o-plano-diretor-de-desenvolvimento-estrategico-de-cuiaba-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 14 out. 2021.

_____. **Lei Complementar n.º 231, de 26 de maio de 2011.** Disciplina o uso, a ocupação e a urbanização do solo urbano no município de Cuiabá. Cuiabá: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano - SMDU. Cuiabá: Câmara Municipal de Cuiabá, 2011. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/mt/c/cuiaba/lei-complementar/2011/23/231/lei-complementar-n-231-2011-disciplina-o-uso-a-ocupacao-e-a-urbanizacao-do-solo-urbano-no-municipio-de-cuiaba>. Acesso em: 14 out. 2021.

EIRD/ONU. **Marco de Ação de Hyogo 2005-2015:** aumento da resiliência das nações e das comunidades frente aos desastres (S.l.: s.d.). Disponível em <https://urbanismo.mppr.mp.br/arquivos/File/MarcodeAcaodeHyogoCidadesResilientes20052015.pdf>. Acesso em: 14 out. 2021.

EMBRAPA. **Serviço nacional de levantamento e conservação de solos.** In: Reunião técnica de levantamento de solos. Rio de Janeiro: Súmula, 1979.

EVANS, I. S.; MINÁR, J. A classification of geomorphometric variables. **Geomorphometry**, Redlands, p. 105-108. 2011.

FERRARI, C. **Curso de planejamento municipal integrado:** urbanismo. 7. ed. São Paulo: Pioneira. 1991.

FLORINSKY, I. V., EILERS, R. G., MANNING, G.R., FULLER, L.G. Prediction of soil properties by digital terrain modelling. **Environmental Modelling & Software**, v. 17, n. 3, p. 295-311. 2002.

GRILO, R. C. **A precipitação pluvial e o escoamento superficial na cidade de Rio Claro/SP**. 1992. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1992.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.; PELLEIN, J. R. G. M. Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: Estudo de caso do município de Rio Negrinho - SC. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 81-100, jun. 2012. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/13519/9407>. Acesso em: 14 out. 2021.

HERRERA, A. **Futuro: cenários e desafios**. (Originalmente publicado em Folha de São Paulo, ago. 1984). In: DAGNINO, Renato (org.). Amilcar Herrera: um Intelectual Latino-Americano. Campinas: UNICAMP/IG/DPCT, 1995.

HILL, A. A.; CUTTER, S. L. **Methods for determining disaster proneness**. In: CUTTER, S. L. (ed.). American hazardscapes: the regionalization of hazards and disasters. Washington: National Academy of Sciences, 2001.

HODGES, W. **A shorter model theory**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

JULIÃO, R. P. *et al.* **Guia metodológico para produção de cartografia municipal de risco e para criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal**. Porto: Autoridade Nacional de Proteção Civil, 2009.

KOBIYAMA, M. *et al.* **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006.

KORTE, G. B. **The GIS book: how to implement, manage, and assess the value of geographic information systems**. New York: Thomson Learning, 2001.

LAMPARELLI, C.; ZAN, P. **Novo conceito de plano diretor a partir da própria Constituição da República**. In: Seminário Plano Diretor Municipal, 23 a 25 de ago. São Paulo: FAU-USP, 1989.

LAVELL, A. **Gestión de riesgos ambientales urbanos**. Panamá: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales y La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en America Latina-LA RED, 1999. Disponível em: <https://www.desenredando.org/public/articulos/1999/grau/GestionDeRiesgosAmbientalesUrbanos-1.0-sep-12-2001.pdf>. Acesso em: 14 out. 2019.

LEFEBVRE, H. **Le droit à la ville**. Paris: Anthropos, 1968.

LIMA, L. M. M. de. **Mapeamento da suscetibilidade à inundação na bacia hidrográfica do Arroio do Salso, Porto Alegre - RS**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

LUCIANO, R.V.*et al.* Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no Sul do Brasil. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 36, p. 1733-1744. 2012.

MAGALHÃES, I. A. L.*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**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p. 63-70. nov. 2011.

MACHADO, P. A. L. **Direito ambiental brasileiro**. 7. ed. São Paulo: Malheiros, 1999.

