



GOVERNO DO ESTADO DE MATO GROSSO
SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
CARLOS ALBERTO REYES MALDONADO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM
GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



UMA METODOLOGIA PARA MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A ALAGAMENTOS NO MUNICÍPIO DE SINOP- MT.

JONATAS GARCIA HURTADO

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Bruno Zanin

Cuiabá/MT
2023

JONATAS GARCIA

Uma Metodologia para Mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos no município de Sinop-MT.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua - Unidade UNEMAT, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Bruno Zanin

Cuiabá/MT
2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Luiz Kenji Umeno Alencar CRB 1/2037

H967u HURTADO, Jonatas Garcia.
Uma Metodologia para Mapeamento de Área Suscetíveis a Alagamentos no Município de Sinop-MT / Jonatas Garcia Hurtado - Cuiabá, 2024.
50 f.; 30 cm. (ilustrações) Il. color. (sim)

Trabalho de Conclusão de Curso
(Dissertação/Mestrado) - Curso de Pós-graduação Stricto Sensu (Mestrado Profissional) Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Instituto Nacional de Pesquisas do Pantanal Cuiabá e Cidade Universitária Celso Campus Univers. de Cáceres., Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2024.
Orientador: Rodrigo Bruno Zanin

1. Ahp. 2. Mapeamento. 3. Alagamentos. I. Jonatas Garcia Hurtado. II. Uma Metodologia para Mapeamento de Área Suscetíveis a Alagamentos no Município de Sinop-MT: .
CDU 556.166(817.2)

AGRADECIMENTOS

Este espaço dedico como agradecimento a minha Família em especial a minha mãe Luiza Bety Garcia, meu orientador Profº Drº Rodrigo Bruno Zanin, ao PPG, a CAPES, a ProfªÁguas e a UNEMAT.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfªÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

RESUMO

Este estudo apresenta uma metodologia baseada em análise multicritérios a fim de identificar áreas suscetíveis a alagamentos em regiões urbanas do município de Sinop-MT, tal metodologia utiliza-se de banco de dados e software SIG (Sistema de Informação Geográfica) gratuitos, isso proporciona que sua aplicabilidade tenha um maior alcance. Neste levantamento buscamos mapear as áreas com maior tendência a alagamentos, relacionando diferentes fatores que podem intensificar o evento, integrando os parâmetros de diferentes fatores através de uma metodologia multicritérios. O sistema multicritério utilizado para a geração do mapa foi o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), onde através da integração de dados de geoprocessamento (altitude, solos da região, intensidade da urbanização das áreas e a declividade da região), foi possível classificar os fatores em pesos e notas, o que proporcionou a produção de um mapa lúdico, indicando áreas suscetíveis a alagamentos e definindo sua intensidade através de um mapa de calor.

Palavras-chave: AHP, MAPEAMENTO, ALAGAMENTOS

LISTA DE FIGURAS

Ilustração 1 - Mapa da localização de Sinop dentro do estado de MT.	21
Ilustração 2-Alagamento em Sinop 2023.....	29
Ilustração 3 - Mapa pedológico da cidade de Sinop e entorno (20014).....	30
Ilustração 4-Mapa altimétrico da área urbana de Sinop-MT (Cores quentes pontos baixos).	33
Ilustração 4-Mapa de declividade da área urbana de Sinop-MT (Cores quentes pontos baixos).	34
Ilustração 5-Mapa do índice urbana de Sinop-MT (Cores quentes pontos mais urbanizados).....	35
Ilustração 6 -Mapa dos solos presentes em Sinop (O município tem um único solo predominante).36	
Ilustração 7 -Aplicação da formula de áreas suscetíveis a alagamentos na ferramenta “Calculadora Raster”.....	39
Ilustração 8-Mapa Gerado apartir da formula aplicada na imagem 8 (Mapa de áreas urbanas suscetíveis a alagamentos no municipio de Sinop-MT).....	41
Ilustração 9-Mapa de região da Av das Itaúbas com Av. Julio Campos.	43
Ilustração 10 -Mapa de região da praça Plinio Callegario.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Notas estabelecidas para altitudes segundo	31
Tabela 2-Notas estabelecidas para declividade	33
Tabela 3- Notas estabelecidas para o uso e ocupação do solo.	35
Tabela 4-Matriz de comparação pareada	37
Tabela 5-Peso dos fatores	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AHP – Analytic Hierarchy Process

ANA – Agência Nacional de Águas

ANEEL-Agência Nacional de Energia Elétrica

CORSAN – Companhia Rio-grandense de Saneamento

GIS – Geographic Information System (Sistema de Informação Geográfica)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

SIG – Sistema de Informação Geográfica.

SUDAM – Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia

SUDECO – Superintendência de Desenvolvimento do Centro-Oeste

PIN – Programa de Integração Nacional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	ALAGAMENTOS	15
2.2	SIG (SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA)	16
2.3	BACIA HIDROGRÁFICA	18
2.3.1	PONTOS CRÍTICOS A ALAGAMENTOS	19
2.4	SINOP-MT	20
2.5	AHP	22
2.5.1	Desenvolvimento do método	23
3	MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1	MATERIAIS	27
3.1.1	Dados SRTM - Shuttle Radar Topography Mission	27
3.1.2	Área de Estudo	28
3.2	MÉTODO PROPOSTO	30
3.2.1	Hierarquias de Critérios	30
3.2.2	Altitude	31
3.2.3	Declividade	33
3.2.4	Índice de Urbanização	34
3.2.5	Fator Solo	35
3.2.6	Determinação dos Pesos	36
3.2.7	Teste de Consistência	38
4	DISCUSSÃO	41
5	CONCLUSÃO	45
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

Os alagamentos são problemas recorrentes em centros urbanos e ocorrem não apenas por contribuição de fatores climáticos, mas também por contribuição das ações antrópicas, como o desmatamento desordenado, canalização de rios e córregos, impermeabilização do solo, entre outros. Os problemas com alagamentos não são locais ou regionais, uma vez que em escala mundial no decorrer da história o poder público não deu a devida atenção para o sistema de drenagem urbano, gerando pontos de alagamentos em centros urbanos (Tucci, 2007).



Figura 1: Alagamento em Sinop

Fonte: (<https://www.sonoticias.com.br/geral/chuva-alaga-ruas-e-avenidas-e-danifica-veiculos-em-sinop/>)



Figura 2: Alagamento em Nova York

Fonte: <https://www.band.uol.com.br/noticias/nova-york-declara-estado-de-eme\rgencia-devido-as-chuvas-e-enchentes-na-regiao-16636477>



Figura 3: Alagamento na Alemanha

Fonte: <https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/enchentes-na-alemanha-mortos-e-desaparecidos/>

Segundo Amen et. al. (2023), há inúmeras causas para se apontar quando o assunto é alagamento, tanto naturais como provocadas pelo homem, além das mudanças climáticas, outros fatores podem desempenhar um papel fundamental na ocorrência de inundações, esses fatores tem relação direta com as características de sua bacia de drenagem, tais como altitude, inclinação, topografia, variação litológica, entre outros.

Neste sentido a fim de identificar áreas com maior suscetibilidade a alagamentos e levando em consideração as características das microbacias da região urbana, utilizou-se o método AHP e sistema baseado em GIS para modelagem da pesquisa.

O AHP (*Analytic Hierarchy Process*), é um método para tomada de decisões complexas, que envolvem multicritérios, onde através da relação e ordem desses critérios podemos definir uma hierarquia de importância. No método AHP as decisões envolvem pesos de prioridade para cada uma das camadas de informações, sendo que o método foi proposto por Saaty (1977). No caso desse estudo utilizou-se como critérios de análises as informações de altitude, declividade, tipos de solos e densidade de urbanização. Essas informações foram obtidas e sistematizadas com o auxílio de ferramentas e softwares de SIG permitindo a aplicação da metodologia AHP para realizar a comparação dos critérios entre si.

Aliado ao método AHP, utilizamos os dados sistematizados em um SIG (Sistema de Informação Geográfica), sistema esse que permite o gerenciamento de inúmeros dados espaciais. Segundo Cabrera (2020) nas últimas décadas a integração do sistema SIG e o

método multicritério tem se mostrado uma excelente ferramenta no mapeamento e gestão de perigos e riscos, de forma a poder trabalhar com grandes quantidades de dados organizando e os integrando, tornando possível uma visão mais abrangente com uma ampla gama de informações (Das, 2018) Isso permite analisar estatísticas, criar modelagens, simulações espaciais, e o principal, auxilia na geração de mapas que mostram padrões e tendências espaciais.

Utilizamos o município de Sinop, no estado de Mato Grosso, a escolha desse município é devido a sua urbanização acelerada, aliada a especulação imobiliária da região, que aumentou significativamente o número de bairros no município gerando cada vez mais espaços suscetíveis a alagamentos. Segundo (Damo, 2017), com o crescimento da área urbanizada em Sinop, gerou-se o aumento nos números das vias (ruas/avenidas) e impermeabilização do solo na região, gerando a dificuldade de infiltração da água da chuva no solo, com isso aumentando o escoamento superficial, que por sua vez é redirecionando para centrais de drenagem (boca de lobo/ bueiros), assim gerando uma sobrecarga no sistema de drenagem urbana, principalmente nas partes com menor altitude na região, majorando a incidência de alagamentos. Apesar de Sinop ser uma cidade modelo na região norte do Mato Grosso e seu desenvolvimento urbano ser baseado no plano diretor, o município sofre com constantes alagamentos, e sua urbanização acelerada indica que episódios como estes podem tornar-se cada vez mais recorrentes.

Dessa forma uma metodologia que utiliza banco de dados gratuitos para mapear áreas com maior risco de alagamento poderá ser uma ferramenta muito útil na tomada de decisão dos gestores públicos, bem como no planejamento de emergência, seja por evacuação ou busca por alojamentos próximos, transformando-se em uma resposta do poder público em caso de inundação. O mapa criado também pode ser orientativo na avaliação de risco de um determinado local para futuras construções (residências/comerciais), auxiliando no planejamento do uso e ocupação do solo em área urbana.

A fim de proporcionar aos diversos atores envolvidos no processo uma ferramenta de fácil leitura dessas regiões suscetíveis, este trabalho aponta qual o grau de risco das diferentes áreas quando se trata de alagamentos, gerando um mapeamento dessas áreas para identificar a localização e, com base nessa informação o poder público poderá criar políticas de prevenção de riscos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Considerando a necessidade da referida pesquisa, e compreendendo a existência de inúmeros fatores presentes em um cenário de alagamento, este estudo apresenta uma revisão bibliográfica, descrevendo as características regionais que influenciam em áreas alagadas. Segundo Amen et. al. (2023), a utilização do sistema SIG integrado ao método AHP tem aumentado na última década, e esta tendência deve continuar, visto que essa integração proporciona uma análise de dados de diferentes fontes, além de organiza-los em diferentes hierarquias.

Segundo Braga (2016) a gestão de recursos hídricos, no caso especial da gestão da drenagem urbana, seu planejamento deve ser integrada ao próprio planejamento urbano, associando com sua topografia, zoneamento, malha de transporte. A utilização de GIS para este tipo de análise é fundamental, visto a quantidade de informações que precisam ser analisadas.

Segundo levantamentos do Ministério Público da Integração Nacional, entre 1990 e 2012 o Brasil sofreu mais de 30 mil desastres naturais, isto é uma média de 1.363 eventos por ano (BRASIL, 2013). Esses dados reforçam a necessidade de aquisição de ferramentas preventivas ou paliativas, a fim de garantir a segurança de moradores em áreas de risco.

