



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ELLEN MIRLEY MEDEIROS TORRES

**Avaliação de risco de inundação utilizando Sistemas de Informação Geográficas (SIG):
um estudo de caso na Ilha de Santa Luzia, em Mossoró/RN**

MOSSORÓ

2022

ELLEN MIRLEY MEDEIROS TORRES

**Avaliação de risco de inundação utilizando Sistemas de Informação Geográficas (SIG):
um estudo de caso na Ilha de Santa Luzia, em Mossoró/RN**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Rogério Taygra Vasconcelos Fernandes, Prof. Dr.

Co-orientador: Vinicius Navarro Varela Tinoco.

MOSSORÓ

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva

ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

T693a Torres, Ellen Mirley Medeiros.
Avaliação de risco de inundação utilizando
Sistemas de Informação Geográficas (SIG): um
estudo de caso na Ilha de Santa Luzia, em
Mossoró/RN / Ellen Mirley Medeiros Torres. - 2022.
68 f. : il.

Orientador: Rogério Taygra Vasconcelos
Fernandes.
Coorientador: Vinicius Navarro Varela Tinoco.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2022.

1. Geoprocessamento. 2. Vulnerabilidade. 3.
Ocupações de Risco. 4. Planejamento Urbano. 5.
Desastres Naturais. I. Fernandes, Rogério Taygra
Vasconcelos, orient. II. Tinoco, Vinicius Navarro
Varela, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com
AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas

da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ELLEN MIRLEY MEDEIROS TORRES

**Avaliação de risco de inundação utilizando Sistemas de Informação Geográficas (SIG):
um estudo de caso na Ilha de Santa Luzia, em Mossoró/RN**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 28 / 11 / 2022.

BANCA EXAMINADORA

Rogério Taygra Vasconcelos Fernandes, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Pedro David Rodrigues Lima, (Externo)
Membro Examinador

Daniela de Freitas Lima, Profa. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dá forças e sabedoria; por cuidar da minha vida, do meu coração e da minha mente; por me guiar e me ensinar que os planos dEle são os melhores para minha vida; por todas as oportunidades; por garantir que eu ficasse mais forte e fiel a cada obstáculo e por sempre estar comigo.

Aos meus pais, Mirtes e Eriosmar, que me incentivaram e me ensinaram o valor do conhecimento. Por acreditarem em mim e me darem todo o amor suporte possível para evoluir. Por serem o motivo do meu sucesso e a razão da minha vontade de crescer.

Ao meu único irmão, Eriosmar Filho, por me mostrar a importância de persistir, por acreditar em mim e me apoiar, por todo o afeto.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como instituição de acolhimento, que ofereceu todo o suporte necessário para efetivação do processo de aprendizagem e desenvolvimento da pesquisa.

Ao Núcleo de Pesquisa e Extensão Acesso à Terra Urbanizada e Projeto Regularização Fundiária Urbana das Unidades Habitacionais dos diversos municípios que compõem o estado do Rio Grande do Norte (REURB), por todo o suporte e incentivo à pesquisa, por todo o material.

Ao professor Dr. Almir Mariano de Sousa Junior, coordenador do Núcleo, por me acolher ao projeto e me incentivar à produção científica.

Ao meu orientador professor Dr. Rogério Taygra Vasconcelos Fernandes, pela orientação, discussão e suporte, por todo o conhecimento que foi passado, pela atenção a minha pesquisa, pelo apoio e por ter sido fundamental para a realização da pesquisa e para a minha carreira acadêmica.

Ao meu coorientador, Vinicius Navarro Varela Tinoco, por toda a orientação, pelo suporte e apoio para a realização da presente pesquisa.

A Pedro David e Daniela de Freitas, pelo apoio, por me incentivarem a pesquisa e por todo o cuidado para garantir uma boa execução do presente trabalho.

Aos meus professores, por todo o conhecimento, pela excelência e qualidade técnica de cada um.

Aos meus amigos e familiares, por sempre acreditarem em mim, por todas as palavras de apoio, por compreenderem meu esforço e torcerem pelo meu sucesso.

“Quando há expansão urbana sem limites, a natureza por si só, impõe os seus.”

Henrique Z. Hansmann.

RESUMO

Inundações urbanas são fenômenos recorrentes que ocorrem pelo extravasamento de águas do leito dos cursos d'água e expõe a sociedade a problemas como a proliferação de doenças de veiculação hídrica, paralisação das atividades econômicas nos arredores e danos materiais e à infraestrutura urbana. O presente trabalho objetivou mapear as áreas de risco de inundação na zona urbana do bairro Ilha de Santa Luzia, localizado na cidade de Mossoró, Rio Grande do Norte, através do uso de geotecnologias e Sistemas de Informação Geográficas (SIG). Para tal, inicialmente realizou-se um levantamento aerofotogramétrico na área do estudo de caso, por meio de Aeronave Remotamente Pilotada (ARP), posteriormente foi feito o processamento das imagens obtidas por aerofotogrametria obtendo-se o ortomosaico e Modelo Digital de Elevação (MDE) georreferenciados. Através do *software* QGIS fez-se a análise dos produtos gerados e criação de mapas para caracterizar a área de estudo. As atividades de processamento executadas referem-se à criação de mapas de uso e ocupação através do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) e de vetorização, a delimitação as Áreas de Preservação Permanentes (APP) e a simulação de aumento da vazão do rio para obtenção de manchas de inundação, por meio do *software* HEC-RAS. O estudo mostrou que as áreas que estão mais vulneráveis ao risco de inundação são aquelas muito próximas ao leito do rio, ocupações em APP e cotas muito próximas às altimetrias do Rio Apodi-Mossoró. Nesse contexto, o trabalho sugere uma gestão integrada de recursos hídricos que busque a redução dos riscos e dos impactos da inundação à sociedade, facilitada através do mapeamento das áreas de risco à inundação.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Vulnerabilidade; Ocupações de Risco; Planejamento Urbano; Desastres Naturais.

ABSTRACT

Urban flooding is a recurrent phenomenon that occurs due to overflowing water courses and exposes society to problems such as the proliferation of water-borne diseases, paralysis of economic activities in the surrounding areas, and damage to property and urban infrastructure. The present work aimed to map the flood risk areas in the urban area of the Ilha de Santa Luzia neighborhood, located in the city of Mossoró, Rio Grande do Norte, through the use of geotechnologies and Geographic Information Systems (GIS). That way, initially an aerophotogrammetric survey was carried out in the case study area, by means of Remotely Piloted Aircraft (RPA), after which the images obtained by aerophotogrammetry were processed, obtaining the georeferenced orthomosaic and Digital Elevation Model (DEM). Through the QGIS software, the generated products were analyzed and maps were created to characterize the study area. The processing activities executed refer to the creation of use and occupation maps through the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and vectorization, the delimitation of Areas of Permanent Preservation (APP) and the simulation of the increase of the river flow to obtain flood spots, through the HEC-RAS software. The study showed that the areas that are most vulnerable to flood risk are those very close to the riverbed, occupations in APP and elevations very close to the altimetry of the Apodi-Mossoró River. In this context, the study suggests an integrated water resources management that seeks to reduce the risks and impacts of flooding on society, facilitated through the mapping of flood risk areas.

Keywords: Geoprocessing; Vulnerability; Risk Occupations; Urban Planning; Natural Catastrophes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	–	Representação dos fenômenos: enchente, inundação e alagamento.....	18
Figura 02	–	Delimitação da AED e identificação de nível de vulnerabilidade à inundação.....	24
Figura 03	–	Evento extremo em Mossoró no ano de 1985.....	26
Figura 04	–	Mapa de localização do município de Mossoró, Rio Grande do Norte.....	32
Figura 05	–	Mapa de localização da área de estudo	34
Figura 06	–	Localização do Rio Apodi Mossoró na Ilha de Santa Luzia	35
Figura 07	–	Etapas para construção do trabalho.....	36
Figura 08	–	ARP <i>Phantom</i> 4 PRO RTK utilizada para realizar o aerolevanteamento.....	37
Figura 09	–	Curvas intensidade-duração-frequência.....	43
Figura 10	–	Mapa de uso e ocupação do solo no bairro Ilha de Santa Luzia, conforme NDVI.....	48
Figura 11	–	Delimitação das áreas de uso e ocupação e índice de vulnerabilidade à inundação.....	49
Figura 12	–	Delimitação das Áreas de Preservação Permanente.....	50
Figura 13	–	Modelo Digital de Elevação da área de estudo obtido pelo processamento do levantamento aerofotogramétrico	51
Figura 14	–	Média pluviométrica histórica para a cidade de Mossoró/RN entre 1990 e 2020.....	55
Figura 15	–	Localização da Estação Pluviométrica Mossoró - ANA.....	56
Figura 16	–	Manchas de inundação geradas pelo software HEC-RAS.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Valor atribuído ao uso e ocupação em função da vulnerabilidade.....	38
Tabela 2	–	Índice de fragilidade ambiental em função da ocupação humana em Áreas de Preservação Permanente.....	40
Tabela 3	–	Critério para a determinação dos graus de risco.....	41
Tabela 4	–	Estabelecimento do grau de risco.....	42
Tabela 5	–	Coeficiente de Deflúvio de acordo com a natureza da superfície.....	45
Tabela 6	–	Coeficiente de Deflúvio de acordo com o tipo de ocupação da área.....	45
Tabela 7	–	Fator de correção do coeficiente de escoamento superficial em função do período.....	46
Tabela 8	–	Valores <i>n</i> de <i>Manning</i>	47
Tabela 9	–	Relatório pluviométrico (1990 - 2020) do município de Mossoró/RN - Posto Fazenda Angicos - ANA.....	52
Tabela 10	–	Relatório pluviométrico (1990 - 2020) do município de Mossoró/RN - Posto Mossoró - ANA.....	53
Tabela 11	–	Relatório pluviométrico (1990 - 2020) do município de Mossoró/RN – Posto Prefeitura - Prefeitura de Mossoró.....	53
Tabela 12	–	Média histórica de precipitação até o ano de 2020.....	55
Tabela 13	–	Dados geométricos e hidrográficos dos trechos do Rio Apodi-Mossoró que cortam a área de estudo.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AED	Áreas de Expansão Demográficas
ANA	Agência Nacional de Águas
ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
AVADAN	Avaliação de Danos
CAD	Desenho Auxiliado por Computador
Cemaden	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
EIRD	Estratégia Internacional para a Redução de Desastres
EMPARN	Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
HEC-RAS	<i>Hydrologic Engineering Center's- River Analysis System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEMA	Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
NBR	Norma Brasileira
NDVI	Índice de Vegetação de Diferença Normalizada
ONU	Organização das Nações Unidas
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
SEADRU	Secretaria Municipal de Agricultura e Desenvolvimento Rural
SIG	Sistema de Informação Geográfica
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
UTM	Universal Transversa de Mercator
VANT	Veículos Aéreos Não Pilotados

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	Objetivo geral	15
2.2	Objetivos específicos.....	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
3.1	Inundações e a Zona Urbana	16
3.2.1	Enchente, inundação e alagamento	16
3.2.2	Sistemas hídricos urbanos	18
3.2.3	Gerenciamento das águas urbanas	19
3.2.4	Drenagem urbana	20
3.2	Risco, perigo e vulnerabilidade	22
3.3	Histórico de Inundação em Mossoró, Rio Grande do Norte.....	24
3.4	Geoprocessamento	29
3.5	Sistemas de Informação Geográfica Aplicados ao Planejamento Urbano	30
4	METODOLOGIA	32
4.1	Delimitação da Área de Estudo.....	32
4.2	Construção da Base de Dados.....	35
4.2.1	Delimitação da área potencialmente atingidas.....	38
4.2.2	Classificação de risco.....	40
4.2.3	Análise pluviométrica.....	42
4.2.4	Simulação das manchas de inundação.....	47
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
5.1	Identificação das áreas de vulnerabilidade.....	48
5.2	Identificação das áreas de uso restrito.....	50
5.3	Delimitação das áreas com risco de inundação.....	56
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
	REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

Inundações correspondem a um fenômeno que pode ocasionar consequências negativas às zonas urbanas próximas do curso d'água. As inundações podem ocorrer devido a vários fatores, tanto naturais quanto devido a ação antrópica. Normalmente o evento não ocorre somente por um motivo, sendo resultado da combinação de condicionantes, tais como fatores climáticos, ambientais e urbanísticos, que atuam em conjunto criando um cenário propício para sua manifestação (AGUIAR, 2018).