MCHARG, I. **Valores, processos e forma**. *In*: A humanização do mei. São Paulo: Cultrix LTDA, 1968.

MEDEIROS, J. S. de. **Bancos de dados geográficos e redes neurais artificiais: tecnologia de apoio à gestão de território**. 1999. Tese de doutorado (Doutorado em Geografia Física) – Departamento de geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

MENDES FILHO, W. M.; VENDRAME I. F.; CARVALHO, R. G. **Utilização de sistema de informações geográficas para o mapeamento do potencial de retenção de águas pluviais no município de São José dos Campos – SP**. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., Florianópolis, 2007.

MENEZES, D. J.; SCOTTI, A. A. V. **Inventário de registro de inundações no estado do Rio Grande do Sul entre 1980 e 2010**. *In*: ROBAINA, L. E. de S.; TRENTIN, R. (org.). Desastres naturais no Rio Grande do Sul. Santa Maria: UFSM, 2013.

MENEZES, D. J. **Zoneamento das áreas de risco de inundação na área urbana de Santa Cruz do Sul - RS**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

MONTEIRO, Y, D, P. **Subsídios para a Elaboração do Plano Diretor. Coordenado por Yara Darcy Police Monteiro, com a consultoria Affonso Accorsi e Fernando Rezende da Silva**. São Paulo: Fundação Prefeitura Faria Lima, 1990.

NARVÁEZ, L.; LAVELL, A.; ORTEGA, G, P. **La Gestión del riesgo de desastres: un enfoque basado en procesos**. Lima: Pull Criativo, 2009.

NASCIMENTO, P, W, F dos., COSTA, V, C da. **Análise multicritério da suscetibilidade a inundações na bacia do rio grande, baixada de Jacarepaguá município do rio de janeiro**. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. Fortaleza Ceará. 2019.

OLIVEIRA, E. L. de. A. **Áreas de risco geomorfológico na bacia hidrográfica do arroio Cadena, Santa Maria - RS: zoneamento e hierarquização**. 2004. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

OUMA, Y. O.; TATEISHI, R. **Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated Multi-Parametric AHP and GIS**: methodological overview and case study assessment. *Rev. Water*, v. 6, n. 6, p. 1515-1545, feb./may. 2014.

ONU. **Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030**. (S.l.:s.n.). (Versão em português não-oficial – 31 de maio de 2015). Disponível em: https://www.unisdr.org/files/43291_63575sendaiframeworkportunofficialf%5B1%5D.pdf. Acesso em: 14 out. 2021.

_____. **Assembleia Mundial sobre envelhecimento**: resolução 39/125. Viena: ONU, 1982.

PNUD. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. **Dirección de Prevención de Crisis y de Recuperación**. (S.l.), 2004. Disponível em: http://saludydesastres.info/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=272&Itemid=. Acesso em: 14 out. 2021.

PHILIPPI JR, A.; ROMÉRO, M. A.; BRUNA, G. C. **Uma introdução à questão ambiental**. In: PHILIPPI JR, A.; ROMÉRO M. A.; BRUNA, G. C. (orgs.). Curso de gestão ambiental. Barueri: Manole, 2014.

POMPEO, C. A. Drenagem urbana sustentável. **RBRH-Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, on-line, v. 5, n. 1, p. 15-23, jan./mar. 2000. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/46/c6be0bdb36e71f441b574b6a63d5a75a_2d24ccc39dcc0666232d4d538fcef31f.pdf. Acesso em: 14 out. 2021.

PRUPPERS, M. J. M. *et al.* Accumulation of environmental risks to human health: geographical differences in the Netherlands. **Journal of Hazardous Materials**, online, v. 61, p. 187–196. 1998.

RAMÍREZ, P. E *et al.* Metodología para crear mapas de peligros naturales em Guipúzcoa utilizando SIG. **GeoFocus**, n. 5, p. 250-267. 2005.

RECKZIEGEL, W, B.; DE SOUZA, R. L. E. Riscos geológico-geomorfológicos: revisão conceitual. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 27, n. 2. 2005.