Os fatores que ocasionam os alagamentos e os impactos causados por este fenômeno é um assunto de multi vertentes, podendo ser discutido em diferentes esferas, seja social, político, cultural ou ambiental (SILVA, 2018, p.134)

Segundo Mantis (2019), a utilização do método AHP alinhado aos dados de geoprocessamento, fornece um resultado final de fácil entendimento, de modo lúdico, onde mesmo profissionais que não são da área tem facilidade na leitura e entendimento do produto, além do resultado final ser economicamente viável, seu produto é gerado em considerável rapidez.

Amen et. al. (2023), por sua vez conduziu estudos de mapeamento na região de Duhok (Irã), integrando dados em GIS com o método AHP a fim de identificar regiões propensas a inundações, onde se destaca que apesar da metodologia ser extensa, seu resultado gera economia. No atributo de agilidade do método, existem divergências entre a análise de Mantis (2009) e Amen et. al. (2023), isso possivelmente se deve a quantidade de parâmetros

analisados, visto que o estudo de Amen et. al. (2023) analisa uma quantidade de dados significativamente maior que Mantis (2009).

2.1 ALAGAMENTOS

Alagamentos podem ser definidos como o acúmulo de água em áreas urbanas, e ocorrem naturalmente nas áreas mais baixas da bacia e podem ser agravadas por atividades antrópicas na região, falha no sistema de drenagem, processos fluviais e intensidade pluviométrica acima da média da região. Diferente das inundações os alagamentos não necessitam ter o resultado do transbordamento de um rio para afetar nas áreas alagadas (Tehrany, 2013)

Segundo Bedient et. al (1987), o termo Alagamento, também, pode ser definido como um evento hidrológico caracterizado pelo aumento do nível da água em rios, lagos, córregos ou áreas costeiras, resultando na inundação de áreas normalmente secas. Este evento é, por vezes, causado por diversos fatores, incluindo chuvas intensas, derretimento de neve, aumento do nível do mar devido a marés ou tempestades, falhas em sistemas de drenagem urbana e outros eventos climáticos extremos. Os alagamentos podem ter impactos significativos nas comunidades afetadas, incluindo danos a propriedades, interrupção de serviços públicos e ameaça à vida humana. Segundo Tucci. (2005) os desastres naturais são o resultado de fenômenos naturais extremos ou intensos que impactam em um sistema social, resultando em danos e perdas graves que excedem a capacidade da comunidade ou sociedade afetada de lidar com o impacto

Há vario fatores relacionados a urbanização que podem intensificar os impactos dos alagamentos, cada um desses fatores possuem características únicas, que quando associadas a outros fatores aumentam seu poder de dano sobre a sociedade. Esse impacto pode ser verificado nas seguintes situações Corte (2015):

- Aumento do Escoamento Superficial – O processo de urbanização envolve a construção de edifícios, estradas, estacionamentos e outras superfícies impermeáveis. Isso ocasiona um aumento no escoamento superficial, uma vez que a água da chuva não pode mais ser absorvida pelo solo e dessa forma a mesma flui rapidamente para rios e córregos, aumentando o volume e a velocidade do fluxo de água durante as chuvas intensas.

- Redução da Infiltração - No desenvolvimento dos centros urbanos, frequentemente, tem como resultado a substituição de vegetação e solo permeável por concreto e asfalto. Isso

reduz a capacidade do solo de absorver a água da chuva, levando, também, a um aumento nas inundações.

- Modificações em Sistemas de Drenagem - As áreas urbanas geralmente têm sistemas de drenagem projetados para controlar o escoamento de água. No entanto, esses sistemas podem ficar sobrecarregados durante chuvas intensas, levando a alagamentos.

- Expansão de Áreas Impermeáveis - O crescimento urbano frequentemente resulta na sua expansão e, conseqüentemente, suas áreas impermeáveis também expandem em detrimento das áreas naturais, como pântanos, zonas úmidas e fundos de vales, que atuam como amortecedores naturais contra alagamentos. Os problemas de ocupação nas proximidades dos cursos hídricos agravam, cada vez mais, os processos de inundação, com maior intensidade e frequência, causados inclusive, perdas de vidas humanas e prejuízos socioeconômicos. No entanto, esse problema não é exclusivo do Brasil, mas sim um fenômeno global associado com a ausência de planejamento e ordenamento territorial (JHA et al., 2012).

2.2 SIG (SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA)

Segundo SILVA (2018), nas últimas décadas tem aumentado a aplicação do SIG, visto sua vasta capacidade de coletar, tratar e analisar diferentes tipos de dados, integrando diferente fontes e fornecendo subsídios para estudos de fenômenos naturais. O SIG representa uma tecnologia bastante relevante nos dias atuais, tanto na esfera acadêmica quanto na prática profissional. Suas aplicações estão presentes em diversas áreas do conhecimento, englobando as geotecnologias, como as de Sensoriamento Remoto e o Sistema de Posicionamento Global (GPS).

Os SIGs podem ser caracterizados pela capacidade de integrar e manipular dados geoespaciais, constituídos por informações de natureza geográfica, tais como coordenadas geodésicas, detalhes topográficos, divisões políticas, elevações do terreno, e outros elementos pertinentes (Dias, 2012). Esses dados podem ser obtidos por meio de tecnologias de sensoriamento remoto, levantamentos terrestres, bem como de fontes cartográficas pré-existentes, que se configuram como insumos essenciais para a elaboração de mapas e análises espaciais.

A principal característica de qualquer SIG é o georreferenciamento, processo pelo qual os dados estão vinculados a coordenadas geográficas específicas. Dessa forma é possível viabilizar a representação visual desses dados em diversos formatos, tais como mapas personalizáveis e/ou interativos. A visualização cartográfica é um recurso fundamental que proporciona uma abordagem intuitiva para a interpretação e compreensão dos dados espaciais (Hora e Gomes, 2009).

Na atualidade os SIGs oferecem uma gama de funcionalidades analíticas que incluem a identificação de padrões, análise de proximidade, roteamento, modelagem de cenários, dentre outras técnicas que facilitam a tomada de decisões pelo usuário, com base em informações espaciais. Além disso, os SIGs são dotados ou interagem com bancos de dados geográficos que organizam os dados de maneira eficiente, simplificando sua análise (WATERS, 2005).

Um dos grandes desafios da informação espacial é a integração de dados de fontes heterogêneas, dessa forma os SIGs para obterem sucesso na praticidade devem ter como principal característica a capacidade de promover essa integração, permitindo que as informações geográficas provenientes de diferentes origens e formatos possam ser consolidadas em um ambiente unificado. Isso aumenta a capacidade de análise e geração de conhecimento a partir dos dados (CHRISMAN, 2012).

Segundo Malczewski (2006), a aplicabilidade dos SIGs abrange uma ampla gama de setores, incluindo o planejamento urbano, monitoramento ambiental, agricultura de precisão, logística, gestão de recursos naturais, análise de mercado, entre outros. O papel de um SIG na tomada de decisões é indiscutível, fornecendo informações geoespaciais cruciais para a formulação de estratégias e políticas em várias áreas.

De forma geral é possível dizer que o SIG é um sistema composto por elementos que trabalham em conjunto para produzir informações espaciais e tem como característica integrar, transformar e sistematizar informações/dados espaciais (Miranda, 2005). Por meio dos SIGs é possível criar novos planos de informações combinando os dados existentes e novas informações, identificando e gerenciando eventos como, por exemplo, as inundações de forma mais eficaz, fornecendo previsões desses eventos em áreas já urbanizadas e antecipando a implementação de medidas de proteção e prevenção (RAMOS et al., 2013).

Dessa forma, nos dias atuais as técnicas de geoprocessamento estão sendo cada vez mais utilizadas na análise, definição e monitoramento de riscos e em pesquisas de vulnerabilidades climáticas, fornecendo recursos por meio do uso de SIGs.

2.3 BACIA HIDROGRÁFICA

Segundo Filho (2009), uma bacia hidrográfica se compreende por limites de relevo de sua topografia, divisores de águas, onde áreas de contribuição escoam para o ponto mais baixo, estes pontos são de conhecimentos básicos para o planejamento de sistemas drenantes da bacia. Quanto maior a altitude, menor a probabilidade de inundação para uma determinada região devido à ação da lei da gravidade que direciona a água para as regiões mais baixas (MAGALHÃES et al., 2011).

Para Borges (2015), as bacias podem ser desmembradas em n números de sub-bacias, onde cada bacia hidrográfica interage com outra de ordem hierárquica superior, formando uma sub-bacia em relação à última.

A bacia hidrográfica, é uma unidade geográfica na qual todas as águas superficiais e subterrâneas convergem para um único ponto de saída, geralmente um rio ou corpo d'água. Ela representa a área de captação de água e é delimitada por divisores de águas naturais (MAGALHÃES et al., 2011). Nos termos da Lei Federal nº 9.433/1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da PNRH e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

A dinâmica da água em uma bacia, ou sub-bacia inclui a captação de água da chuva, a evaporação, a infiltração no solo, o escoamento superficial e o fluxo subterrâneo. A forma como a água é distribuída e movimentada dentro da bacia é essencial para a compreensão de processos como a recarga de aquíferos e a alimentação de rios (CHOW, et. al. 1988).

A rede de drenagem de uma bacia ou sub-bacia hidrográfica é composta por rios, córregos e afluentes que convergem para o seu rio principal. A forma e o padrão da rede de drenagem são influenciados pela topografia e geologia da bacia, desempenhando um papel na velocidade e na quantidade de água que flui através da mesma.

A precipitação e o clima de uma região, que abrange a bacia têm um impacto direto da e na sua dinâmica, segundo Chow et, al. (1988), uma vez que a precipitação determina a quantidade e a distribuição das chuvas ao longo do ano, considerando que ela é uma fonte fundamental de água para a bacia (SINGH, 2007).

Considerando as atividades humanas, como urbanização, agricultura e desmatamento, como o principal fator de antropização, é importante ressaltar o impacto significativo na dinâmica de uma bacia que elas têm. Elas podem afetar a qualidade da água, o escoamento superficial, bem como a ocorrência de inundações (FEARNSIDE, 1986).

Os modelos matemáticos que utilizam ferramentas computacionais vêm sendo frequentemente usados para simular a dinâmica de uma bacia hidrográfica, ou de uma determinada parte da bacia ou sub-bacia. Isso inclui a previsão de vazões, a análise de eventos extremos, a identificação de áreas de risco de inundação e o planejamento de recursos hídricos (LOUCKS et al., 2005).

Segundo SINGH (2007), a dinâmica de uma Bacia Hidrográfica é uma área de estudo multidisciplinar que engloba uma série de processos físicos, climáticos e humanos que afetam a distribuição e a movimentação da água em uma determinada área geográfica. Compreender essa dinâmica é fundamental para a gestão sustentável dos recursos hídricos e a mitigação de desastres naturais, como inundações.

Ainda segundo Louks et. al (2005), a modelagem de bacias hidrográficas, por meio de modelos hidrológicos e ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), desempenha um papel fundamental na previsão de alagamentos urbanos. Esses modelos permitem simular como a água flui dentro da bacia, como se acumula nas áreas urbanas e como isso afeta os níveis de inundação. Essa abordagem é essencial para identificar áreas de risco e desenvolver estratégias de gestão de inundações em contextos urbanos.

2.3.1 PONTOS CRÍTICOS A ALAGAMENTOS

A ocupação do solo urbano sem planejamento gera impactos negativos ao meio ambiente, por vezes causando catástrofes naturais. Segundo Santos (2016), alguns desses pontos que podem intensificar alagamentos são: i) impermeabilização do solo e consequentemente a diminuição da infiltração; ii) perda da cobertura vegetal; iii) acúmulo de

resíduos sólidos nos elementos do sistema de drenagem; iv) aumento da densidade urbana e consequentemente a sobrecarga no sistema de drenagem.