O processo de urbanização das cidades modifica o ciclo ambiental e hidrológico em resposta ao uso e ocupação do solo. O crescimento da área urbana pode gerar o aumento da vazão, em função do maior escoamento e impermeabilização da superfície; o aumento da produção de resíduos, pois a região se torna mais povoada, que se não for destinado da maneira correta aumenta a vulnerabilidade do local; a deterioração da qualidade da água; e, a gestão inadequada da infraestrutura urbana impactam diretamente no crescimento do risco de inundações e na potencialização dos resultados que o evento traz à população (TUCCI, 2003).

O município de Mossoró, do estado do Rio Grande do Norte, está localizado no Nordeste do Brasil e, em função da sua posição geográfica, possui um clima semiárido e temperaturas elevadas, a precipitação na região normalmente se concentra entre fevereiro e maio. A cidade é cortada pelo Rio Apodi-Mossoró, principal rio da Bacia Hidrográfica Apodi-Mossoró. Apesar da baixa predominância de chuvas durante o ano, a cidade em questão tem um grande histórico de inundações em vários bairros, em especial o Centro, Barrocas, Ilha de Santa Luzia e Alto da Conceição, que são zonas próximas ao Rio Apodi-Mossoró (ROCHA, 2015).

Conforme Rocha (2015), o crescimento da zona urbana em Mossoró fez com que muitos cursos d'água desaparecessem, pois os antigos leitos fluviais foram ocupados pela infraestrutura urbana. Em consequência, grande parte dos locais inundados em períodos de chuvas intensas se encontram sobre as antigas linhas de água e ao longa da planície fluvial do Rio Apodi-Mossoró.

Apesar dos esforços governamentais, o cenário se repete nos anos onde a precipitação se sobressai ao esperado, o que traz muitos prejuízos à população. Além disso, em virtude de o clima favorecer a incidência de seca e estiagem, não são realizados muitos estudos e pesquisas voltadas para a prevenção e redução dos efeitos causados pela inundação.

Conforme a Constituição Federal de 1988, é domínio da esfera federal as águas de rios de fronteira ou limites interestaduais ou que atravessam mais de um Estado ou país, e esfera estadual os rios internos dos Estados e águas subterrâneas.

A Política Nacional de Recursos Hídricos foi instituída através da Lei Nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, e criou-se o Sistema Nacional de Gestão de recursos hídricos para planejar, gerenciar e definir critérios de uso para os recursos hídricos.

O artigo 30 da Constituição Federal destina ao município o gerenciamento do uso do solo, onde os Estados e a União podem intervir por questões de proteção ambiental, saúde e segurança pública.

Além disso, a cidade de Mossoró, Rio Grande do Norte, por meio da Lei Nº 2.696/2010, instituiu a Política Municipal de Prevenção e Combate à Desastres Decorrentes de Chuvas.

Compreendendo a influência do uso e ocupação do solo na gestão de recursos hídricos e também no gerenciamento de riscos de inundação é preciso estabelecer políticas públicas que atuem de forma integrada.

Uma das etapas desse processo é a identificação de áreas de risco à inundação, para que a administração pública consiga planejar ações de redução de risco e prevenção de desastres e destiná-las aos locais adequados e mais vulneráveis aos perigos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Mapear as áreas de risco de inundações na zona urbana do bairro Ilha de Santa Luzia, localizado na cidade de Mossoró, Rio Grande do Norte, através do uso de geotecnologias e sistemas de informação geográficas.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar a caracterização da área de estudo;
- Avaliar a área analisada, classificando suas condições de uso e ocupação do solo e aspectos da infraestrutura;
- Produzir dados georreferenciados para compreensão das altimetrias da área de estudo, realizando uma análise comparativa entre as cotas da área urbanizada e do rio;
- Avaliar o histórico de precipitações no município de Mossoró e mensurar o aumento da vazão do rio em função da precipitação;
- Simular manchas de inundação no *software* e visualizar áreas de risco à inundação;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Inundações e a Zona Urbana

3.2.1 Enchente, inundação e alagamento

Conforme Tucci (2003), as enchentes ocorrem pelo processo natural no qual o rio escoar pelo seu leito maior. Logo, a população é afetada pelas enchentes na situação em que elas estão dispostas dentro do leito maior do rio.

As enchentes podem ser divididas em: de áreas ribeirinhas e devidas à urbanização. As enchentes de áreas ribeirinhas ocorrem quando há precipitação pluviométrica e o rio amplia seu volume. Já as causadas pela urbanização estão mais relacionadas ao processo de impermeabilização, que nas zonas urbanas, reduz a infiltração de água e aumenta o escoamento superficial, alterando parâmetros de retenção e rugosidade, aumentando a vazão máxima do rio e o volume de escoamento superficial (OLIVEIRA, 1999).

Enchentes urbanas são um dos impactos ambientais percebidos pela população, que devido a implantação de infraestrutura urbana em locais inadequados como fundo de vale, planícies de inundação e vertentes) de infraestrutura urbanas, favorece o surgimento dos desastres (OLIVEIRA, 1999).

Segundo Botelho (2004), a frequência da ocorrência de enchentes em áreas urbanas tem aumentado, não só em decorrência das ocupações irregulares, mas também devido a gestão ineficaz dos serviços de saneamento e de drenagem urbana. A autora retrata que dentre os fatores agravantes à ocorrência de enchentes urbanas está a obstrução de bueiros e bocas de lobo; o adensamento populacional; obras inadequadas; dimensionamento inadequado de projetos; interferência física e lençol freático alto.

A inundação é ocasionada quando as águas dos cursos d'água saem do seu leito de escoamento motivada pela extrapolação da capacidade de transporte do sistema, ocupando indevidamente outras localidades, como vias públicas, infraestrutura urbana, propriedades privadas, entre outros (TUCCI, 2003).

O processo de inundação pode ocorrer pelo comportamento natural do rio, quando a precipitação é intensa e o solo não consegue receber a água para infiltração, fazendo com que grande parte dela escoe pelo sistema de drenagem e ultrapassa a capacidade de escoamento, nesse caso o fenômeno é caracterizado como inundação ribeirinha. Do mesmo modo, a impermeabilização do solo também acelera o escoamento, fazendo com que os condutos e canais recebam uma maior quantidade de água, que chega no sistema de drenagem e provoca inundações mais frequentes que anteriormente, quando a superfície era permeável, esse tipo de inundação é devido a urbanização (TUCCI, 2003).

Para Aguiar (2018), apesar da sazonalidade no que diz respeito à ocorrência das inundações, estas oferecem perigo à sociedade e se potencializam por sua maior possibilidade em regiões mais baixas e planas. O autor ainda trata que, uma adequada compreensão dos fenômenos e do território pode permitir uma gestão favorável à prevenção de riscos e entendimento das consequências, bem como o mapeamento dos locais mais afetados e a definição das ações prioritárias.

Alagamento, por sua vez, consiste no acúmulo de água em decorrência de chuvas intensas em locais parcialmente ou totalmente impermeabilizados, onde a rede de drenagem pluvial não supre a vazão escoada devido a problemas no sistema de drenagem (CPRM, 2017).

Conforme a Defesa Civil do estado do Rio de Janeiro, alagamentos são resultados da extrapolção da capacidade de escoamento do sistema de drenagem urbana, que faz com que surja o acúmulo de água nas zonas de infraestrutura urbana como resultado das fortes precipitações.

Dessa forma, compreende-se que as enchentes se caracterizam pelo extravasamento de água até o leito maior do curso d'água, atingindo a zona urbana nos casos em que a infraestrutura ocupa esse espaço. As inundações ocorrem quando a vazão do curso d'água é muito superior e aumenta a cota de água dele, a levando para fora do seu leito de escoamento. Enquanto o alagamento é um fenômeno que ocorre em função da ineficiência da drenagem urbana, não estando relacionada ao extravasamento da água dos cursos d'água, mas ao acúmulo delas nas regiões impermeáveis. A Figura 01 ilustra a diferença entre enchente, inundação e alagamento.

Figura 01 – Representação dos fenômenos: enchente, inundação e alagamento.



Fonte: Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), 2015.

3.2.2 Sistemas hídricos urbanos

Os sistemas hídricos urbanos são elementos relacionados à água dentro do ambiente urbano e estão diretamente ligados pela sua forma de gerenciamento na zona urbana, que, se realizada de maneira inadequada, gera inúmeros problemas à população. Os principais sistemas são: mananciais de água; abastecimento de água; saneamento de efluentes cloacais (esgoto doméstico); controle da drenagem urbana e controle de inundações ribeirinhas (TUCCI, 2003).

Os mananciais correspondem às fontes de água para utilização. O sistema de abastecimento de água envolve o processo de tratamento e distribuição da água para a população, é importante uma gestão pública adequada para o eficaz funcionamento desse sistema. O saneamento de efluentes cloacais volta-se para a coleta, tratamento e destinação de efluentes do ambiente urbano. A drenagem urbana é necessária para coletar água resultante da precipitação, tratar e despejá-la nos rios. O controle das inundações ribeirinhas é o processo no qual o poder público planeja e executa ações que evitem que inundações naturais atinjam a população (TUCCI, 2003).

3.2.3 Gerenciamento das águas urbanas

A falta ou o gerenciamento inadequado das águas urbanas estão intrinsecamente relacionadas ao problema de recursos hídricos no país. Observa-se uma ineficiência no sistema público, resultando na perda de água tratada nas redes de distribuição; insuficiência nas redes de tratamento de esgoto; transporte de esgoto e lixo nos sistemas pluviais; construção de canais e condutos que apenas realocam as inundações para outros locais da cidade (TUCCI, 2003). Além disso, percebe-se que o setor público só volta seus esforços para ações paliativas depois da ocorrência dos desastres, quando já houveram inúmeros prejuízos à população.

Tucci (2003) ainda ressalta que, para que haja uma gestão municipal da água eficaz, é necessário que haja um planejamento nos seguintes aspectos: drenagem urbana, uso do solo, inundações ribeirinhas, resíduo sólido, esgotamento sanitário e mananciais.

Gestão integrada corresponde a um novo conceito na gestão de recursos hídricos que traz princípios no uso sustentável dos recursos hídricos. Para que seja feita uma política bem estruturada é preciso que essa se incorpore com outros setores, como habitação e transporte urbano, e, além disso, haja uma cooperação entre as políticas setoriais de uma mesma região, conforme afirma Silva e Porto (2003). Para os autores, a junção entre a gestão de recursos hídricos e o planejamento urbano dá a ilusão de que, por tratar da convergência entre diferentes setores, promove a interação entre eles, o que não é verdade se a análise for realizada de forma segmentada.

Dessa maneira, compreende-se que, para haver uma gestão eficaz no âmbito urbano, é preciso que o planejamento urbano territorial e a gestão de recursos hídricos sejam feitas de maneira integrada.

Para controle e minimização dos danos das inundações realizam-se medidas classificadas em estruturais e não estruturais. As medidas estruturais correspondem ações de obras de engenharia, podendo ainda ser classificada em intensivas e extensivas. A primeira corresponde a obras de aceleração e desvio do escoamento; obras de canalização; retardamento do fluxo; reservatório; restauração de calhas; túneis de derivação e canais de desvio. Já as ações extensivas voltam-se a ações de recomposição de cobertura vegetal e controle de erosão do solo. As ações não estruturais voltam-se à ocupação territorial, comportamento de consumo da população e atividades econômicas (CANHOLI, 2015).

3.2.4 Drenagem urbana

Historicamente, as obras de drenagem buscavam resolver o problema da perda do armazenamento natural da água, consequentemente, havia o aumento da velocidade de escoamento. A urbanização, normalmente, evolui no sentido de jusante para montante. Devido ao aumento da velocidade de escoamento, os transtornos relacionados à redução do espaço de armazenamento natural são transferidos para a jusante. Um menor tempo de concentração somado ao maior pico da vazão a jusante provoca inundações em áreas urbanas (CANHOLI, 2015).