REZENDE, P, S. **Análise de risco de desastres por inundação: cenários temporais para a cidade de Governador Valadares (MG)**. 2020. Tese de Doutorado (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. In: **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 63-74. 1994. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47327/51063>. Acesso em: 14 out. 2021.

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

SAW, J. L. *et al.* **Societal risk representation for effective risk communication**. 13^o International Symposium on Loss Prevention. 2010.

SAATY, T. L. **Decision making for leaders**. Pittsburg: Publications, 2008.

SCCOTI, A. A. V.; MENEZES, D. J. **Mapeamento da suscetibilidade e perigo de inundação em Rosário do Sul - RS**. XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, Gramado, 2014.

SILVA, A. M. O método quadripolar e a pesquisa em ciência da informação. **Prisma.com**, on-line, n. 26, p. 27-44, mar. 2014. Disponível em: <https://ojs.letras.up.pt/index.php/prisma.com/article/view/1861/1694>. Acesso em: 14 out. 2021.

SILVA, C, V, F da. **Planejamento do Uso e ocupação do Solo integrado ao mapeamento de áreas de risco de Inundação**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Ambiental) – Departamento de engenharia Hidráulica e Ambiental, Escola Politécnicas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-06072014-214625/publico/Dissertacao_CarlaVoltarelliFSilva_unprotected.pdf. Acesso em: 14 out. 2021.

SILVA, J. A. da. **Direito urbanístico brasileiro**. 6. ed. São Paulo: Malheiros, 2010.

SOUZA, C. A. de. **Uso do geoprocessamento como subsídio à análise de danos ambientais e urbanos: geração dos mapas de potencial de impacto de inundação em caso de rompimento da UHE Santa Branca**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/31710/31710.PDF>. Acesso em: 14 out. 2021.

SOUZA, M. L. de. **Mudar a cidade**: uma introdução crítica ao planejamento e gestão urbanos. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

TAVEIRA PINTO, J. A. M. **Análise espacial de indicadores de qualidade de serviço de transportes coletivos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Território) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.

TUCCI, C. E. M. **Estimativa do volume para controle da drenagem no lote**. Anais III Seminário Nacional de Drenagem Urbana, ABRH. Curitiba. 1997.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades, 2005. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/285/o/Gest%C3%A3o_de_Aguas_Pluviais_.PDF?1370615799. Acesso em: 14 out. 2021.

TUCCI, C. E. M; BERTONI, J, C. **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2003.

UNDP. **Reducing disaster risk: a challenge for development**. New York: United Nations Development Program, 2004. Disponível em: http://www.planat.ch/fileadmin/PLANAT/planat_pdf/alle_2012/20012005/Pelling_Maskrey_et_al_2004_-_Reducing_Disaster_Risk.pdf. Acesso em: 14 out 2021.

UNISDR. **Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives**. v. 1. New York and Geneva: UN, 2004.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos: INPE, 2008.

VIEIRA, D. C. M.; RODRIGUES, J. C.; RODRIGUES, J. C. Mapeamento e análise de desigualdades socioespaciais: abordagem interpretativa a partir da cidade de Belém, Pará. **Geosaberes**. Fortaleza, v. 9, n. 17, p.1-21, jan./abr. 2018.

VILLAÇA, F. **Dilemas do Plano Diretor**. In: CEPAM. O município no século XXI: cenários e perspectivas. São Paulo: Fundação Prefeito Faria, 1999a.

VILLAÇA, F. A crise do planejamento urbano. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v. 9, n. 2. 1995. Disponível em: http://produtos.seade.gov.br/produtos/spp/v09n02/v09n02_07.pdf. Acesso em: 14 out. 2021.

ZAMPARONI, C. A. G. R. **Análise de mapeamentos de áreas de riscos hidrológicos em Cuiabá/MT/Brasil**. III CONGRESSO INTERNACIONAL I SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO VIII ENCONTRO NACIONAL DE RISCOS. Coimbra, 2014. Disponível em: <https://digitalis.uc.pt/handle/10316.2/34869>. Acesso em: 14 out. 2021.

ANEXOS