Hora e Gomes (2009) afirmam que os elementos que apresentam maior importância no estudo de risco à alagamento, são os elementos que tem como referência aos aspectos geológicos (pedologia), geomorfologia (declividade, hipsômetria) e uso do solo (classificação das ocupações coberturas vegetais).

Segundo Borges et al. (2015) as características de escoamento superficial serão influenciadas pela declividade da região, além das características dos materiais da superfície e dessa forma estes elementos transformam-se em itens fundamentais para o desenvolvimento do mapa de suscetibilidade à alagamentos, tendo como hierarquia de fatores a escala de Saaty e Vargas (2008).

Segundo Charlton (2006), a alteração no uso do solo e a expansão urbana sobre áreas de planícies são fatores que intensificam não somente os alagamentos, mas também estimulam de forma geral as mudanças induzidas pelo clima.

2.4 SINOP-MT

O município de Sinop, no estado de Mato Grosso, começou a ser ocupado no ano de 1972, sendo que em 1976 foi criado como distrito de Chapada dos Guimarães e apenas no ano de 1979 foi elevado ao grau município. Originalmente o plano de ocupação dessa área amazônica se deu através de estudos geopolíticos da Escola Superior de Guerra no período da ditadura militar, associado a programas do tipo PIN (Programa de Integração Nacional), da SUDAM (Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia) e da SUDECO (Superintendência de Desenvolvimento do Centro-Oeste), onde os mesmos destinaram incentivos financeiros e fiscais para a região, auxiliando assim seu desenvolvimento. (Damo, 2017).

LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SINOP

MATO GROSSO

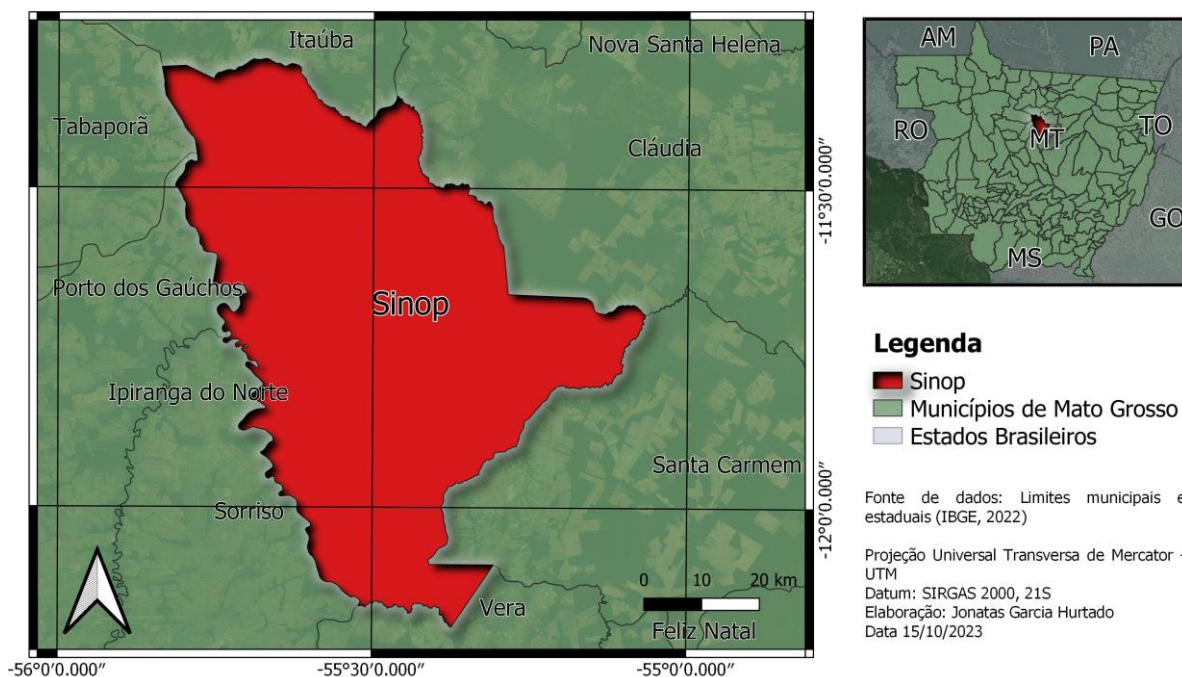


Ilustração 1 - Mapa da localização de Sinop dentro do estado de MT.

Fonte: AUTOR (2023)

Sinop-MT é uma cidade importante para o desenvolvimento de Mato Grosso, devido à sua localização estratégica, infraestrutura avançada, instituições de ensino e oportunidades de emprego, bem como sua contribuição para a economia. O município está localizado em uma importante região agrícola do Brasil e é um grande produtor de soja, milho, algodão e outras culturas. A cidade está em uma microrregião que possui uma moderna infraestrutura para a produção agrícola, com grandes fazendas e equipamentos avançados, e desempenha um papel crucial na economia do estado.

Com apenas 43 anos o município de Sinop teve uma população estimada de 148.960 no ano de 2021 (IBGE, 2022). Segundo a PRODEURBS (Núcleo de Projeto e Desenvolvimento Urbano de Sinop), no ano de 2017 o município contava com 177 loteamentos regulares, 03 loteamentos clandestinos e 10 loteamentos irregulares, sendo que os irregulares, geralmente são ocupados por famílias de baixa renda, sem poder aquisitivo para a compra de terrenos, ou seja, vítimas da especulação imobiliária. Essa especulação imobiliária, presente na região, fomenta a transformação de áreas “verdes” ou não exploradas em

loteamentos e transformando, áreas estratégicas para uma lógica de valorização imobiliária e especulação, em terras urbanizadas. (Damo, 2017).

Segundo ALVES (2017), Sinop foi utilizada estrategicamente para integração entre o Centro-Oeste e Amazônia, sendo o município um instrumento para apropriação de recursos naturais, em especial ao extrativismo vegetal e terra para produção agricultura. Com o crescimento do eixo em torno da BR-163, o traçada para escoamento de grãos foi fundamental para seu desenvolvimento econômico, proporcionando o crescimento populacional e conseqüentemente aumentando o valor de solo urbano.

Sinop é um dos únicos municípios de Mato Grosso a contar com 2 (duas) universidade públicas, oque favorece seu crescimento devido a chegada de novos estudantes.

Dentro desse contexto, é importante avaliar, do ponto de vista de uma dinâmica de bacias hídricas, como esse avanço na antropização do município gera problemas como por exemplo inundações e suas conseqüência na região urbana do município.

2.5 AHP

O Analytic Hierarchy Process (AHP) é um método proposto por Thomas L. Saaty para tomar decisões de forma estruturada e baseada em critérios pré-definidos, ou seja, baseado em multicritério, usado para auxiliar, de forma quantitativa, uma tomada de decisão entre um conjunto de alternativas possíveis para estudar um problema.

Os alagamentos podem ser causados ou intensificados por diferentes fatores, demandando uma análise global de todos os possíveis fatores presentes para o cenário de alagamentos. Segundo Mantis (2019), a metodologia AHP se encaixa bem para modelagem de mapeamento urbano, visto sua capacidade de integrar, comparar e classificar informações e características em hierarquias, oque se torna uma poderosa fermenta quando associado ao sistema GIS.

Assim o AHP pode ser definido como uma abordagem matemática que ajuda a avaliar alternativas e selecionar a melhor opção com base em critérios de importância e prioridade (SAATY, 1991). O método AHP é baseado em uma hierarquia de critérios, que podem ser decompostos em subcritérios e alternativas, atribuindo valores numéricos em cada um dos elementos da hierarquia com base em sua importância relativa. Essa hierarquia é usada para avaliar as alternativas em relação a cada critério e subcritério, de uma forma que

em cada nível hierárquico, as alternativas são comparadas com base em pesos relativos aos critérios e subcritério.

Segundo Kahraman (2004) o AHP é um método multicritério com uma abordagem matemática flexível e poderosa, amplamente utilizado em diversos contextos, sendo que uma das principais vantagens desse método é sua relativa facilidade com que trata uma variedade de critérios, principalmente na subjetividade e incerteza inerentes às decisões humanas.

O método AHP é baseado em uma hierarquia dos referidos critérios, que podem, ser decompostos em subcritérios e alternativas, de forma que, em seguida, atribui-se os valores numéricos de cada um dos elementos da hierarquia com base em sua importância relativa. Essa hierarquia é usada para avaliar as alternativas, em relação a cada critério e subcritério, de forma a compará-las com seus pesos relativos em cada critério e subcritério.

Saaty (1987) ressalta que “Três princípios orientam a solução de problemas com método AHP: decomposição, julgamentos comparativos e prioridades”. Através destes princípios, segundo Saaty (2001), o método fornece “a matemática objetiva, usada para processar as preferências subjetivas e pessoais de um indivíduo ou grupo ao tomar uma decisão”.

O AHP utiliza uma escala numérica de 1 a 9 para avaliar as alternativas em relação a cada critério e subcritério, em que 1 representa menor importância e 9 representa extrema importância. Esses valores são usados para calcular o peso relativo de cada alternativa em relação a cada critério e subcritério, utilizando cálculos matemáticos específicos.

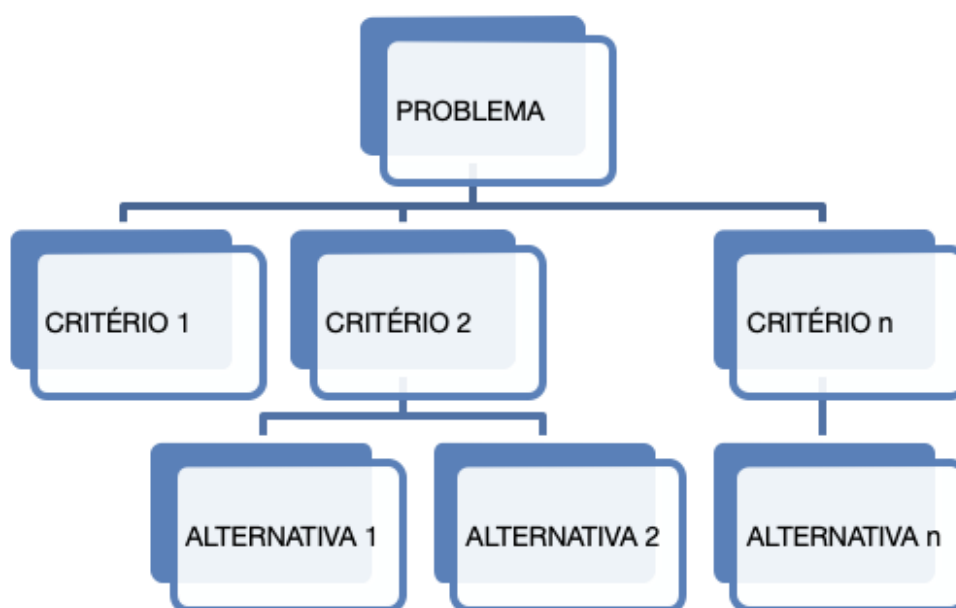
Com base nos pesos relativos atribuídos a cada critério e subcritério, é possível calcular a pontuação total de cada alternativa e selecionar a melhor opção. O AHP é uma abordagem flexível e pode ser adaptado para diferentes situações de tomada de decisão.

Em resumo, o AHP é um método para tomar decisões baseado em critérios hierárquicos e pesos relativos, permitindo que os tomadores de decisão avaliem alternativas e selecionem a melhor opção.