Segundo Pompêo (2000), a partir da década de 60 alguns países passaram a questionar a drenagem urbana quando realizada pela maneira tradicional, por somente transferir o problema para outras áreas ou para o futuro. Nos últimos anos foram introduzidas medidas para redução das enchentes em áreas urbanas consolidadas, como métodos de redução da vazão e a metodologia de drenagem urbana sustentável.

A perspectiva de drenagem urbana sustentável baseia-se no reconhecimento da relação entre os ecossistemas naturais, o sistema urbano e as necessidades da sociedade. Para isso, é preciso que haja uma integração entre os sistemas hídricos urbanos, os aspectos ecológicos e ambientais, paisagísticos, as oportunidades de lazer e o meio urbano em si (POMPÊO, 2000).

A bacia hidrográfica é composta por rios, riachos, córregos e pântanos ou várzeas que se formam e mantêm em função do ciclo hidrológico e das características do terreno, como declividade, tipo de solo, uso e ocupação do solo, entre outros. A urbanização altera o sistema de drenagem em relação ao aumento das descargas (MARTINS, 2012).

O sistema de drenagem pode ser dividido em: na fonte, microdrenagem e macrodrenagem. A drenagem na fonte corresponde ao escoamento que ocorre no espaço individual (lote, condomínio, parque, entre outros). A microdrenagem consiste no sistema de condutos pluviais ou canais a nível de loteamento ou de rede primária urbana, e deve atender a demanda de precipitações com risco moderado. A macrodrenagem é definida pelos sistemas coletores de diferentes microdrenagem, é projetada para acomodar precipitações superiores com riscos de acordo com os prejuízos humanos (TUCCI, 2003).

A drenagem urbana está relacionada ao gerenciamento de águas urbanas, sendo função desse o planejamento e controle de drenagem. O Plano Diretor de Drenagem Urbana deve produzir mecanismos de infraestrutura visando suprir as necessidades econômicas e socioambientais. A estrutura do Plano Diretor de Drenagem Urbana deve conter o cadastro da rede pluvial; rede cloacal; coleta e disposição de resíduos; caracterização da ocupação urbana; das bacias hidrográficas e dos aspectos socioeconômicos. Esse plano é associado ao Plano de Desenvolvimento Urbano e Planos de Saneamento e Limpeza Urbana. O seu produto deve fazer parte da legislação e regulamentação da área urbana (TUCCI, 2003).

Tucci (2003) retrata que o ambiente institucional não faz o controle de inundações de uma maneira adequada, pois, em geral, o atendimento a enchente só é realizado após sua ocorrência, além disso, é propício que o problema solucionado momentaneamente fique esquecido após cada ocorrência e as ações resolutivas sejam retornadas só depois de outro desastre. Por isso, é importante realizar um estudo e planejamento urbano, objetivando ações preventivas e corretivas, para evitar a ocorrência de inundações e os problemas que estas ocasionam a população, tanto em relação à saúde, à economia, à infraestrutura e à qualidade de vida.

A precipitação, principalmente se intensa, é uma das principais causas de cheias e consequentes inundações, por isso é importante prever essas ocorrências. Chuvas intensas são caracterizadas pelo seu grande volume e uma baixa duração, sendo menos frequente a probabilidade de ocorrência (ABREU, 2014). Para análise de uma chuva intensa considera-se a relação entre a intensidade, a duração e a frequência da precipitação, através do uso das curvas e equações IDF.

O Programa Geologia do Brasil - Levantamentos da Geodiversidade produz o Projeto Atlas Pluviométrico do Brasil, que objetiva reunir e organizar informações sobre as chuvas obtidas na operação da rede hidrometeorológica nacional. Esse projeto define as relações intensidade-duração-frequência (IDF) para várias localidades do país a partir de registros contínuos coletados das estações equipadas com pluviógrafos ou estações automáticas.

Além do Plano Diretor de Drenagem Urbana é necessário a presença de outros instrumentos legais para regulamentar a temática. A NBR 15.527/2017 é pioneira dentre as diretrizes brasileiras para aproveitamento de água da chuva de cobertura em áreas urbanas. O Estatuto das Cidades, Lei Federal nº 10.527/2001, dá diretrizes gerais para política urbana, inclusive para gestão de recursos hídricos.

A Lei 12.608, de 2012, institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) que prevê a necessidade de medidas de drenagem urbana que objetivem a prevenção e mitigação de impactos de desastres.

3.2 Risco, perigo e vulnerabilidade

A Organização das Nações Unidas (ONU), em busca do desenvolvimento sustentável, reúne estudos em torno da Estratégia Internacional para a Redução de Desastres (EIRD), de 2000. Esse Plano fundamenta-se em três conceitos: Risco, Perigo e Vulnerabilidade (SILVA, 2012).

Durante o século XVI e XVII a ideia de risco era usada pelos exploradores ocidentais para tratar sobre a navegação em mares desconhecidos (MENDES, 2002). Segundo Amaro (2005), risco consiste na probabilidade de ocorrência de um evento e dos efeitos desses, que podem ser adversos para a saúde, segurança, ambiente ou economia.

A Defesa Civil (2007), define risco como a junção do fator ameaça e vulnerabilidade. Para Rocha (2015), o risco fundamenta-se na associação entre fatores naturais e sociais, onde a infraestrutura, o ambiente, os indivíduos e seus bens materiais e imateriais estão sujeitos aos eventos, por isso, é preciso que haja preocupação sobre as questões relacionadas ao risco ambiental. Além disso, o autor sugere que é preciso tratar essas questões em função da vulnerabilidade social, uma vez que as consequências aos eventos chegam à população de maneira distinta.

Pode-se caracterizar o grau de risco também com base no livro “Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios” desenvolvido em 2007 pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

O livro investiga o cenário hidrológico baseando-se nos tipos de inundações, dividindo-as em: inundação lenta de planície, inundação de alta energia cinética ou inundação de alta energia cinética e capacidade de transporte de material sólido. Outro critério sugerido é a distância entre as habitações e o eixo de drenagem, e ainda retrata que quanto maior o raio de alcance do evento, maior a magnitude e menor o tempo de retorno de ocorrência (IPT, 2007).

Amaro (2005) relaciona risco e perigo ao aferir que o primeiro é função da natureza do segundo, sendo uma característica da população exposta, ou seja, aqueles que têm contato com o meio. Para Serrano (2009), os conceitos de risco e perigo estão interligados, por exemplo, o fenômeno inundação corresponde ao perigo, mas a urbanização mal planejada expõe a população ao risco de inundação.

Conforme Silva (2012), perigos naturais correspondem aos fenômenos naturais que causam danos à sociedade e ao meio, como terremotos, atividades vulcânicas, vendavais, inundações fluviais e costeiras, entre outros.

Os termos risco e vulnerabilidade também são constantemente confundidos, o fator vulnerabilidade influencia na existência do risco. Neves (2006), afirma que, etimologicamente, a palavra vulnerabilidade tem origem latina, derivando de *vulnus (eris)*, e significa “ferida”. Para o autor, a vulnerabilidade consiste na suscetibilidade de se ser ferido. Para o autor, a vulnerabilidade é uma condição humana, uma vez que todo aquele que está exposto à sociedade está suscetível a perigos, e, conseqüentemente, de ser prejudicado.

A vulnerabilidade se relaciona às ações humanas, em função dessas, compreende-se o grau de resistência ou fragilidade em relação ao impacto dos perigos naturais (SILVA, 2012).

Dessa forma, a EIRD promove ações que objetivam a redução de risco de desastres. Para o programa, é preciso conscientizar a população sobre os riscos, a vulnerabilidade e a necessidade de reduzir os perigos em escala mundial; garantir que os órgãos públicos responsáveis projetem e executem políticas visando a diminuição dos desastres; incentivar o desenvolvimento de pesquisas e estudos científicos sobre o tema e estimular alianças interdisciplinares e intersetoriais que intencionem a redução de desastres.

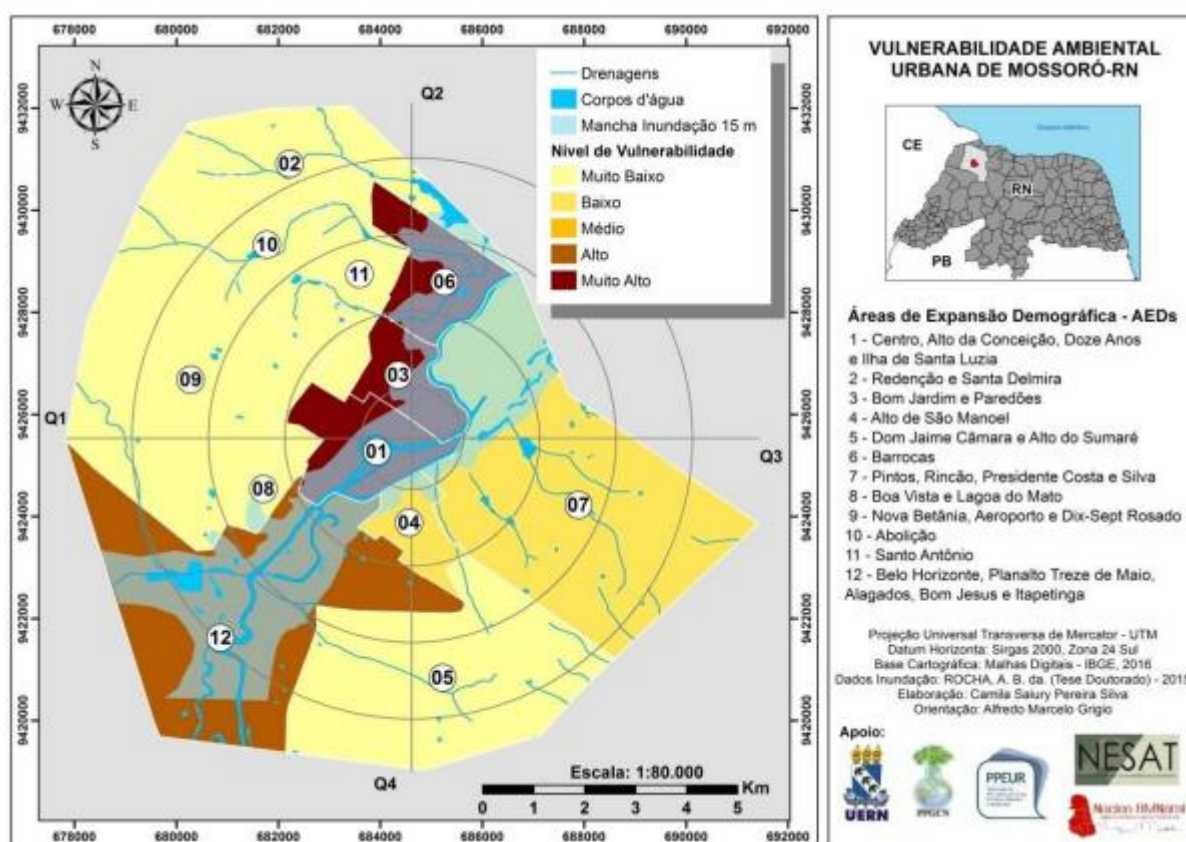
Compreende-se, assim, o gerenciamento de riscos, que visa a diminuição de perigos e deve ser realizado entendendo a vulnerabilidade socioambiental, como um setor de planejamento público que se relaciona com o gerenciamento de águas urbanas e o planejamento urbano.

É preciso, então, evitar a ocorrência e reduzir as consequências de inundações urbanas, com um planejamento público sobre o gerenciamento dos sistemas hídricos e de drenagem e a infraestrutura urbana.

3.3 Histórico de Inundação em Mossoró, Rio Grande do Norte

Silva *et al.* (2017) realizou uma pesquisa para mapear as principais áreas de vulnerabilidade à inundação, aplicando esses indicadores nas Áreas de Expansão Demográficas (AED) definidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, de 2010, que leva em consideração o tamanho da população, visando formar uma amostra representativa; a contiguidade, em função do recorte geográfico; e a homogeneidade das características sociais e de infraestruturas. A autora constata que a AED composta pelos bairros: Centro, Alto da Conceição, Doze Anos e Ilha de Santa Luzia possuem um alto índice de vulnerabilidade à inundação, correspondente a 0,9804, em um intervalo de 0 a 1,0, onde quanto mais alto o valor do índice, maior a vulnerabilidade da região. Essa AED classifica-se abaixo somente da AED composta pelo bairro Barrocas, que tem índice de vulnerabilidade à inundação igual a 1,0. Conforme pode ser observado na Figura 02.