2.5.1 Desenvolvimento do método

Segundo Saaty (2008) para tomar uma decisão de forma organizada é necessário definir as prioridades, então precisa-se decompor a decisão nas etapas que podem ser definidas segundo o fluxograma a seguir:

Passo 1: Definir o problema de decisão. Isso pode envolver uma escolha entre diferentes opções, ou uma priorização de diferentes critérios que precisam ser considerados na decisão. Para analisar esses critérios por prioridade ou importância, recomenda-se a utilização da tabela desenvolvida por Saaty (1997).



Fonte: Acervo Pessoal

Passo 2: Construir a hierarquia de critérios e alternativas. Assim a identificação dos critérios de decisão que são importantes para o problema e as alternativas possíveis para cada critério.

Tabela 1 – Valores de Comparação

Valores	Descrição	Justificativa
1	IGUAL	Os dois parâmetros contribuem equitativamente.
3	MODERADA	O parâmetro comparado é um pouco mais importante que o outro.
5	ESSENCIAL OU FORTE	Julgamento favorecendo fortemente um parâmetro sobre o outro.
7	MUITO FORTE	Um parâmetro é fortemente favorecido, com demonstração na prática
9	EXTREMA	O parâmetro comparado apresenta uma importância maior do que o outro em maior nível possível.
2	VALORES INTERMEDIÁRIOS	Quando há uma condição intermediária entre duas definições.

Fonte: Saaty (1977)

Passo 3: Comparações pareadas, com um valor de importância relativa para cada par de critérios ou alternativas na hierarquia, usando a escala de comparação pareada de 1 a 9. Essa escala é usada para comparar a importância relativa de cada elemento em relação a outro elemento na mesma camada da hierarquia. Por exemplo, se o critério A é duas vezes mais importante do que o critério B, então A seria atribuído um valor de 2 ou a B seria atribuído um valor de 1/2.

Tabela 2 – Matriz de comparação

	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa n
Alternativa 01	1	1/A	1/B
Alternativa 02	A	1	1/3
Alternativa n	B	3	1

Fonte: Autor (2023)

Passo 4: Calcular as prioridades relativas dos critérios e alternativas com base nas comparações pareadas, com a matriz de comparação de prioridades para cada camada da hierarquia. Aplique a fórmula de AHP para calcular as prioridades relativas de cada critério e alternativa, encontrando o vetor próprio da matriz de comparação de prioridades.

Passo 5: Calcular as prioridades globais das alternativas que é uma verificação da consistência das comparações, e também conhecida como taxa de consistência. A taxa de consistência deve ser inferior a 0,1 para garantir que os resultados sejam confiáveis.

Equação 1

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

n: Ordem da matriz

λ_{max} : média da matriz de comparação paritária.

Para verificação da consistência do estudo, Saaty (1991) sugere o uso da razão de consistência (RC), que utiliza o índice randômico (IR), valor tabelado conforme o tamanho da amostra (Tabela 3)

Tabela 3 – Índice Randomico (IR)

Índice Randomico (IR) conforme a Ordem da Matriz n											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,58

Equação 2

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

Passo 6: Tomada de decisão com base nas prioridades globais das alternativas, conforme o peso de cada uma.

Equação 3

$$A_{ij} = \sum(P_k * N_k)$$

Na equação 3, A_{ij} é o risco de alagamento de cada célula da matriz; P é o peso atribuído ao plano, transposto o percentual para escala de 0 a 1 e N é a nota do fator na escala de 0 a 10; sendo k constante igual a 1. Assim será possível determinar o peso de cada fator.

O método AHP é uma abordagem sistemática e pode ser aplicado a uma ampla gama de problemas de decisão. No entanto, pode ser necessário ajustar a estrutura hierárquica ou a escala de comparação pareada com base nas necessidades específicas do problema em questão.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse capítulo foi dividido em duas seções, sendo que a primeira foi utilizada para indicar o material utilizado, tais como softwares e dados e a segunda é para apresentar o método utilizada para desenvolver a pesquisa em questão.

3.1 MATERIAIS

Para realizar este trabalho o software utilizado para analisar os dados foi o Quantum GIS (QGIS) e com base nele, realizou-se a sistematização das informações (fatores) em três planos (Altitude, Declividade e uso ocupação do solo). Estes planos foram considerados, uma vez que os mesmos representam os elementos com maior importância em uma análise de risco à alagamento.

3.1.1 Dados SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

O mapa de declividade foi elaborado por meio de dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) que é uma missão de Sensoriamento Remoto realizada pela NASA em fevereiro de 2000.

Assim o mapa de altitudes elaborado e o mapa de uso e ocupação do solo/cobertura vegetal foi desenvolvido através da geração de arquivos vetoriais poligonais para representar as classificações do local, através da interpretação dos dados contidos no shapefile.

O objetivo do SRTM foi obter dados de elevação precisos em uma escala global da superfície terrestre, e a tecnologia utilizada na missão SRTM foi um radar de abertura sintética (SAR - Synthetic Aperture Radar) embarcado a bordo do ônibus espacial Endeavour. Esse radar emitia pulsos de micro-ondas e registrava o tempo necessário para esses pulsos retornarem à antena do radar. Com base nessa informação, foi possível medir as variações de elevação do terreno com uma precisão desejada para o projeto SRTM.

A cobertura global do SRTM cobriu quase toda a superfície terrestre entre as latitudes 60° Norte e 56° Sul. Isso incluiu áreas montanhosas, planícies, oceanos, desertos e outras regiões geográficas. A cobertura incluiu tanto áreas urbanas quanto áreas rurais, permitindo uma ampla gama de aplicações em diferentes campos.

A dados produzidos pela project SRTM tem uma resolução espacial de 90 metros para grande parte da superfície terrestre. No entanto, em algumas áreas específicas, em especial

nos Estados Unidos, foram gerados dados com resolução de 30 metros. Quanto à resolução vertical, os dados SRTM possuem uma precisão de cerca de 16 metros.

Em

Os arquivos utilizados no desenvolvimento desse projeto são os descritos a seguir:

Tabela 1 – Descrição dos arquivos utilizados

Arquivo	Descrição	Fonte
11S57_SN 11S555_SN	Declividade	http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata .
11S57_ZN 11S555ZN	Altitude	http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata .
brasil_solos_5m_20201104	Solos	http://geoinfo.cnps.embrapa.br/documents/3493
AU_2022_AreasUrbanizadas2019_Brasil	Intensidade de Áreas Urbanizadas	https://geofp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_muni

3.1.2 Área de Estudo

A área de estudo deste projeto é a área urbana do município de Sinop/MT, que tem aproximadamente 69,67 km², e possui uma altitude média de 380m, localizada no bioma amazônico (IBGE, 2019).

O município está localizado em uma região equatorial (quente e úmido) com temperatura média de 25°C. O regime pluviométrico da Região tem uma média anual de 2.500 mm e destaca - se por duas estações distintas: as chuvas, em que o regime pluviométrico atinge o seu pico entre os meses de janeiro e março, e a estiagem, em que a precipitação é mais baixa entre os meses de junho e agosto. (SEPLAN, 2007).



Ilustração 2-Alagamento em Sinop 2023.

Fonte:(<https://www.sonoticias.com.br/geral/chuva-com-ventos-forte-em-sinop-voltam-a-alagar-avenidas-e-ruas/>)

Sinop está quase totalmente centrada na Unidade Geomorfológica do Planalto Parecis, que apresenta uma região de relevo levemente ondulado com pouca variação de altitude, (MELO e FRANCO, 1980). A importância conjunta da unidade Planalto dos Parecis, que ocupa a maior parte do município, se distingue pela presença de duas formações soterradas distintas, Salto das Nuvens e Utiariti, do Grupo Parecis. Estas feições formam uma vasta superfície composta por relevos dissecados. Esta região tem solo predominantemente Latossolo, com presença de gleissolo e plintossolo, como pode ser verificado na figura 03, com a composição dos solos do município de Sinop e seu entorno.

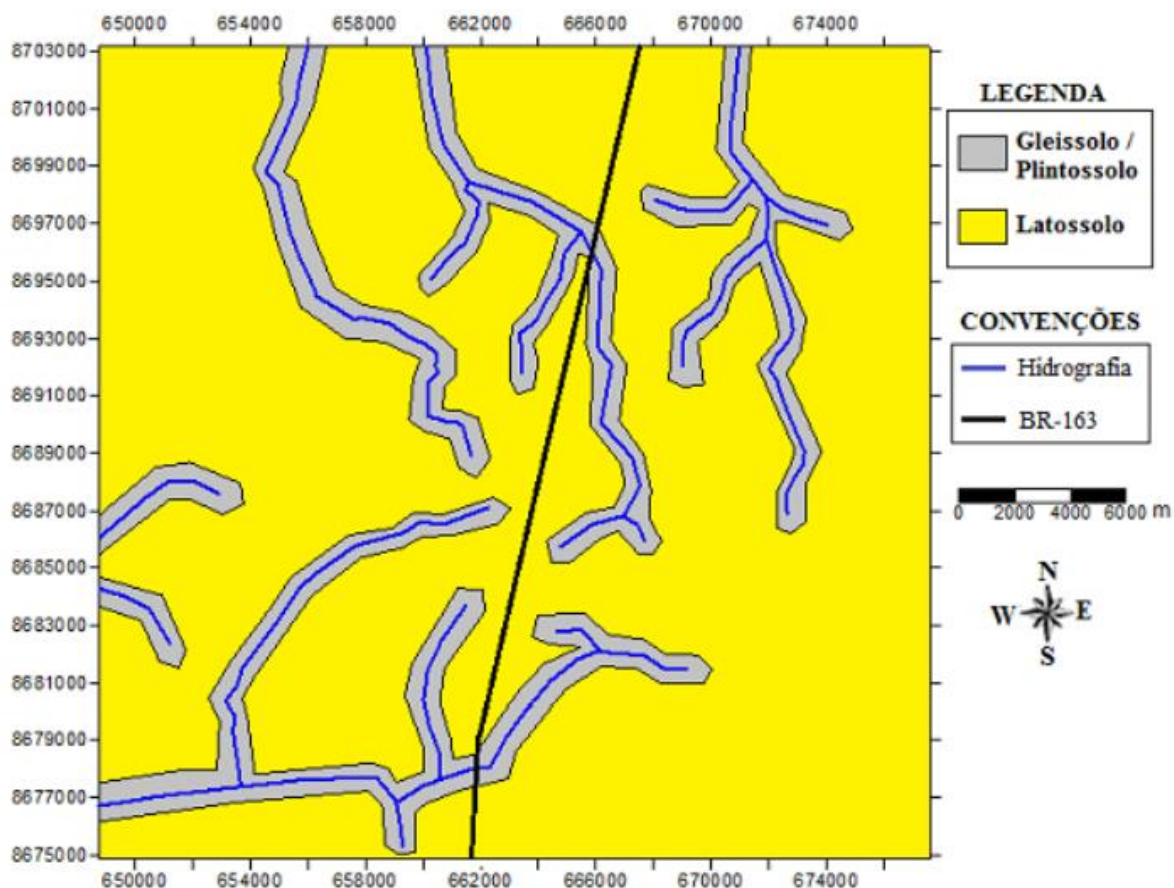


Ilustração 3 - Mapa pedológico da cidade de Sinop e entorno (2014).