Figura 02 - Delimitação da AED e identificação de nível de vulnerabilidade à inundação.



Fonte: Rocha (2015).

O ano de 1985 é conhecido na cidade de Mossoró/RN por ser protagonista da maior enchente da história da cidade. Como consequência das cheias do Rio Apodi-Mossoró, a catástrofe atingiu grande parte da cidade, em especial as áreas próximas ao curso d'água, como o Centro, bairro vizinho à Ilha de Santa Luzia, como pode ser visto na Figura 03. Relatos de moradores indicam que as pessoas percorriam a região próxima ao Centro com o nível d'água próximo a cintura (FILHO, 2020).

Durante o mês de abril de 1985 ocorreram fortes chuvas no município de Mossoró, muitas casas foram alagadas, moradores perderam bens materiais e casas, além de vítimas e aumento de patologias de veiculação hídrica, animais morriam afogados, comerciantes perderam parte de suas mercadorias e foram impedidos de abrir seus comércios. As fortes precipitações chegaram à marca de 2.242,1 milímetros, e afetou a estrutura e a população da cidade (ROCHA, 2015).

Figura 03: Evento extremo em Mossoró no ano de 1985.



Fonte: Adaptado de Coluna Relembrando Mossoró - Mossoró Online, 2022.

Na época, a morfologia do rio não se fragmentava em três cursos d'água próximo a área urbana da cidade, o que influenciou no aumento do nível da água do rio, uma vez que a precipitação e drenagem urbana iria para um único curso d'água e a vazão deste aumentava (FILHO, 2020).

Percebendo os prejuízos causados nesse período, e com receio da ocorrência de uma nova catástrofe, o então prefeito Dix-Huit Rosado propôs e iniciou um projeto de tricotomização, dividindo o Rio Apodi-Mossoró em três partes, em especial na zona urbana que corta o bairro Ilha de Santa Luzia (MOSSORÓ HOJE, 2017).

O projeto dividiu o curso d'água em três partes, esses trechos cortam a zona urbana do bairro Ilha de Santa Luzia, e apesar de amenizar os problemas decorrentes das grandes chuvas, a urbanização mal planejada, que expõe a população às áreas de risco; e o descaso com o curso d'água, que pode ser observado pela quantidade de lixo que é jogado nos trechos, pela vegetação que cresce dentro do trecho e se transforma em barreiras para o fluxo da água, e vários outros fatores, fazem com que os problemas decorrentes a grande chuva e a ocorrência de inundações não seja reduzida de maneira eficaz (MOSSORÓ HOJE, 2017).

Além disso, ainda na área urbana, criou-se o canal Dix-Huit, que aliado aos canais de desvio do leito pela tricotomização, possui um sistema de quatro barragens para controle da vazão da água, sendo elas a barragem de Genésio, a barragem do Centro, a barragem de Baixo/das Barrocas e a barragem Passagem de Pedras (SALLES, 2013).

Rocha (2015) constata que, além do ano de 1985, em 1989 com o Decreto nº 4.980 e nº 10.355 do Governo Estadual; 2004, com o documento de Avaliação de Danos (AVADAN) e a portaria nº 236 do Governo Municipal; 2008 e 2009, identificados pelo com o documento AVADAN do Governo Municipal; e 2010, com a portaria nº 202 da Secretaria Nacional de Defesa Civil, o município de Mossoró declarou Situação de Emergência devido às fortes chuvas que causaram inundações, enchentes ou enxurradas (ROCHA, 2015). Em 2004, 24 dos 54 municípios da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró manifestaram a situação referente à inundação, os impactos afetaram 752 residências na zona urbana, destas 332 ficaram destruídas, deixou-se mais de 1500 pessoas desalojadas ou desabrigadas, além de 1 desaparecido, 1 óbito e 8 enfermos. Em uma só noite foi registrado um volume de água de 163 mm em 28 de janeiro de 2004 (ARAÚJO, 2017).

No ano de 2008, várias localidades de Mossoró entraram em estado de alerta, sendo elas: Ilha de Santa Luzia, Alto da Conceição, Pereiros, Paredões, Barrocas, Alto de São Manoel, Redenção, Costa e Silva, Belo Horizonte, Quixabeirinha, Wilson Rosado, Sumaré, Favela do Fio e Santa Helena (ROCHA, 2015).

Em 2010, chuva forte e intensa, com muita ventania, causou danos à infraestrutura da cidade. LIMA (2010), colunista do Jornal de Fato, constata que uma chuva de pequena duração, pouco mais de uma hora, foi suficiente para alagar diversos trechos urbanos, ocasionar queda de energia em parte da zona urbana e desordenar o fluxo do trânsito no município. A Secretaria dos Serviços Urbanos, Trânsito e Transportes Públicos relatou que mais de 15 árvores caíram com a força dos ventos.

O inverno de 2017 também foi marcado por fortes chuvas, o que provocou inundações nas regiões próximas ao leito do rio Apodi-Mossoró e várias ruas ficaram alagadas com apenas 15 minutos de chuva (Mossoró Hoje, 2018). No ano em questão, a população fez um apelo à mídia solicitando novos projetos voltados à desobstrução do rio, alegando que, após de mais de 30 anos da tricotomização do rio, o local está obstaculizado com vegetação, lixo e entulhos, além disso, o agravante das construções muito próximas ao leito do rio influencia no processo de drenagem e vazão do rio (Mossoró Hoje, 2018).

O ano de 2020 também foi marcado por inundações, interrupções na rede elétrica de energia e danos causados por fortes chuvas. Estima-se que em uma hora e meia a precipitação quase chegou a 100 milímetros. O coordenador da Defesa Civil, Osnildo Moraes, em entrevista para o jornal Tribuna do Norte afirmou que a chuva foi atípica e acima do esperado (Tribuna do Norte, 2020).

Em 2021, fortes chuvas também causaram prejuízos à sociedade. O Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) identificou 97 milímetros em apenas um dos pontos de monitoramento do município. As ruas foram alagadas e o teto de uma concessionária de veículos localizada na Ilha de Santa Luzia desabou, apesar disso não houveram feridos.

Em 2022, a Defesa Civil registrou alagamento em vários pontos da cidade ocasionado pelas chuvas intensas. A chuva durou mais de quatro horas e nas primeiras três horas e meia já havia registrado mais de 100 milímetros. O professor Alciomar Lopes do Departamento de Meteorologia da Secretaria Municipal de Agricultura e Desenvolvimento Rural (SEADRU)

informou que a tempestade foi decorrente de um ciclone tropical. Várias vias foram inundadas, em especial a Avenida Presidente Dutra, principal que corta o bairro Ilha de Santa Luzia (MOSSORÓ HOJE, 2022).

3.4 Geoprocessamento

O geoprocessamento é extremamente importante para o emprego de informações da superfície terrestre georreferenciadas. Consiste no conjunto de tecnologias que permitem a obtenção e tratamento de informações espaciais para desenvolver aplicações e utilizar dados para uma determinada finalidade. Dentre as atividades executadas no geoprocessamento está a cartografia digital, o processamento de imagens, o uso de sistemas de informações geográficas e o armazenamento em um banco de dados (ROSA, 2013).

Uma das metodologias utilizadas no geoprocessamento é o sensoriamento remoto, que consiste em obter dados de materiais na superfície terrestre sem ter contato direto com eles. Assim, os sensores remotos são responsáveis pela detecção, aquisição e análise da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos que estão na Terra. Isso é possível pois qualquer corpo que tenha temperatura acima do zero absoluto emite energia eletromagnética (MORAES, 2002).

Segundo Cardoso, Silva e Pazoti (2014), Modelo Digital de Elevação (MDE) corresponde ao conjunto de pontos gerados por meio da varredura a laser de uma superfície. Vários sensores remotos auxiliam no mapeamento para análise de riscos, pois dados geomorfométricos podem ser derivados de Modelo Digital de Elevação e, ao ser integrado aos *softwares* adequados podem ser analisados para o gerenciamento de riscos (FLORENZANO (2012). O MDE é dividido em duas categorias: Modelo Digital de Superfície (MDS) e Modelo Digital de Terreno (MDT). O MDS estuda a superfície do terreno e os objetos existentes sobre ela, que alteram o valor da refletância do pixel, já o MDT só leva em consideração a superfície do terreno (CRUZ *et al.*, 2011).

Para utilizar o sensoriamento remoto é necessário realizar levantamentos com técnicas e tecnologias adequadas para coletar dados da superfície terrestre e conectá-los com os satélites para geoprocessamento. Os levantamentos topográficos podem ser utilizados para coletar esses

dados. Segundo Sousa (2017), é possível realizar sensoriamento remoto por meio de Veículos Aéreos Não Pilotados (VANT), posteriormente nomeadas Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP), e popularmente conhecidas como Drones.

3.5 Sistemas de Informação Geográfica Aplicados ao Planejamento Urbano

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) começaram a ser desenvolvidos em meados da década de 60, no Canadá, com o *Canadian Geographic Information System*. O SIG é desenvolvido para coletar, armazenar, modificar, analisar, simular, modelar e apresentar dados espaciais na superfície terrestre (ROSA, 2013). Dessa forma, um SIG objetiva ser um instrumento eficaz para qualquer necessidade que envolve o estudo de dados georreferenciados.

Rosa (2013), ainda declara que os SIG funcionam como banco de dados, entretanto, diferentemente de um *software* convencional usa georreferencias como meio primário para armazenar e acessar a informação. Dessa forma, o SIG integra tecnologias por oferecer funções semelhantes a tecnologias convencionais, porém com novas capacidades. Ele defende ainda que o Sistema de Informação Geográfica é muito importante para a tomada de decisões. Logo, pode ser muito explorado pela gestão pública.

Um Sistema de Informação Geográfica pode trabalhar em conjunto com um *software* de Desenho Auxiliado por Computador (CAD) para produzir mapas, sendo esse último, uma ferramenta de desenho digital que possui restrição quanto a atribuição de informações espaciais, que podem ser complementadas pelo uso de SIG.

Segundo Rosa (2013), os SIG são muito utilizados pelos órgãos governamentais e empresas para análise de recursos ambientais, planejamento de uso de solo, análise locacional, planejamento de infraestrutura, análise demográfica, entre outros.

Segundo Pereira, Lima e Fontenele (2019), o uso de diversas fontes de dados por meio de SIG permite aos gestores um planejamento mais elaborado, para definição de estratégias de curto, médio e longo prazo.

Os SIG e Sensoriamento Remoto são geotecnologias muito eficazes para análise da superfície terrestre, podendo fazer previsão de tempo, estudar fenômenos, detectar e monitorar

furacões, deslizamentos, queimadas, inundações, entre outros. Além disso, a partir dessas aplicações é possível gerar diferentes tipos de mapas para estudo da geografia física (FLORENZANO, 2012).

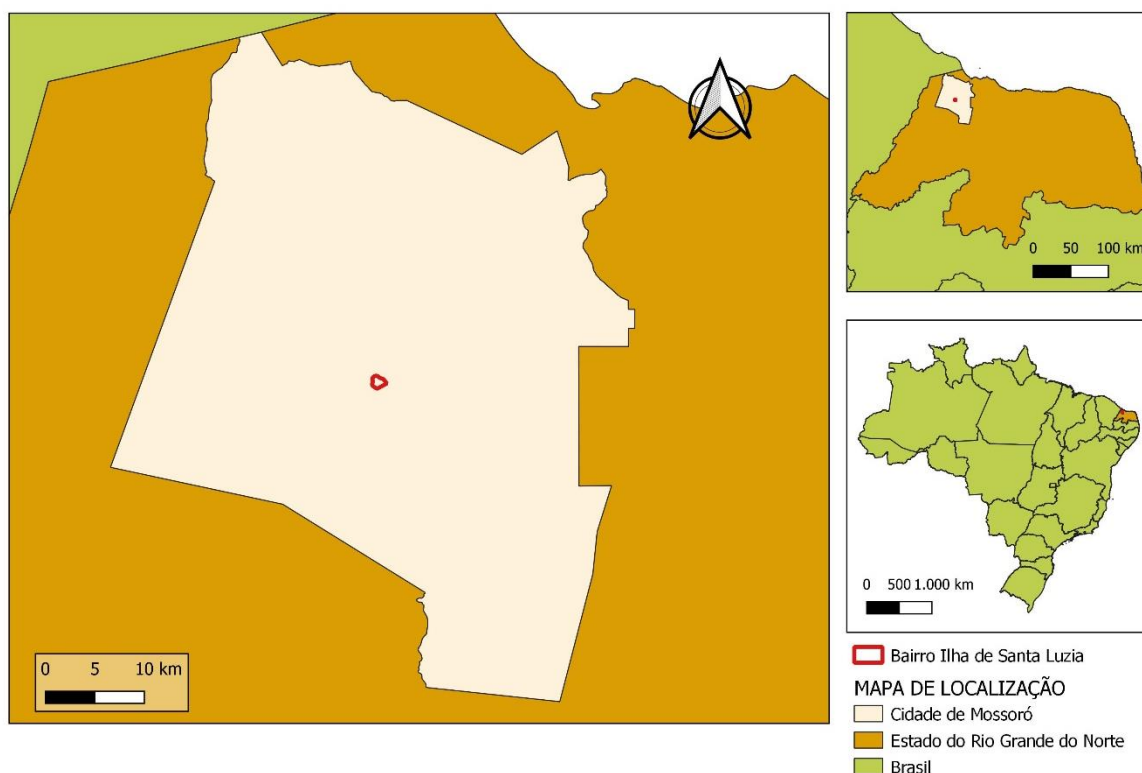
Aguiar (2018), utiliza geotecnologias para simular mudanças climáticas e avaliar o risco por inundação costeira. Araújo (2012) usa geoprocessamento para mapear Áreas de Preservação Permanente (APP). Geissler (2012) usa SIG para avaliar cenários de inundações no planejamento do uso e ocupação do solo urbano.

4 METODOLOGIA

4.1 Delimitação da Área de Estudo

O município de Mossoró localiza-se no Estado do Rio Grande do Norte, entre os paralelos 4°51'54" e 6°58'18" de latitude sul, e os meridianos de 34°57'08" e 38°35'12" de longitude oeste. É limitado ao norte e a oeste pelo Oceano Atlântico, ao sul pelo Estado da Paraíba, e a oeste pelo Estado do Ceará. Na direção N-S tem uma distância angular de 2°06'24" e linear de 233 km. Na direção E-W a distância angular é de 3°38'04" e a linear mede 403 km. Se limita ao Norte dos municípios de Governador Dix-Sept Rosado e Upanema, a Oeste de Baraúna e Governador Dix-Sept Rosado, a Leste das cidades de Assu, Serra do Mel e Areia Branca e ao Sul de Tibau, Grossos e Areia Branca (IDEMA, 2008). Além disso, a cidade tem localização privilegiada por estar distante 210 km de Fortaleza, capital do estado do Ceará e 270 km de Natal, capital do Rio Grande do Norte, sendo alcançada pelas BR 110, 304 e 405, além de rodovias intermunicipais.

Figura 04 - Mapa de localização.



Fonte: Autoria própria, 2022.

A área territorial do município é de 2.099,334 km², segundo estudo de 2021 do IDEMA. A população exposta em áreas de risco a inundações, enxurradas e deslizamentos com base no monitoramento do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) corresponde a um total de 13.975 pessoas.

Conforme estudos de Saraiva (2014), a partir da coleta de dados dos elementos climáticos em pontos determinados e coletados na estação meteorológica instalada na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), no campus Central, em Mossoró, identificando os comportamentos climáticos no ano de 2012, a cidade passa por três períodos climáticos significativos: o período chuvoso e quente; período seco com temperaturas amenas; e o período muito quente e seco, representados respectivamente pelos meses de abril, julho e outubro. O município de Mossoró localiza-se em uma região de clima semiárido e com altas temperaturas, do tipo BSw^h segundo a classificação de Koppen (RADAMBRASIL, 1981). A precipitação pluviométrica média anual é de 695,8mm, a temperatura média anual é 27,4°C e a umidade relativa média anual é de 70% (IDEMA, 1999).

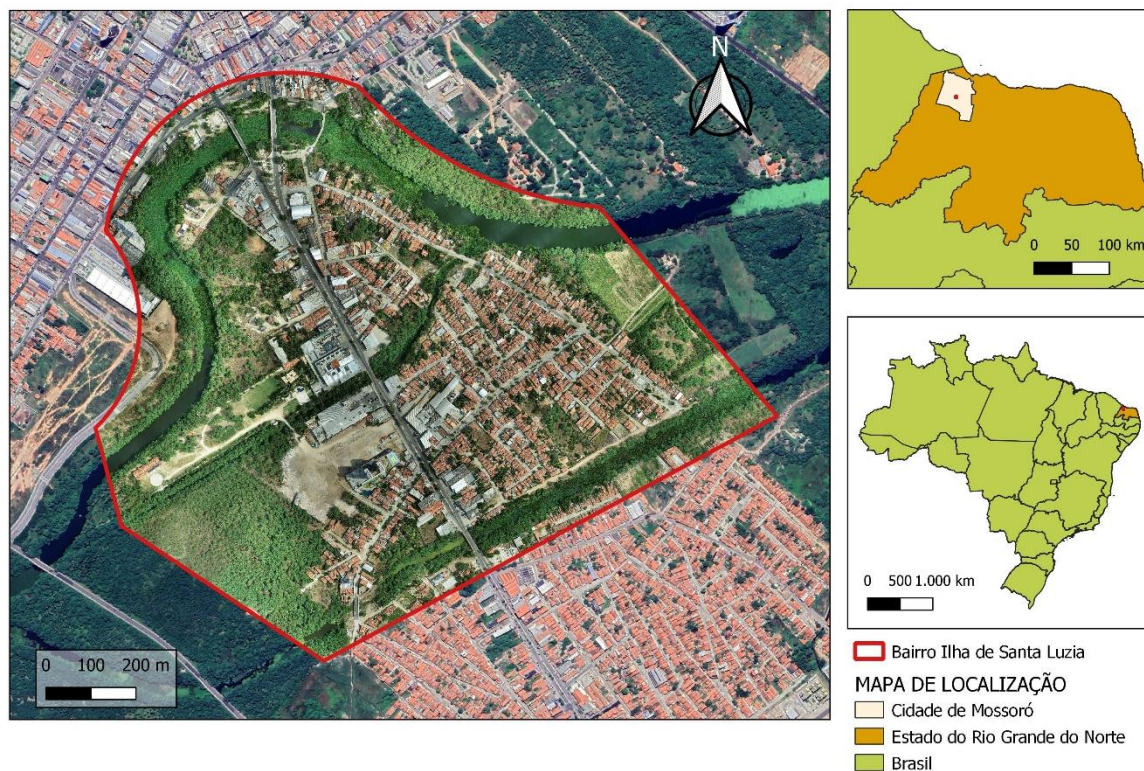
Caracterizado pela vegetação Caatinga Hiperxerófila, de caráter mais seco com abundância de plantas cactáceas e de menor porte, o clima provoca uma grande evaporação e concentração de sais na parte superficial do terreno. Os solos predominantes são: Cambissolo Eutróficos, Redzina e Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico (IDEMA, 1999).

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2005), o município é cortado pelo Rio Apodi-Mossoró e Rio do Carmo e se encontra inserido na bacia hidrográfica Apodi-Mossoró, segunda maior do Estado do Rio Grande do Norte, que cobre uma área total de 14.271 km², que corresponde a 27% do estado (ROCHA, 2015). Sendo banhado pela sub-bacia do Rio Apodi, que atravessa na direção SSW-NE e tem como tributários principais: a Norte o córrego Gangorra; a Sul, o Rio do Carmo, o córrego Bastião e os riachos do Bonsucesso, do Nogueira, Grande, do Inferno, Fundo e Olho d'Água, a Leste os riachos da Suçuarana, Poço dos Bois, Xique Xique, Passagem Velha, São Raimundo, Pai Antônio e o córrego Jerimum e a Oeste os riachos Campo do Junco, Grande, Cabelo Negro e o córrego do Virgílio. Os principais corpos de acumulação de água são os açudes públicos e comunitários. O padrão de drenagem é do tipo dendrítico e os cursos d'água têm regime intermitente.

O presente trabalho trata-se de um estudo de caso realizado na zona urbana do bairro Ilha Santa Luzia, do município de Mossoró, localizado no estado do Rio Grande do Norte, conforme observado na Figura 05. O último censo demográfico do Instituto Brasileiro de

Geografia e Estatística (IBGE), em 2010, mensura a população da cidade de Mossoró, em 259.815 habitantes e uma densidade demográfica de 123,76 hab/km², já o bairro Ilha de Santa Luzia possui população de 2.890 habitantes.

Figura 05 - Mapa de localização delimitação.



Fonte: Autoria própria, 2022.

A área de estudo, zona urbana do Bairro Ilha de Santa Luzia, delimita-se em, aproximadamente, 1,218 km².

O principal rio que passa o município de Mossoró é o Rio Apodi-Mossoró, da bacia hidrográfica Apodi-Mossoró. Este curso d'água corta a área de estudo, Ilha de Santa Luzia, em três locais distintos, como pode ser observado na Figura 06. O Rio Apodi-Mossoró tem origem na Serra de Luiz Gomes e deságue no Oceano Atlântico, 210 km depois, nos municípios de Grossos e Areia Branca (CUNHA, 2020).

Figura 06 - Localização do Rio Apodi Mossoró na Ilha de Santa Luzia.



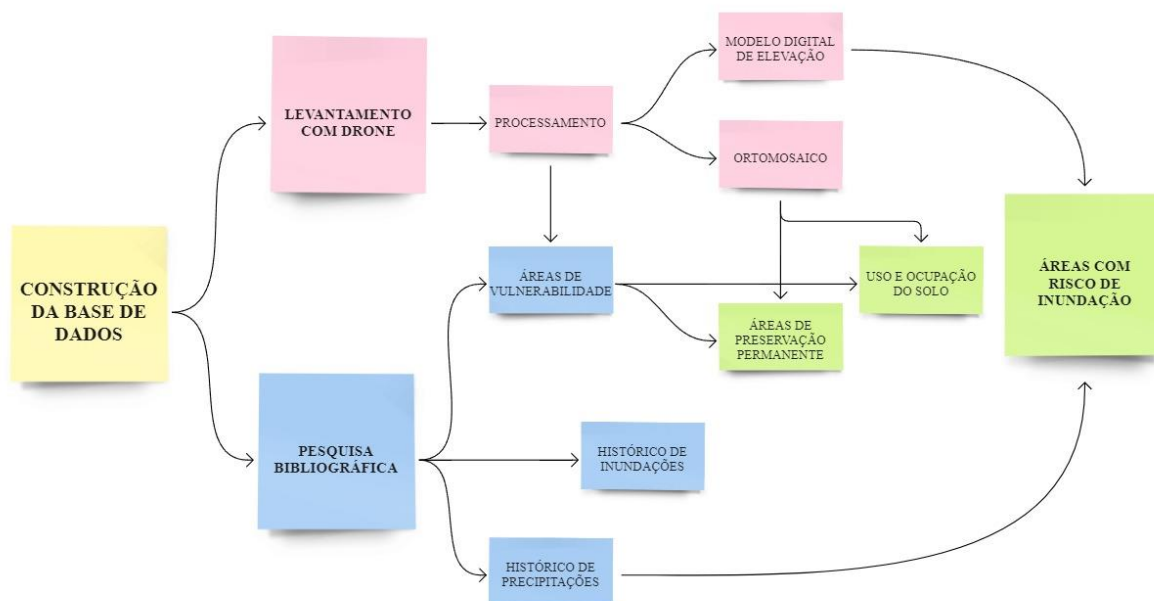
Fonte: Autoria própria, 2022.