FONTE: FINEP (2014)

3.2 MÉTODO PROPOSTO

O método proposto neste trabalho é baseado em um processo de realização da pesquisa racional e sistemática, que como o próprio nome sugere, é uma abordagem metodológica de investigação que segue um processo lógico e estruturado para obter resultados confiáveis e válidos aos problemas propostos (Gil, 2002, p. 17). Quanto a natureza, do projeto, esta é uma pesquisa aplicada, uma vez que o conhecimento gerado pode ser aplicado a um problema prático. Segundo Martins e Coelho (2014) o Método Multicritério à decisão adapta-se a situações em que os dados relativos a um problema de decisão podem ser avaliados, tanto quantitativa como qualitativamente, característica do Método AHP.

Com o problema definido, e a fim de tomar a decisão de forma organizada para gerar as prioridades de decisão será decomposta nas seguintes etapas:

3.2.1 Hierarquias de Critérios

Esta etapa é constituída pela criação da hierarquia de critérios e alternativas, ou seja, é a construção de uma estrutura hierárquica do problema de decisão. Nesta etapa atribui-se valores de importância relativa para cada critério ou alternativa na hierarquia, usando a escala de comparação pareada de 1 a 9. Essa escala é usada para comparar a importância relativa de cada elemento em relação a outro elemento na mesma camada da hierarquia.

Nesse sentido serão construídas as tabelas de peso para os itens de altitude, declividade, índice de urbanização e fator solo, que são os elementos que compõe a construção do método AHP nesse projeto.

3.2.2 Altitude

Na metodologia proposta utiliza a diferença de nível da altitude para ponderar as notas em diferentes altitudes. Esses pesos podem ser verificados utilizando como base a tabela 5, como padrão, onde é adotada como nível 0 (zero) sua menor altitude.

Tabela 2-Notas estabelecidas para altitudes segundo MANTIS.

Níveis (m)	Nota
0-5	10
5-10	7
10-15	5
15-30	3
30-50	2
50-108	1

Fonte: MANTIS et. al 2019

Considerando o caso de Sinop, que tem altitude inicial de 316m, a ponderação estabelecida pode ser apresentada na tabela 6 a seguir.

Tabela 3-Notas estabelecidas de altitudes para o município de Sinop-MT.

Altitude	
Conta Zero	316m
Níveis	Nota
0-5	10
5-25	9

25-35	8
35-45	7
45-48	6
48-51	5
51-54	4
54-57	3
57-60	2
60-100	1

Fonte: Autor 2023

Estruturando os dados de altitude com base na variação e uma adição de metragem a cada uma das cotas, utilizando a cota inicial e sua respectiva ponderação para o caso de Sinop, pode-se determinar as cotas com respectivos pesos apresentados na tabela 7 a seguir.

Tabela 4-Valor correspondente.

Altitude		
Cota inicial: 316m		
Cotas Adicionadas a cada altitude (m)	Nota	Cota Real
5	10	321
20	9	341
10	8	351
10	7	361
3	6	364
3	5	367
3	4	370
3	3	373
3	2	376
3	1	379

Fonte: Autor 2023

Para a aplicação das notas na região de Sinop relacionadas a altitude, houve uma diferença notável (Tabela 5 e Tabela 6) nos níveis a serem utilizados a cada etapa de nota, isso devido a região ser considerada como relevo plano, demonstrando a necessidade de um conhecimento empírico das regiões onde a pouca amplitude entre altitudes na bacia.

Nota-se que as diferenças de cotas são menores que a resolução das imagens SRTM, onde devido a sua grande escala, os dados de elevação se comportam de forma semelhante a uma distribuição normal, o que permite a validação dos dados de entrada.

ALTITUDE

MUNICÍPIO DE SINOP

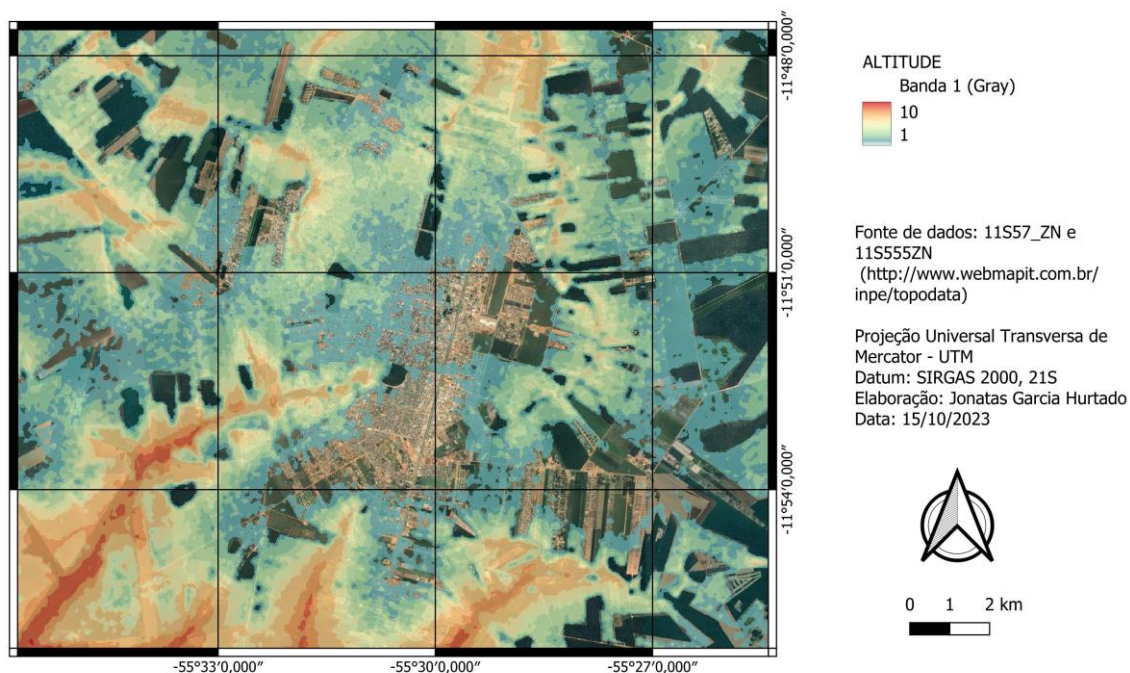


Ilustração 4-Mapa altimétrico da área urbana de Sinop-MT (Cores quentes pontos baixos).

Fonte: AUTOR (2023)

3.2.3 Declividade

As notas utilizadas na metodologia para declividade foram aplicadas conforme sua inclinação, computado como um percentual (%), com valores dispostos segundo seu risco a alagamentos, utilizando o padrão definido conforme Borges, et al. (2015).

Tabela 5-Notas estabelecidas para declividade

Declividade (%)	Nota
0-3 (plano)	10
3-8 (suave ondulado)	9
8-20 (ondulado)	5
20-45 (forte ondulado)	3
45-75 (montanhoso)	1

200-250 (escarpado)	1
---------------------	---

Fonte: Borges et al, 2015

Aplicando esses valores no município de Sinop, é possível construir com base no mapa altimétrico e seu percentual de declividade uma estimativa de locais em que essa ponderação terá um efeito mais expressivo no trabalho em questão, como mostra e figura 05 a seguir.

Sinop por se encontrar em uma região plana tem pouca variação de declividade, com uma média próxima a 5%.

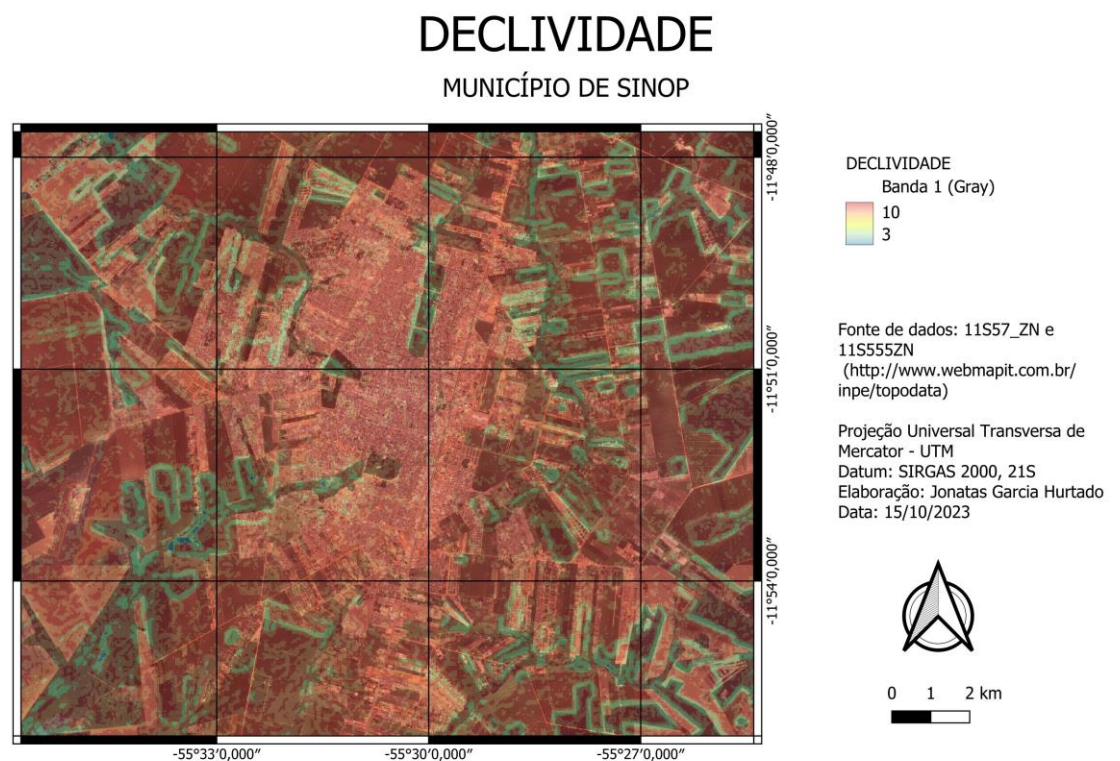


Ilustração 5-Mapa de declividade da área urbana de Sinop-MT (Cores quentes pontos baixos).

Fonte: AUTOR (2023)

3.2.4 Índice de Urbanização

Segundo Martins (2019), as hierarquias de notas para uso e ocupação do solo, conforme tabela 9, têm como principal determinante a característica de impermeabilização que o uso e ocupação do solo oferecem quanto à presença de água em uma dinâmica de bacias ou sub-bacias hidrográficas.

Tabela 6- Notas estabelecidas para a intensidade da urbanização.

Densidade de Ocupação	Nota
Muito Urbanizado	8
Pouco Urbanizado	6
Sem Ocupação	3

Fonte: Autor

Aplicando as notas da tabela 9 para o município de Sinop, pode-se construir um mapa que indica através de níveis de cores quentes a intensidade de urbanização na área em questão.

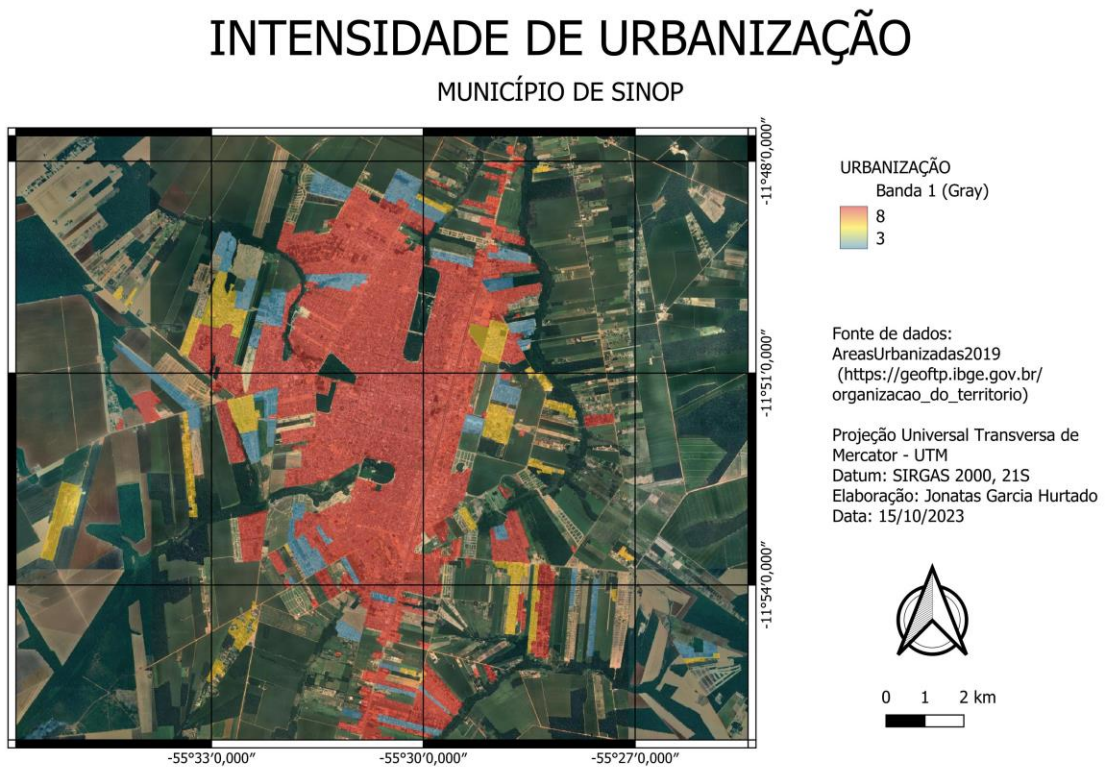


Ilustração 6-Mapa do índice urbana de Sinop-MT (Cores quentes pontos mais urbanizados).

Fonte: AUTOR (2023)

3.2.5 Fator Solo

Os tipos de solos dominantes na região de Sinop são os Latossolos Vermelho - Amarelos distróficos (Figura 6), que ocupam aproximadamente 85% da área, motivo pelo qual o mapa abaixo apresenta cor única, destacando a presença de um único solo. Segundo

Oliveira et al. (1982), também são encontrados Gleissolos e Plintossolos no entorno dos leitos de drenagem, que representam apenas 15% do total (FINEP, 2014). Para atribuição de notas de risco de alagamentos para os solos, utilizou-se os seguintes critérios, indicados na tabela 10 a seguir:

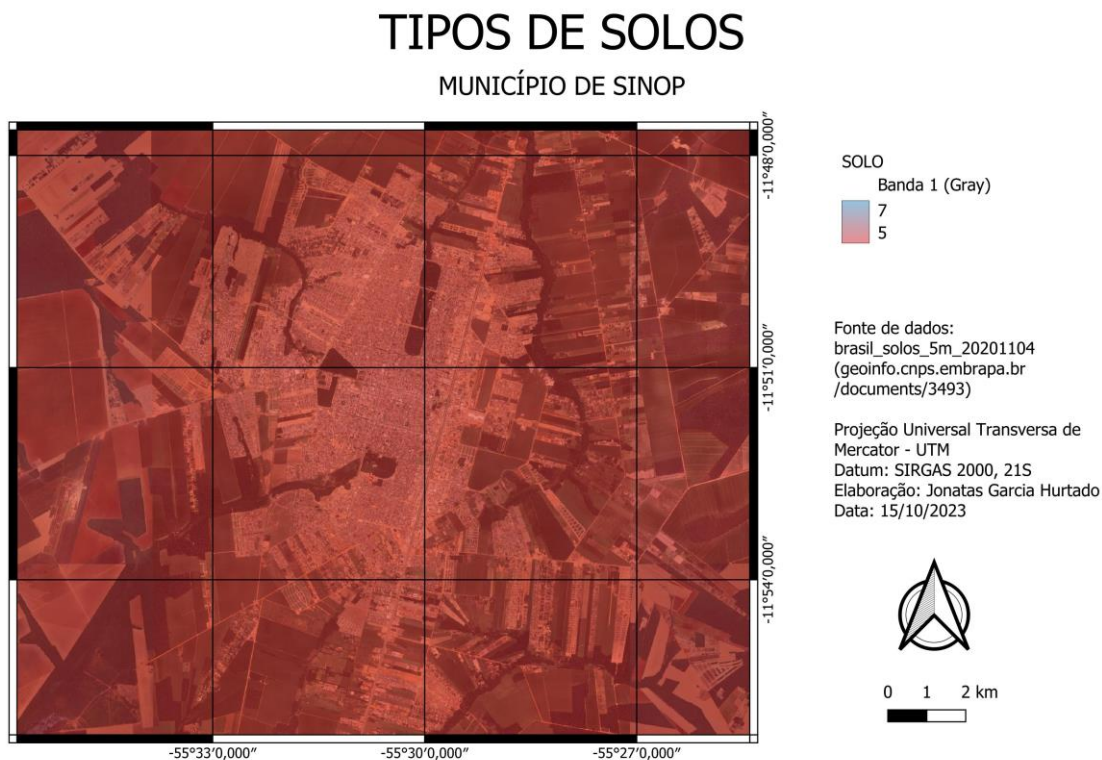


Ilustração 7 -Mapa dos solos presentes em Sinop (O município tem um único solo predominante).

FONTE: AUTOR (2023)

Tabela 7 – Notas estabelecidas para o tipo de solo.

Tipo de Solo	Nota
Gleissolos	9
Latosolos	7
Neossolos	5
Espodossolos	5
Cambissolos	3

Fonte : Autor

3.2.6 Determinação dos Pesos

Com as escalas de prioridades relativas aos critérios e alternativas, utilizou-se as comparações pareadas, em que os fatores são confrontados entre si por meio de uma matriz de

comparação e ajustados de acordo com as características da região. Dessa forma a hierarquização trará uma segurança nos resultados, conforme a importância de cada característica no que diz respeito a alagamento, buscando representar de forma precisa as condições físicas encontradas na área de estudo.

Tabela 8-Matriz de comparação pareada

FATORES	DECLIVIDADE	ÁREA URBANA	SOLO	ALTITUDE	SOMATÓRIA DAS LINHAS (W _n)
DECLIVIDADE	1	3	7	3	14
ÁREA URBANA	0,333	1,000	3,000	3,000	7,333
SOLO	0,143	0,333	1,000	0,333	1,810
ALTITUDE	0,333	0,333	3,000	1,000	4,667
					ΣW_n 27,809

Fonte: Autor

Com a comparação realizada, pode-se calcular o autovetor da matriz que é o peso atribuído ao plano, transposto o percentual para uma escala de 0 a 1, por meio da equação 4 a seguir:

Equação 1

$$P = \frac{W_n}{\Sigma W_n}$$

Onde:

W_n= Somatória da linha do elemento n

ΣW_n= Somatória de todas as linhas de todos

A partir da equação 4, chegamos aos seguintes valores de Peso, que devem ser atribuídos a cada critério.

Fator	Peso
DECLIVIDADE	0,503425
ÁREA URBANA	0,263699
SOLO	0,065068
ALTITUDE	0,167808

3.2.7 Teste de Consistência

A eficácia do método AHP depende do julgamento de seus aplicadores, onde tomada de decisões equivocadas podem comprometer o estudo. A fim de garantir a consistência dos pesos aplicados para cada fator utilizamos a equação 2 (Taxa de Consistência), determinada por Saaty, 1991.

$$\text{Equação 2}$$
$$RC = \left(\frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \right) / IR$$

n: Ordem da matriz

λ_{max} : Média de a_{ij} (Eq. 5)

IR= Índice Randômico (Tab. 3)

Onde λ_{max} é a média do produto vetorial das duas matrizes (Nota das comparações pareadas e Peso), descrita pela seguinte equação:

$$\text{Equação 5}$$
$$\lambda_{max} = \frac{\sum \lambda}{n}$$

n: Ordem da matriz

λ : Relação entre peso e produto vetorial a_{ij} (Nota das comparações pareadas e Peso) Equação 6:

$$\text{Equação 6}$$
$$\lambda = \frac{Peso}{a_{ij}}$$

Peso: Peso do fator

a_{ij} : Produto vetorial a_{ij} (Nota das comparações pareadas) (Equação 7)

$$\text{Equação 7}$$
$$a_{ij} = \sum_{k=1}^n b_{ik} c_{ik}$$

Onde:

I = o número de linhas

j= o número de colunas

b e c= Matrizes do produto

Assim é possível realizarmos a verificação da consistência das comparações, também conhecida como taxa de consistência. O valor da Rasa de Consistência (RC) se demonstrou satisfatório (RC=0,071), seguindo os critérios proposto por Saaty, que determina que para o modelo ser aceito é necessário $RC < 0,1$. Conforme a tabela 9:

Tabela 9-Peso dos fatores

Fator	Peso (eq. 4)	n	Produto Vetorial (equação 5)	Lambda	Lambda Max	IC	IR	RC
DECLIVIDADE	0,503425	4	2,253	4,47619	4,191	0,063731	0,89	0,071608
ÁREA URBANA	0,263699		1,130	4,285714				
SOLO	0,065068		0,280	4,315789				
ALTITUDE	0,167808		0,618	3,687075				

A partir da verificação do RC como critério de aceite para o método, podemos executar a equação de suscetibilidade a alagamentos com base nos pesos e nas notas dos fatores aplicados na matriz de comparação, assim será possível utilizar a fórmula AHP para fazer a modelagem matemática da suscetibilidade das áreas à alagamentos utilizando a escala de Saaty e Vargas (1991), confrontando os pesos de cada fator, através da ferramenta “Calculadora Raster”, disponível no Software Qgis 3.10, como demonstrado na ilustração 7.

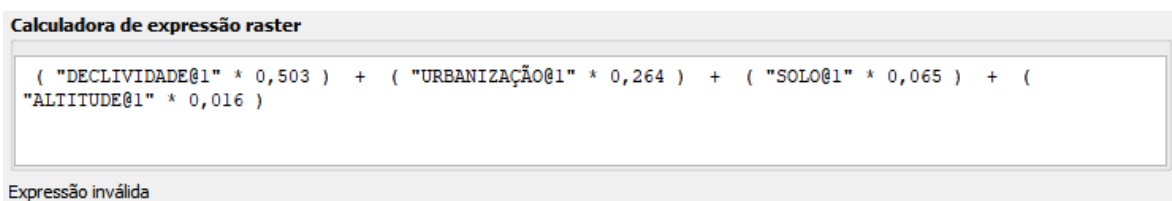


Ilustração 8 -Aplicação da fórmula de áreas suscetíveis a alagamentos na ferramenta “Calculadora Raster”.

Fonte: AUTOR (2023)

*Risco Alagamento*_{sinop}

$$= (Declividade * 0,503) + (urbanização * 0,264) + (Solo * 0,065)7$$

7

$$+(Altitude * 0,016)$$

4 DISCUSSÃO

Os resultados podem ser considerados satisfatórios uma vez que a estratificação apresentada por cores, para representar o grau de probabilidade de locais que sofrerem com alagamentos (mapa de calor), coincidiu com as áreas comumente alagadas no município. Devido o município estar localizado em uma região de Planalto, sua declividade média está em torno de 5%, facilitando áreas dispersas de alagamentos e não se restringindo a uma única região.