Compreendendo a importância do Rio Apodi-Mossoró para o desenvolvimento do município, a localização do bairro Ilha de Santa Luzia e sua proximidade com o curso d'água, escolheu-se essa área de estudo para realizar o mapeamento de possíveis áreas de inundação ocasionadas pelo aumento do nível de água no Rio Apodi-Mossoró através do uso de sistemas de informação geográficas e técnicas de levantamentos topográficos.

4.2 Construção da Base de Dados

A metodologia utilizada para construir a base de dados divide-se em duas partes: pesquisas bibliográficas e levantamentos aerofotogramétricos, conforme pode ser observado na Figura 07.

Figura 07 – Etapas para construção do trabalho.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Técnicas de geoprocessamento e cartografia foram utilizadas, por meio do processamento de imagens capturadas por satélite e fotografias aéreas obtidas através de levantamento aerofotogramétrico, para geração de mapas que caracterizam a área de estudo conforme uso e ocupação do solo e áreas de preservação ambiental, e também delimitam os pontos prováveis de inundação. Além disso, realizou-se coletas de dados com base no acervo da Agência Nacional de Águas (ANA), do Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO) e da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) para estudo dos dados pluviométricos na região nos últimos 30 anos.

A partir dos resultados obtidos através de estudos bibliográficos utilizou-se SIG para a junção e interpretação dos dados.

O levantamento aerofotogramétrico, realizado através de Aeronave Remotamente Pilotada (ARP), foi possível realizar capturas de imagens reais do espaço estudado. O voo foi realizado através da ARP de modelo *Phantom 4 PRO RTK (Real Time Kinematic)*, da marca *DJI*, observada na Figura 08. O levantamento foi planejado previamente no dispositivo de controle e realizado automaticamente pelo equipamento. O operador acompanhou o voo para garantia da execução segura e correta. Em relação às características da aeronave, esta possui somente 1391 gramas, consegue atuar a uma altura de 6000 m acima do nível do mar, com velocidade máxima de subida de 6 m/s e de descida de 3 m/s, com capacidade de execução de,

em média, 25 minutos utilizando uma mesma bateria e operando, que corresponde a, aproximadamente, 20 hectares por voo.

O planejamento foi feito por meio do *software DJI TERRA*, no controle do *Phantom 4 PRO RTK*, foi realizado a uma velocidade média de 10 m/s e altura de 120 m, uma vez que a área de estudo está inserida na zona urbana, para que houvesse segurança no voo. Além disso, parametrizou-se a taxa de sobreposição lateral em 60% e a longitudinal em 80%. Conectou-se o drone ARP ao seu RTK para fins de maior acurácia e georreferenciamento.

Figura 08 - ARP *Phantom 4 PRO RTK* utilizada para realizar o aerolevantamento.



Fonte: Banco de dados do Núcleo Acesso à Terra Urbanizada, 2019.

O *software Agisoft Photoscan* foi utilizado para alinhar e unir as fotografias obtidas durante o voo, além disso, o programa também foi responsável pela geração do Ortomosaico, do Modelo Digital de Superfície (MDS) e do relatório de voo.

Os modelos criados pelo *Agisoft Photoscan* foram inseridos no *software QGIS* para análise. Inicialmente, o modelo digital de elevação obtido pelo alinhamento das fotos de drone e o processamento foi inserido no SIG para análise. Neste *software*, esse MDE recebe uma correção para uma parametrização mais adequada dos seus dados, sua simbologia deve ser

alterada para um melhor tipo de renderização, o modelo usado foi o “Banda simples falsa-cor” com cores mais quentes para as maiores altitudes e mais frias para as menores. Além disso, o modelo foi recortado no formato delimitado pela área de estudo.

O ortomosaico também foi adicionado ao *software* QGIS versão 3.22.11 em coordenadas da projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM) com *datum* SIRGAS 2000, zona 24S. A partir desse modelo delimitou-se a área de estudo, as áreas do rio e os eixos por onde o rio passava. Também foi possível produzir os mapas temáticos de Uso e Ocupação da Terra, por meio do método NDVI e da vetorização e Áreas de Preservação Permanente (APP), utilizando a ferramenta *buffer* (contorno) do QGIS.

4.2.1 Delimitação da área potencialmente atingidas

A parametrização utilizada no mapa de Uso e Ocupação da Terra baseou-se na classificação proposta pelo Ministério das Cidades (BRASIL, 2007), pela classificação usada por Hora e Gomes (2009) e pela utilizada pelo IBGE na contagem da população, onde define as áreas em consolidadas e não consolidadas, ou subnormais. As primeiras são as mais ocupadas e com infraestrutura básica, enquanto as segundas estão, em sua maioria, em localidades irregulares e clandestinas. Além disso, classifica-se também as áreas de predomínio vegetal, identificadas como áreas não habitadas. Baseando-se nesses parâmetros, utilizou-se da fotointerpretação, geoprocessamento e do método NDVI. Com base no mapa de Uso e Ocupação da Terra é possível analisar a permeabilidade do solo no município estudado.

Segundo a metodologia de Hora e Gomes (2009), que propõe estudo para mapeamento e avaliação do risco à inundação, pode-se encontrar parâmetros para compreensão da vulnerabilidade à inundação, conforme a Tabela 01, onde quanto maior o coeficiente, maior a vulnerabilidade do local.

Tabela 01 - Valor atribuído ao uso e ocupação em função da vulnerabilidade.

Uso e ocupação	Valor da vulnerabilidade
Área consolidada	0,50
Vegetação viária	0,25

Área subnormal	1,00
Área descoberta/degradada	0,05
Área de pista de pouso	0,25
Área consolidada em estágio inicial	0,75
Área subnormal em expansão	1,00
Área de cultivo/pastagem	0,05
Gramínea	0,05
Vegetação Ciliar	0,05
População deslocada	0,05
População relocada	0,5

Fonte: Hora e Gomes, 2009.

A identificação de Áreas de Preservação Permanente foi feita obedecendo o Código Florestal, com base na Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que regulamenta as Áreas de Preservação Permanente como sendo situadas à:

“I - as faixas marginais de qualquer curso d’água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

- a) 30 (trinta) metros, para os cursos d’água de menos de 10 (dez) metros de largura;
- b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d’água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- c) 100 (cem) metros, para os cursos d’água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
- d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d’água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
- e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d’água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

II - as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de:

a) 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros;

b) 30 (trinta) metros, em zonas urbanas;”.

Leandro (2013) determina um critério para mensurar a fragilidade em Áreas de Preservação Permanente, com base nas leis ambientais do país, mapeando as áreas que deveriam ser APP e os entornos dos corpos de água em áreas urbanas, conforme verifica-se na Tabela 02.

Tabela 02 - Índice de fragilidade ambiental em função da ocupação humana em Áreas de Preservação Permanente.

Existência de Áreas de Preservação Permanente	Fragilidade
Áreas de Preservação e corpos de água em área urbana sejam naturais ou artificiais, 30 metros em seu entorno.	Alta
Áreas que distam até 500 metros de Áreas de Preservação e de corpos de água em área urbana sejam naturais ou artificiais.	Média
Outras.	Baixa

Fonte: Leandro, 2013.

Por meio do levantamento aerofotogramétrico, realizado com o *Phantom 4 PRO RTK*, foi possível produzir o Modelo Digital de Superfície (MDS), identificando as altimetrias do terreno. Esse mapa é muito importante para identificação das áreas de risco à inundação, pois altimetrias próximas ou inferiores às cotas máximas do rio demonstram localidades de provável inundação.

4.2.2 Classificação de risco

Delimitadas as áreas de risco, essas foram caracterizadas conforme os critérios do Ministério das Cidades (2005), em graus de probabilidade de risco: Muito Alto, Alto, Médio e Baixo, conforme a Tabela 03.

Tabela 03 - Critério para a determinação dos graus de risco.

Grau de Probabilidade	
Risco Muito Alto	Alta frequência de ocorrência (pelo menos 03 eventos significativos em 05 anos) e envolvendo moradias de alta vulnerabilidade.
Risco Alto	Média frequência de ocorrência (registro de 01 ocorrência significativa nos últimos 05 anos) e envolvendo moradias de alta vulnerabilidade.
Risco Médio	Média frequência de ocorrência (registro de 01 ocorrência significativa nos últimos 05 anos).
Risco Baixo	Baixa frequência de ocorrência (não registro de ocorrências significativas nos últimos 05 anos)

Fonte: Adaptado de Ministério das Cidades (2005)

O risco pode ser calculado a partir da análise do perigo e da vulnerabilidade à inundações (SAUERESSIG, 2012). Seguindo a metodologia proposta pela autora, em relação ao perigo que estão sujeitas as habitações pode-se classificar em: baixo grau, para inundações com maior tempo de recorrência e, alto grau, para inundações recorrentes. Em relação à vulnerabilidade, a autora a classifica em: baixo grau, para moradias com bom padrão construtivo, em bom estado de conservação e localizadas em áreas com maior teor de urbanização; médio grau, para casas de médio padrão construtivo, antigas, pouco conservadas e localizadas em áreas que não são totalmente calçadas; alto grau, para moradias com padrão construtivo precário, sem conservação e manutenção e localizadas em áreas com ruas de chão.

Realizou-se um estudo bibliográfico para mapear e caracterizar o histórico de inundações na cidade de Mossoró/RN, e verificar a ocorrência de inundações. Para isso, pesquisou-se as ocorrências em jornais, noticiários televisivos disponíveis na internet, sites online, trabalhos anteriores com finalidades semelhantes a este, redes sociais, entre outros.

Para identificar o grau de risco, Saueressig (2012), desenvolveu quatro arranjos em função do perigo e vulnerabilidade: risco muito alto; alto; médio e baixo. Conforme pode ser observado no Tabela 04.

Tabela 04 - Estabelecimento do grau de risco

Perigo Baixo		Risco Baixo	
Perigo Alto	Vulnerabilidade Baixa		Risco médio
	Vulnerabilidade Média		Risco Alto
	Vulnerabilidade Alta		Risco Muito Alto

Fonte: Adaptado de Saueressig, 2012.

Assim, para caracterizar a área como risco baixo, está localizada em locais onde as inundações são extraordinárias, com padrão construtivo das habitações é variado; risco médio, locais com inundação ordinária e habitações com bom padrão construtivo; risco alto, locais com inundação ordinária e médio padrão construtivo e; risco alto, atingida por inundações ordinárias e baixo padrão construtivo.

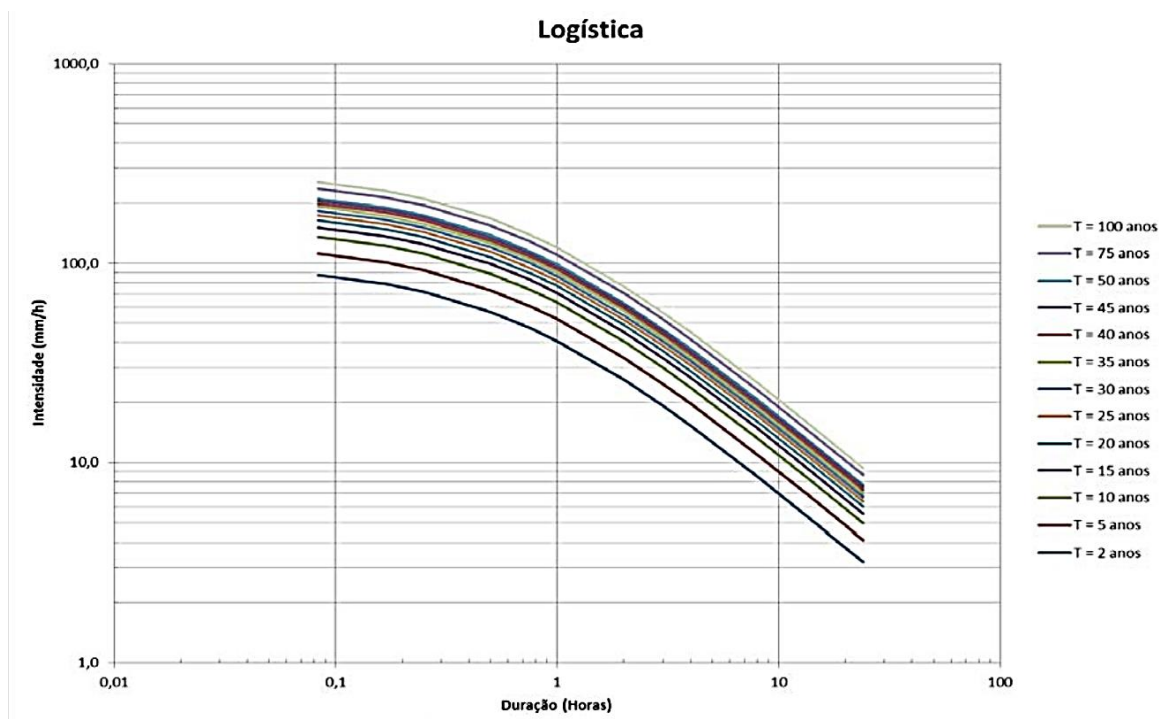
Identificando os aspectos atenuantes para o risco de inundação, que podem ser naturais ou antrópicos, o primeiro relaciona-se fatores temporais, geográficos e climáticos e o segundo devido às atividades humanas. Um dos parâmetros mais importantes é a precipitação.