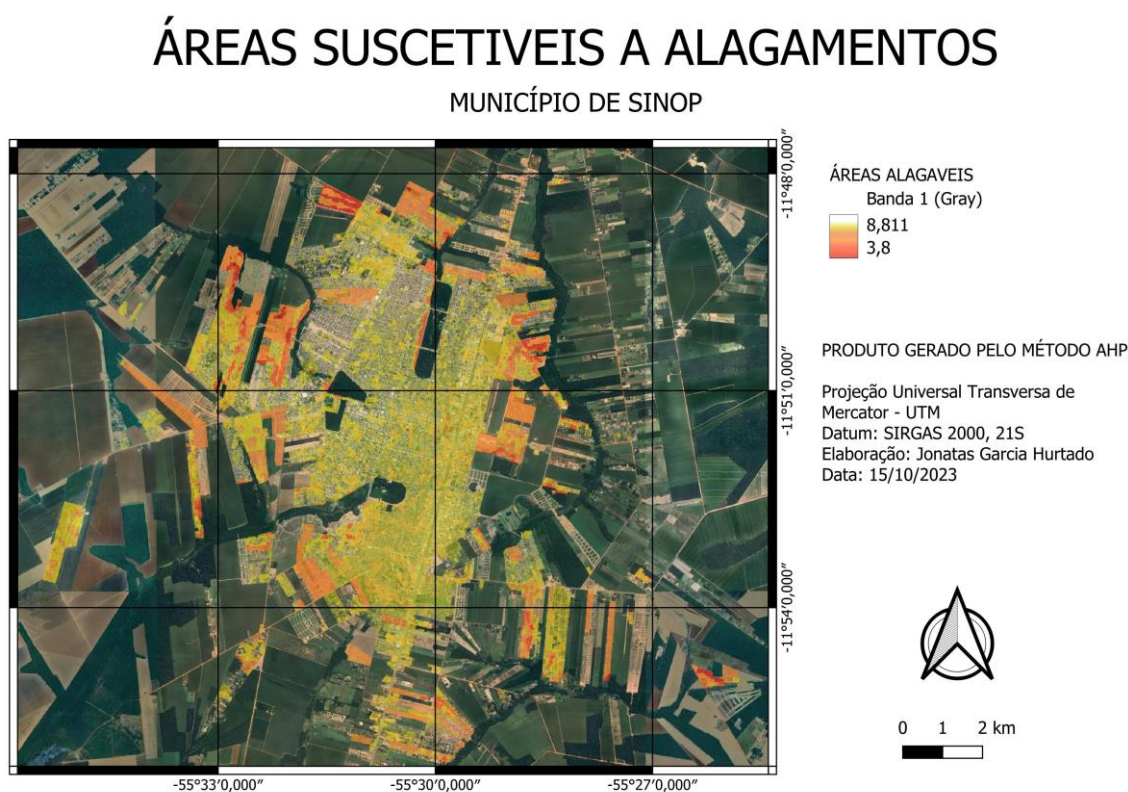


Ilustração 9-Mapa Gerado a partir da formula aplicada na imagem 8 (Mapa de áreas urbanas suscetíveis a alagamentos no município de Sinop-MT).

Fonte: AUTOR (2023)

A região do Centro-Oeste, especificamente a região de Mato Grosso, demonstrou ter poucos bancos de dados gratuitos referente a captura espaciais ou dados desatualizados, quando comparado com o estado de São Paulo por exemplo. Isso causa limitações a estudos, gerando pontos que pode não corresponder à realidade.

Ainda assim a metodologia proposta é de baixo custo, e utiliza softwares e banco de dados gratuitos, com informações públicas e disponível em SIG de código aberto, facilitando que instituições e municípios com recursos limitados tenham acesso a ferramenta, que

auxiliará órgãos na tomada de decisões baseada em dados sólidos. Ao tornar essas informações acessíveis ao público, as comunidades podem se tornar mais conscientes dos riscos de alagamentos em suas áreas e adotar medidas de precaução.

Outra vantagem dessa metodologia é que por utilizar fonte dados e ferramentas gratuitas ela pode ser replicada em diferentes regiões, podendo também ser integrada a outros estudos multidisciplinares, o que possibilitará a compreensão de outros fatores que contribuem para os alagamentos na região.

O estudo se demonstra mais preciso com a utilização de dados atualizados principalmente no que se refere a topografia e uso do terreno. Para uma excelência do estudo a entrada de dados com informações atualizadas são fundamentais para podendo ser acrescentado ao estudo como a utilização de ferramentas do tipo drone e estação total que podem trazer mais precisão ao estudo.

Os resultados primários deste estudo permitem uma comparação previa com áreas comumente alagadas e de conhecimento empírico do morador de Sinop, como a região da Av. das Itaúbas e Av. Júlio Campos (Ilustração 9).

O mapa produzido a seguir mostra que a aplicação da metodologia gera regiões que coincidem com as regiões já conhecidas no município.

REGIÃO DE CRUZAMENTO ENTRE AV. JULIO CAMPOS E AV. DAS ITAÚBAS

MUNICÍPIO DE SINOP

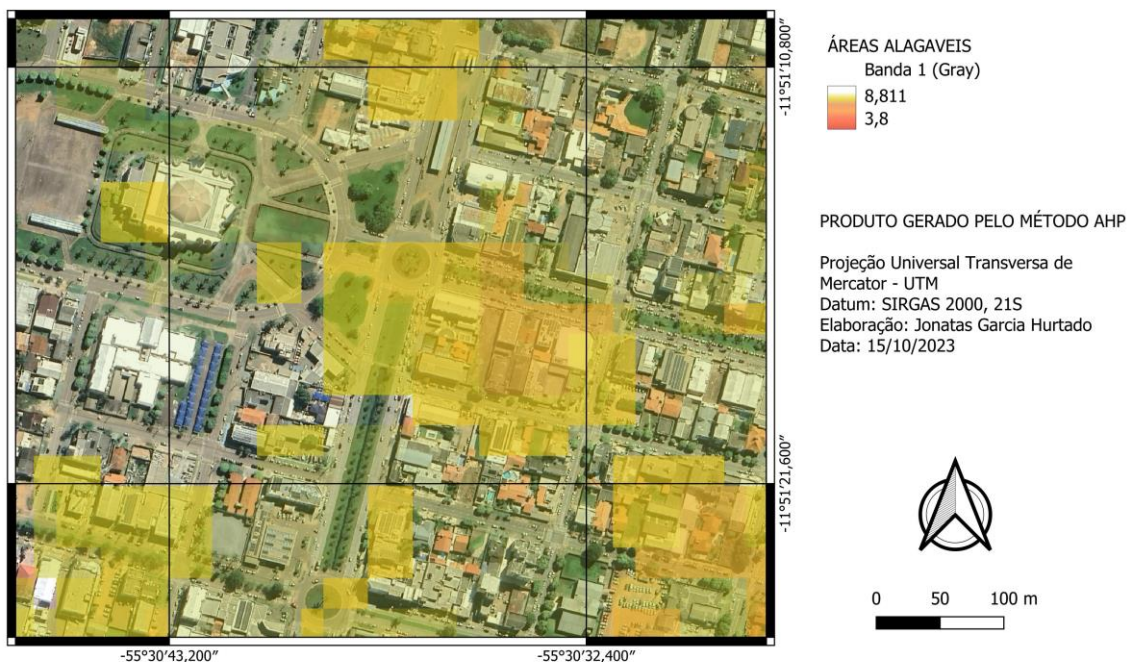


Ilustração 10-Mapa de região da Av das Itaúbas com Av. Julio Campos.

Fonte: AUTOR (2023)

Outro exemplo de uma região crítica, com registros de alagamentos é próximo a praça Plinio Callegario, também na Av. Júlio Campos, mas em sua região central, esquina com a Av. das Acácias.

PRAÇA PLINIO CALLEGARO - AV. JÚLIO CAMPOS

MUNICÍPIO DE SINOP

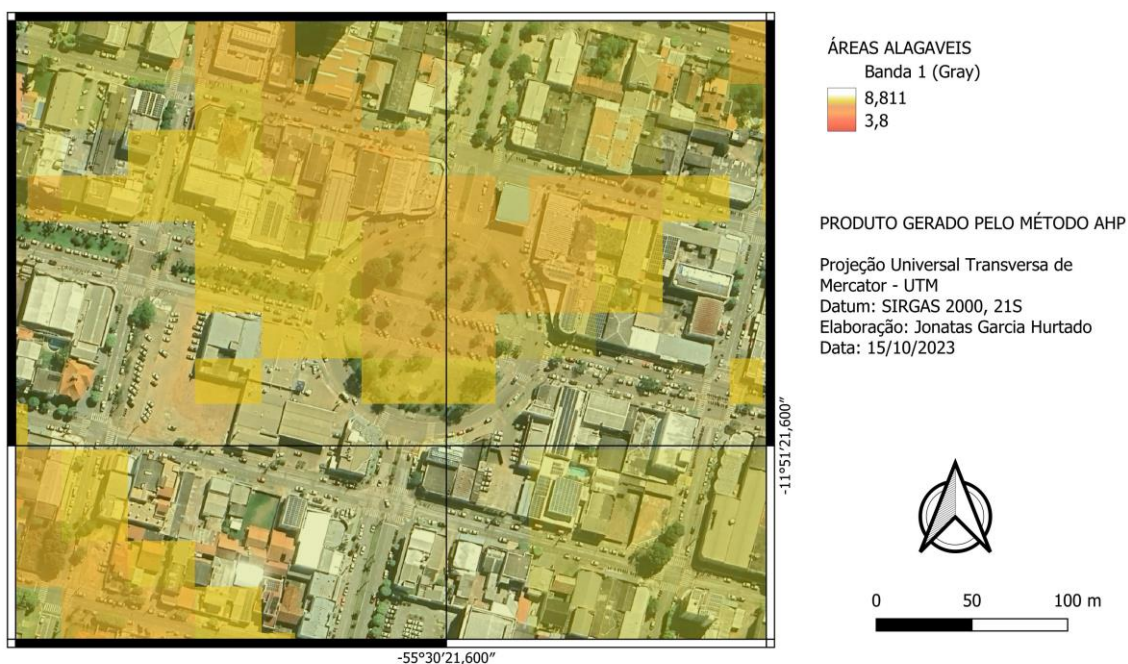


Ilustração 11 -Mapa de região da praça Plinio Callegario.

Fonte: AUTOR (2023)

Ao decorrer do estudo foram analisados outros fatores que podem influenciar em pontos de alagamentos, como a existência ou não de bueiros, ou outros tipos de drenagem existentes, que por critérios de segurança, não foram adotados na geração deste mapa. O objetivo de não levar em consideração a existência de bueiros, se fez necessário pois para que sua eficácia seja real, tais bueiros devem estar desobstruídos, em boa qualidade e contemplando todos os parâmetros para uma drenagem eficiente, caso esses critérios não convergirem com a realidade, isso seria um possível fator de interferência no real resultado.

Com a utilização do mapa de regiões suscetíveis a alagamentos de municípios, a tomada de decisão de serviços a serem prestados na região podem ser baseadas em soluções que auxiliem a drenagem natural das áreas indicadas pelo mapa, tais como a limpeza e manutenção do sistema de drenagem de áreas específicas, plantio de árvores e vegetação, instalação de pavimentos permeáveis em calçadas ou vias, criação de áreas verdes, melhoria no sistema de coleta de lixo de bairros mais afetados, além da educação ambiental.

5 CONCLUSÃO

A metodologia proposta nesse trabalho com ferramentas gratuitas para a geração de mapas de áreas suscetíveis a alagamento se demonstrou eficaz e concretizou zonas centrais onde acontecem alagamentos anualmente, regiões conhecidas como a Avenida Júlio Campos, próximo a catedral, e na praça Plínio Callegaro, foram apontadas como áreas alagáveis segundo o mapa gerado.