4.2.3 Análise pluviométrica

A pluviometria da cidade de Mossoró foi analisada através dos relatórios disponibilizados pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do RN, buscando-se os dados meteorológicos, foi possível visualizar os relatórios pluviométricos em função da média histórica de precipitação identificada entre 1990 e 2020, bem como os relatórios pluviométricos de cada um dos quatro postos identificados no município. Esses dados foram coletados em um espaço de 30 anos e, a partir deles foi possível identificar o aumento do nível da cota dos rios em função da precipitação no local. Por consequência, possibilitou-se a delimitação da área inundada para a precipitação solicitada.

O Projeto Atlas Pluviométrico do Brasil utiliza dados da estação para gerar as curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF), a partir delas é possível compreender a intensidade das chuvas do município de Mossoró/RN, conforme Figura 09.

Figura 09 - Curvas intensidade-duração-frequência.



Fonte: Programa Geologia do Brasil - Levantamentos da Geodiversidade, 2014.

A equação geral da intensidade da precipitação, adotada para geração das curvas IDF pode ser dada com base nos parâmetros: duração e tempo de retorno, com a adição de coeficientes característicos para cada região. A equação característica para o município de Mossoró pode ser identificada abaixo:

$$i = \frac{2540,4T^{0,2757}}{(t+39)^{0,914}} \quad (01)$$

Onde:

i é a intensidade da chuva (mm/h);

T é o tempo de retorno (anos);

t é a duração da chuva (minutos).

A equação 01 é válida para o tempo de retorno de até 100 anos e durações de 5 minutos a 24 horas, com base nas características identificadas no estudo das precipitações da cidade realizado pelo Programa Geologia do Brasil, do Projeto Atlas Pluviométrico (2014).

É necessário para o dimensionamento ou análise hidrográfica conhecer os dados pluviométricos e metodologias que possibilitem a transformação destes em quantitativo de vazão, estimando a vazão causada pela pluviometria no curso d'água é possível entender o aumento de nível da cota máxima e o extravasamento, identificando as áreas que serão inundadas em decorrência daquela precipitação.

Um dos métodos mais comuns e usuais para calcular vazões máximas a partir da transformação de chuva em vazão são os métodos baseados no hidrograma unitário e o método racional. Esse último pode ser adotado em pequenas bacias, com chuvas de menor duração (SANTOS, 2010).

Alguns autores delimitam a metodologia que deve ser utilizada conforme a área da bacia. Para o Departamento de Esgotos Pluviais de Porto Alegre (2005), em seu Plano Diretor de Drenagem, é possível utilizar o método racional para áreas de até 2 km². MOTH (1998) limita a área da bacia em até 10 km². Para Tucci (2004) e Pinto *et al.* (1973) a área é de 2 a 5 km², os autores também limitam o tempo de concentração a menos de 1 hora. WSDOT (1997) afirma que o método é adequado para áreas de, no máximo, 4 km².

ASDOT (1995) e VDOT (2001) recomendam o método racional para áreas de 0,81 km², podendo chegar a até 1,21 km² se a bacia for homogênea e regular. Já GDOE (2001) é mais conservador em sua análise, recomendando o método para áreas de até 0,2 km².

A vazão máxima é mensurada a partir da intensidade da precipitação, da área da bacia e do coeficiente de deflúvio (C), esse é estimado com base nas características fisiográficas da bacia. Tucci (2004) realiza um estudo sobre os parâmetros da bacia para avaliar o coeficiente de deflúvio, conforme pode ser observado nas Tabelas 05 e 06.

Tabela 05 - Coeficiente de Deflúvio de acordo com a natureza da superfície.

Natureza da Superfície	Coeficiente “C”
pavimentadas com concreto	0,80 a 0,95
asfaltadas em bom estado	0,85 a 0,95
asfaltadas e má conservadas	0,70 a 0,85
pavimentadas com paralelepípedos rejuntados	0,75 a 0,85
pavimentadas com paralelepípedos não rejuntados	0,50 a 0,70

pavimentadas com pedras irregulares e sem rejuntamento	0,40 a 0,50
Macadamizadas	0,25 a 0,60
Encascalhadas	0,15 a 0,30
passeios públicos (calçadas)	0,75 a 0,85
Telhados	0,75 a 0,95
Terrenos livres e ajardinados:	
solos arenosos	
$I \leq 2\%$	0,05 a 0,10
$2\% < I < 7\%$	0,10 a 0,15
$I \geq 7\%$	0,15 a 0,20
solos pesados	
$I \leq 2\%$	0,15 a 0,20
$2\% < I < 7\%$	0,20 a 0,25
$I \geq 7\%$	0,25 a 0,30

Fonte: Adaptado de Tucci (2004).

Tabela 06 - Coeficiente de Deflúvio de acordo com o tipo de ocupação da área.

Tipo de Ocupação da Área	Coeficiente “C”
áreas centrais, densamente construídas, com ruas pavimentadas	0,70 a 0,90
áreas adjacentes ao centro, com ruas pavimentadas	0,50 a 0,70
áreas residenciais com casas isoladas	0,25 a 0,50
áreas suburbanas pouco edificadas	0,10 a 0,20

Fonte: Adaptado de Tucci (2004).

O cálculo da vazão máxima pelo método racional em m³/s pode ser dado pela equação (2):

$$Q = \frac{C \times i \times A}{360} \quad (2)$$

Onde:

i é a intensidade média, em mm/h;

A é a área da bacia, em ha;

C é o Coeficiente de Deflúvio, adimensional;

Caso o cálculo da vazão máxima seja para um período de retorno, pode-se multiplicar o coeficiente “C” pelos fatores de correção, conforme a Tabela 07.

Tabela 07 - Fator de correção do coeficiente de escoamento superficial em função do período de retorno.

Período de retorno (anos)	Fator de correção (Cf)
2 a 10	1
25	1,1
50	1,2
100	1,25

Fonte: Wright-McLaughlin, *apud* Tucci (2004).

Outro fator importante para compreender o comportamento da precipitação na bacia é o tempo de concentração, que corresponde ao período em que a água leva para percorrer desde o ponto mais distante da bacia até o exutório. Estimou-se o tempo de concentração da chuva dentro dos trechos de rio com base na Equação de Kirpich (1940), que, segundo Franco (2004) pode ser utilizada para bacias pequenas, com área de no máximo 0,50 km² e baixas declividades, de 3% a 10%.

Conforme observado no Modelo Digital de Elevação a declividade do trecho analisado é muito baixa, sendo pouco percebida, dessa forma, considera-se adequado o uso da Equação de Kirpich (3).

$$tc = \left(0,87 \frac{L^3}{Dh}\right)^{0,385} \quad (3)$$

Onde:

tc é o tempo de concentração, em h;

L é o comprimento do talvegue, em km;

Dh é a declividade do talvegue, em m/m.

4.2.4 Simulação das manchas de inundação

Para visualizar as áreas de prováveis inundações utilizou-se o *software Hydrologic Engineering Center-River Analysis System* (HEC-RAS), que faz modelagem hidráulica, podendo ser usado em um ambiente multitarefa, o programa dispõe de uma interface gráfica para inserção, armazenamento e gerenciamento de dados geográficos e uma saída gráfica, tabular e de recursos de relatório (2002).

A modelagem no *software* HEC-RAS utilizou dos dados geométricos do terreno e dos trechos do Rio Apodi-Mossoró, incluindo o MDE do tipo MDS, dos dados hidrográficos apresentados acima e dos coeficientes de rugosidade. Para estimar esse parâmetro utilizou-se do acervo de dados do programa HEC-RAS. Para a região do rio utilizou-se o *n* de *Manning* igual a 0,055 e para a zona vizinha, que é área urbana, utilizou-se o parâmetro igual a 0,016, conforme a Tabela 08.

Tabela 08 - Valores *n* de *Manning*.

Tipo de canal e descrição	Mínimo	Normal	Máximo
Canais Principais			
Limpo, sinuoso, algumas piscinas e cardumes, estágios mais baixos, inclinações e seções mais ineficazes	0,040	0,048	0,055
Asfalto			
Rude	0,016	0,016	

Fonte: Adaptado do Manual de Referência Hidráulica HEC-RAS, 2022.

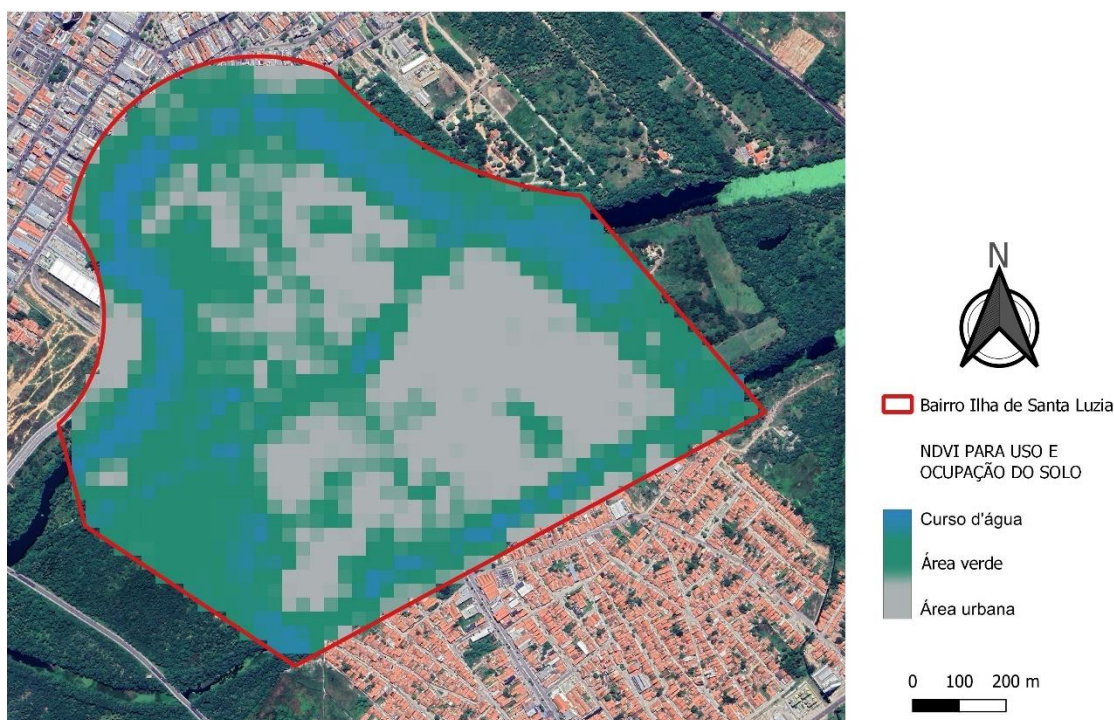
As manchas de inundação geradas pelo HEC-RAS foram adicionadas ao QGIS para visualização no ortomosaico e comparação aos mapas de Uso e Ocupação do Solo, Áreas de Preservação Permanentes e Modelo Digital de Elevação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Identificação das áreas de vulnerabilidade

A partir da análise dos resultados obtidos pelo levantamento aerofotogramétrico, realizado pela ARP, foi possível classificar as áreas de acordo com seu uso e ocupação do solo no local estudado, como pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 - Mapa de uso e ocupação do solo no bairro Ilha de Santa Luzia, conforme NDVI.