A região do estudo compreende exclusivamente à área urbana do município, com aproximadamente 70 km² e demonstrou que boa parte de sua área tem probabilidade de baixa à média para a ocorrência de inundação, isto se deve a sua pouca variação de altitude. As variações de altitude a serem empregadas no estudo tem como base sua topografia, Sinop por se localizar em uma região plana, existe pouca variação na altitude, bem como os pesos empregados a esses atributos do método empregado.

A ferramenta se demonstrou fundamental para auxílio da tomada de decisões principalmente para regiões com poucos recursos financeiros, o produto desta pesquisa permite que os governos locais gerenciem o crescimento urbano de forma eficaz e sustentável. Com a ajuda de um mapa, como o proposto nesse trabalho, indicando os pontos suscetíveis a alagamentos, os interessados podem identificar áreas de risco, planejar o uso do solo, estimular o desenvolvimento econômico e aumentar a transparência e a participação dos cidadãos no processo de tomada de decisão. Este mapa pode ser ainda mais preciso com a incorporação de dados coletados em campo ou atualizados através de SIG, podendo receber novos conjuntos de dados temporais para integrar ao conjunto de dados existente.

Além disso, um mapa de zoneamento, respaldado pelo mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos, com dados atualizados de diferentes fontes pode garantir que o crescimento urbano ocorra de forma ordenada e planejada, evitando problemas sociais, ambientais e econômicos a longo prazo. Portanto, é essencial que os governos locais invistam em um mapa de zoneamento preciso e atualizado para garantir o desenvolvimento sustentável de suas cidades.

Este estudo teve como foco apenas regiões urbanas do município, com possibilidade de expansão para áreas rurais, a fim de determinar quais regiões tendem ao acúmulo de água, determinando assim se essas áreas precisam de drenos ou ações paliativas.

No Mato Grosso municípios que tem como fomento financeiro o agronegócio desenvolvem um crescimento urbano acelerado, devido seu giro de recursos financeiros e

oportunidades de emprego, gerando também uma especulação imobiliária, onde por muitas vezes por falta de estudo, acaba-se comercializando áreas propensas a fenômenos naturais.

Ao utilizar o método para mapear as áreas que são suscetíveis a alagamentos, é possível adotar medidas preventivas, como a restrição de construções em áreas de risco, a implementação de sistemas de drenagem eficientes e a criação de áreas verdes para absorção de água. Essas medidas podem minimizar os danos causados pelos alagamentos e garantir a segurança e qualidade de vida da população local. Além disso, conhecer as áreas que alagam no futuro também é fundamental para a gestão de crises e desastres naturais. Com esse conhecimento, é possível realizar evacuações preventivas e adotar medidas emergenciais, como a remoção de pessoas em situação de risco e o direcionamento de recursos para a assistência às vítimas.

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) se demonstra preciso para tomar decisões em situações complexas, como a gestão de alagamentos. Esse método permitiu ponderar diversos critérios e subcritérios que influenciam na tomada de decisão, a fim de se chegar a uma escolha mais acertada.

Com base nos parâmetros levantados e seu processamento neste estudo, é possível relacionar características até então isoladas, principalmente em relação a superfície da área de estudo através da tecnologia GIS, e, dessa forma, com a aplicação da metodologia AHP passou a se possível gerar um mapa das regiões suscetíveis a alagamentos.

O GIS também permite a criação de mapas de risco, que mostram as áreas que têm maior probabilidade de sofrer danos em caso de alagamentos, como regiões com grande concentração de população e infraestrutura, esses mapas são comumente usados para orientar o planejamento urbano e a tomada de decisão em situações de emergência, além de compartilhar informações de forma rápida e eficiente com as autoridades locais.

A identificação das regiões suscetíveis a alagamentos é um passo importante para o planejamento urbano sustentável e para a redução de riscos de desastres naturais, garantindo a segurança e qualidade de vida da população local e a proteção do meio ambiente.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Pollyana Aparecida. Gênese e desenvolvimento da cidade de Sinop e a relação com as atividades econômicas. *Revista Equador (UFPI)*, Vol. 9, nº 1, 2017.

AMEN, M.A.R.; Mustafa, A.; Kareem, D.A.; Hameed, H.M.; Mirza, A.A.; Szydłowski, M.; M. Saleem, B.K. Mapping of Flood-Prone Areas Utilizing GIS Techniques and Remote Sensing: A Case Study of Duhok, Kurdistan Region of Iraq. *Remote Sens.* 2023, 15, 1102. <https://doi.org/10.3390/rs15041102>

BEDIENT, Philip B.; HUBER, Wayne C.; VIEUX, Baxter E. Hydrology and Floodplain Analysis. *Modelling*, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.

BRAGA, Júlia Oliveira. Alagamentos e inundações em áreas urbanas: estudo de caso na cidade de Santa Maria – DF. Brasília, 2016. 33 páginas. Monografia de graduação (Disciplina Prática e Pesquisa de Campo 2), - Departamento de Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade de Brasília.a

BRASIL, Ministerio da Integração Nacional de Defesa Civil. Banco de Dados e registros de desastres: sistema integrado de informações sobre desastres – S2ID, 2013

BORGES, M.P.; CRUIVINEL, A.S.; FLORES, W.M.F.; BARBOSA, G.R. Utilização de técnicas de geoprocessamento para a elaboração de cotas de inundações: estudo de caso do parque ecológico do rio Paranaíba. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR XVII, João Pessoa, 2015, pp. 5897-5903.

CABRERA, J.S.; Lee, H.S. Flood risk assessment for Davao Oriental in the Philippines using geographic information system-based multi-criteria analysis and the maximum entropy model. *J. Flood Risk Manag.* 2020, 13, e12607.

CHARLTON, R.; Fealy, R.; Moore, S.; Sweeney, J.; Murphy, C. Assessing the impact of climate change on water supply and flood hazard in Ireland using statistical downscaling and hydrological modelling techniques. *Clim. Chang.* 2006, 74, 475–491.

CHRISMAN, N. R. Exploring Geographic Information Systems. In: *Exploring Geographic Information Systems*, Capítulo 2, pp. 19-25. John Wiley & Sons, 2012.

CORTE, ACD. Balanço hídrico em bacia urbana. 88p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Tecnologia - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. *Applied Hydrology*. 1ª edição. McGraw-Hill Education, 1988.

DAMO, K. B. Expansão de Sinop e o mercado imobiliário. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, v. 05, n. 34, ISSN 2318-8472, 2017.

DAS, S. Geographic information system and AHP-based flood hazard zonation of Vaitarna basin, Maharashtra, India. Arab. J. Geosci. 2018, 11, 1–13.

DIAS, J. E.; GOES, M. H. B.; SILVA, J. X.; GOMES, O. V. O. Geoprocessamento aplicado à análise ambiental: O caso do município de Volta Redonda-RJ. In: Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 6 ed., 2012, pp. 145-176.

FEARNSIDE, P. M. "Human Carrying Capacity of the Brazilian Rainforest." Columbia University Press, 1986.

FINEP. Avaliação de métodos de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos, na cidade de Sinop, MT e desenvolvimento de um novo método de vulnerabilidade. Relatório Técnico. MCTI – Ministério da ciência, tecnologia e informação. Brasil. Ano: 2014.

FILHO, Carlos F.M. Microdrenagem. Capítulo I: Sistema de Drenagem Pluvial.* Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/sanemanto/dre01.html>>. Acesso em 1 de mar. 2020.

HORA, S.B.; GOMES, R.L. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do rio cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA. Sociedade & Natureza, v. 21, n. 2, 2009, pp. 57-75.

JHA, A.; LAMOND, J.; PROVERBS, D.; BHATTACHARYA-MIS, N.; LOPEZ, A.; PAPACHRISTODOULOU, N.; A. BIRD.; BLOCH, R.; J. DAVIES.; R. BARKER. Cities and Flooding: A guide to integrated urban flood risk management for the 21st Century. 2012.

MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International Journal of Geographical Information Science, v. 20, n. 7, p. 703-26, 2006.

MAGALHÃES, I.L; THIAGO, C.R.; AGRIZZI, D.V.; SANTOS, A.R. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaqu , ES: uma análise comparativa entre dois métodos. Cadernos de Geociências, v. 8, n. 2, 2011.

MANTIS, A. B.; VAZ, J. A. Mapeamento de áreas de risco de alagamento do município de Guarujá-SP utilizando método de análise hierárquica.

MANTOVANI, J. R.; BACANI, V. M. Uma proposta metodológica de mapeamento de áreas suscetíveis a inundação e alagamentos na bacia hidrográfica do córrego Indaia-MS. Geosp – Espaço e Tempo (online), v.22, n.3, p.687-706, ISSN 2179-0892, 2018.

MACHADO, E. P., GOMES, L. F. A. M., & CHAUVEL, M. A. Avaliação de estratégias em marketing de serviç os: um enfoque multicritério. Revista de Administração Mackenzie (Mackenzie Management Review), v. 4, n. 2, 2008.

MARTINS, F. G. & COELHO, L. S. Aplicação do método de análise hierárquica do processo para o planejamento de ordens de manutenção em duto e vias. Revista GEPROS, v. 1, p. 65-

MIRANDA, J.I. Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas. Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica, 2005.

NETO, Cardoso A. Sistemas Urbanos de Drenagem: apostila. 19 p. 2008. Disponível em: <ftp://ftp.cefetes.br/cursos/transportes/Zorzal/Drenage%20Urbana/Apostila%20de%20drenag em%20urbana%20do%20prof%20Cardoso%20Neto.pdf>. Acesso em abril de 2017.

LOUCKS, D. P.; VAN BEEK, E.; STEDINGER, J. R.; DIJKMAN, J. Water Resource Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models, and Applications, Springer, 2005.

KAHRAMAN, C., CEBECI, U., & RUAN, D. Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: The case of Turkey. International Journal Production Economics, 87, 171–184, 2004.

RAMOS, Y. S.; RÊGO, S. C. A.; RIBEIRO, G. N.; PEDROZA, J. P.; BARROS, D.F. Integração Geoprocessamento SIG na identificação de áreas suscetíveis à inundação. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 7, n. 5, p. 91-95, 2013.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. International Journal Services Sciences, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SAATY, T.L. A scaling method form priorities in hierarquical structures, Journal of Mathematical Psychology, v. 15, n 3, 234-281 pp., 1977.

SAATY, R. W. The Analytic Hierarchy Process - What it is and how it is used. Mathematical
SANTOS, K. A; RUFINO, I. A. A; BARROS FILHO, M. N. M. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande – PB.

SINGH, V. P. Hydroclimatology: Perspectives and Applications. Cambridge University Press, 2007.

SILVA, N. R. O geoprocessamento da identificação dos pontos de alagamentos (...), Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities reserh médium, Ituiutaba, v. 9, n. 1, p. 134, jun./2018.

TEHRANY, M.S.; Pradhan, B.; Jebur, M.N. Spatial prediction of flood susceptible areas using rule based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS. J. Hydrol. 2013, 504, 69–79.

TUCCI, C. E. M. Gestão de Inundações Urbanas - Ministério das Cidades – Global Water Partnership - Wolrd Bank - Unesco. Ministério Público Federal, 2005.

TUCCI, C. E. M. Urban Drainage and Flood Control: Challenges and Opportunities. In World Environmental and Water Resources Congress. American Society of Civil Engineers (ASCE), 2007.

WATERS, Nigel. Fundamentals of Geographic Information Systems. *Geomatica*, vol. 59, no. 1, Mar. 2005, pp. 90+. Disponível em: <link.gale.com/apps/doc/A674712555/AONE?u=ufmt_br&sid=googleScholar&xid=1f69e3e0>. Acesso em 21/10/2023.