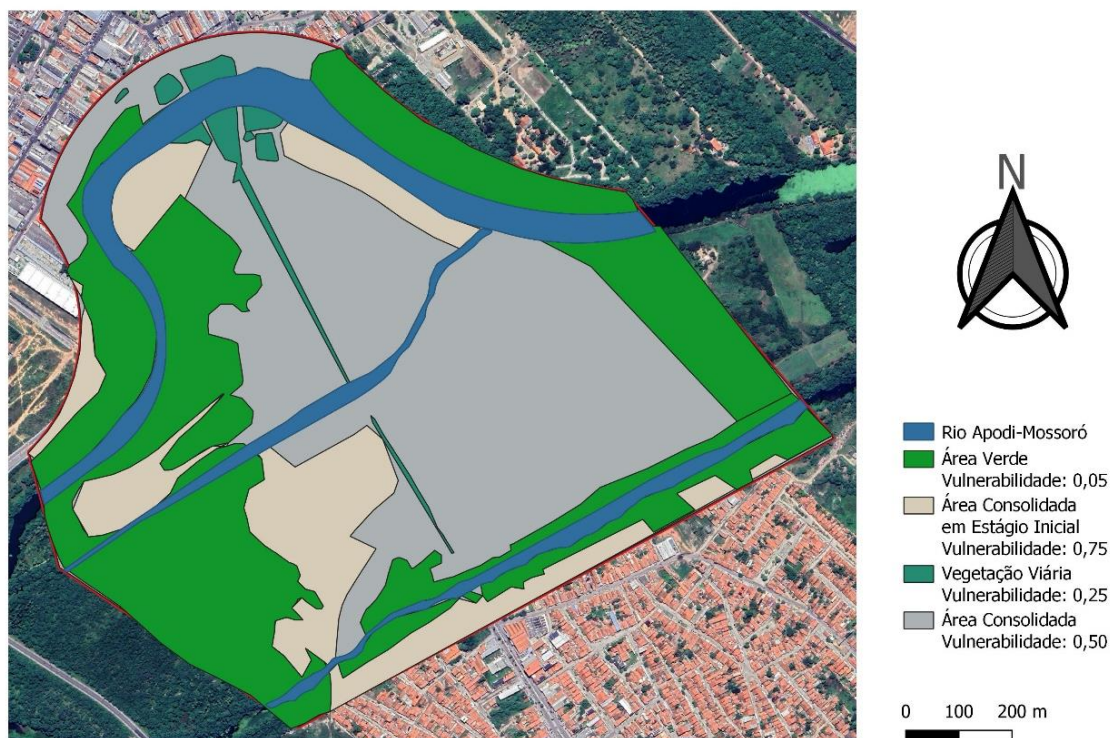
Fonte: Autoria própria, 2022.

Quanto ao uso e ocupação do solo, é possível identificar três usos principais: Ocupação por área verde e com baixa urbanização; ocupação do rio Apodi-Mossoró e zona urbana de áreas consolidadas, sendo o uso mais expressivo o que se volta para a área urbana, o que demonstra urbanização consolidada em grande parte do local de estudo.

Na área de estudo, pode-se encontrar áreas consolidadas, vegetação viária, e as áreas verdes, onde pode-se agrupar as áreas de cultivo/pastagem, gramínea e vegetação ciliar. Seguindo a metodologia proposta na Tabela 01, os valores variam de 0,05 a 1,00, onde o maior valor representa a maior vulnerabilidade da habitação com relação às consequências da

inundação. A Figura 11 mostra a aplicação dos índices de vulnerabilidade nas áreas delimitadas pelo uso e ocupação.

Figura 11 - Delimitação das áreas de uso e ocupação e índice de vulnerabilidade à inundação.



Fonte: Autoria própria, 2022.

A identificação e parametrização do uso e ocupação do solo é de extrema importância para o mapeamento de áreas de risco a inundação principalmente em função do escoamento superficial e drenagem urbana, que, se feita de maneira inadequada, fica sensível a inundações (GEISSLER, 2012).

É perceptível, a partir da análise da Figura 11, que as áreas consolidadas têm grande influência na zona estudada, o que demonstra um processo de urbanização desenvolvido. Além disso também é notável a proximidade dessas com a área do rio. Observa-se, também, expressividade nas zonas verdes. Dessa maneira, as áreas caracterizadas como consolidadas e consolidadas em estágio inicial têm um valor mais elevado de vulnerabilidade, em razão do escoamento superficial e dos possíveis problemas de drenagem urbana e possuem grande destaque na zona de estudo.

5.2 Identificação das áreas de uso restrito

As Áreas de Preservação Permanente (APP) correspondem a localidades que objetivam a preservação dos recursos naturais, da paisagem, estabilidade ecológica, biodiversidade e bem-estar da população (Brasil, 2012). A Figura 12 mostra a delimitação das APP na zona de estudo, conforme a Lei N° 12.651 (2012) mediu-se a largura do curso d'água, que foi de aproximadamente 30 metros no trecho principal (da esquerda) e 10 metros nos outros dois trechos, e aplicou um deslocamento de 50 metros para determinar a área.

Figura 12 - Delimitação das Áreas de Preservação Permanente.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Observa-se, na área de estudo, que grande parte do trecho que deveria ser reservado para preservação ambiental foi modificado pela ação humana.

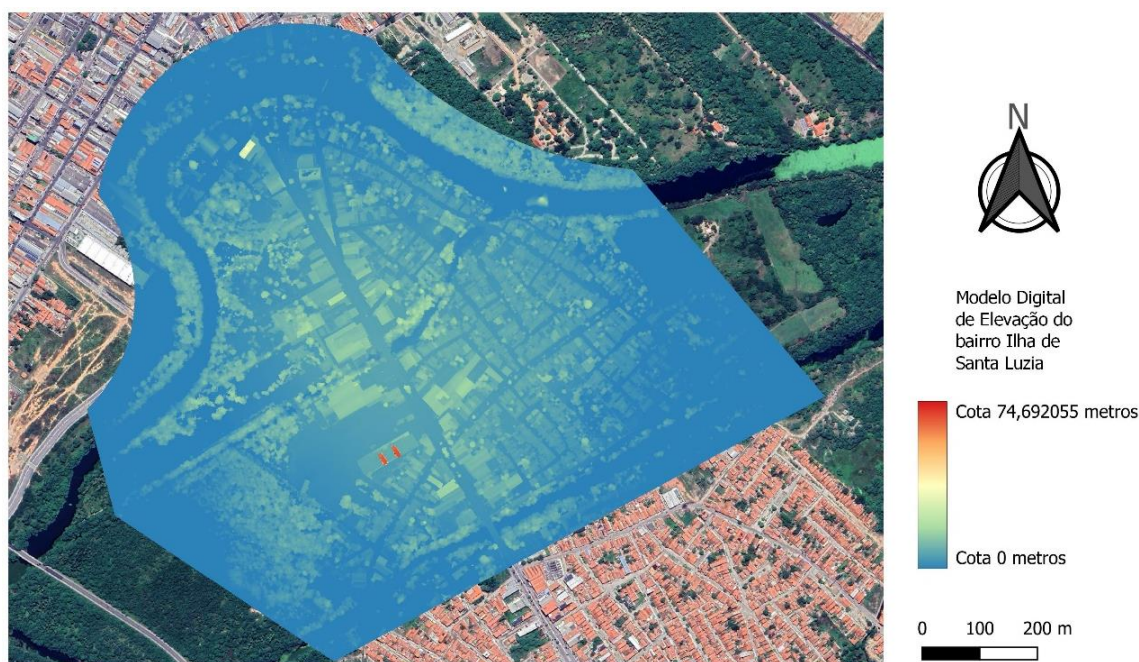
Considerando-se a metodologia proposta e a Tabela 02, compreende-se que parte da área, referente aos primeiros 30 metros de deslocamento, possui alta fragilidade ambiental e a outra, referente aos 20 metros finais de deslocamento, possui média fragilidade ambiental.

Araújo (2002) relaciona a ocorrência de desastres naturais com o uso inadequado às áreas de APP, como o assoreamento de corpos d'água, deslizamentos de encostas e enchentes

e inundações, devido à proximidade da zona urbana aos leitos dos rios, resultado do desrespeito à delimitação das Áreas de Preservação Permanente.

Um parâmetro muito importante para mensurar as áreas de inundação é a declividade do terreno, para isso, analisou-se o Modelo Digital de Superfície gerado pelo processamento no *Agisoft Metashape*, conforme pode ser observado na Figura 13.

Figura 13 - Modelo Digital de Superfície da área de estudo obtido pelo processamento do levantamento aerofotogramétrico.



Fonte: Autoria própria, 2022.

A partir da inserção do Modelo Digital de Superfície no *software* QGIS pôde-se compreender as altimetrias do terreno em relação ao rio Apodi-Mossoró. Percebe-se que a área mais próxima aos bairros que estão à esquerda e à direita da área de estudo (Centro e Alto de São Manoel, respectivamente) são mais baixas em relação à área mais central da Ilha de Santa Luzia, entretanto, as cotas de toda a zona de estudo são muito próximas a cota do rio Apodi-Mossoró, o que intensifica o risco à inundação. Devido à proximidade de valores de cotas do terreno, observa-se uma baixa declividade na zona de estudo.

O clima do município onde se localiza a área de estudo, Mossoró, caracteriza-se como semiárido e com altas temperaturas, com maiores períodos de seca e pequenos de estação chuvosa (fevereiro a maio), sendo que há um período super úmido no mês de março. A partir dos dados da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (Emparn), que

fornece informações coletadas nas quatro estações pluviométricas distribuídas nas proximidades da cidade.

O relatório pluviométrico por posto, no período de 30 anos até o ano de 2020 para os seguintes postos: Fazenda Angicos, da Agência Nacional de Águas (ANA); Mossoró, da Agência Nacional de Águas (ANA); e Mossoró, da Prefeitura de Mossoró. Todos os dados pluviométricos têm taxa de tolerância de até 25% de falhas.

Os relatórios pluviométricos dos postos contêm a chuva acumulada mensal no último ano, a média histórica de cada mês até aquele ano, o desvio percentual do mês do último ano em relação a sua média histórica; o número de veranicos, período de temperaturas elevadas durante o inverno (ASSIS; FERREIRA; SILVA, 2013), no mês do último ano; o número de dias do maior veranico histórico; a quantidade de dias da maior chuva no mês do último ano e a precipitação dessa chuva. Para compreender o desempenho da precipitação no município, analisou-se a chuva acumulada; média histórica, desvio percentual e quantidade de dias da maior chuva, conforme Tabelas 09, 10 e 11.

Tabela 09 - Relatório pluviométrico (1990 - 2020) do município de Mossoró/RN - Posto Fazenda Angicos - ANA.

Mês	Chuva acumulada, referente a 2020 (mm)	Média Histórica (mm)	Desvio Percentual (%)	Quantidade de dias da maior chuva, referente a 2020
Janeiro	45,8	84,2	-45,6	1
Fevereiro	124,7	109	14,5	1
Março	262,6	163,7	60,4	1
Abril	198,2	183,1	8,3	1
Maio	162,8	91,6	77,7	1
Junho	90,8	49,9	82,1	1
Julho	42,5	27,2	56,4	1
Agosto	0	4,6	-100	1
Setembro	0	1,2	-100	1
Outubro	0	0,8	-100	1

Novembro	17	1	1550,5	1
Dezembro	0	9,4	-100	1
Total	944,4	725,5	30,2	-

Fonte: Adaptado da Emparn, 2022.

Tabela 10 - Relatório pluviométrico (1990 - 2020) do município de Mossoró/RN - Posto Mossoró - ANA.

Mês	Chuva acumulada, referente a 2020 (mm)	Média Histórica (mm)	Desvio Percentual (%)	Quantidade de dias da maior chuva, referente a 2020
Janeiro	59,1	98,9	-40,2	1
Fevereiro	245	147	66,6	1
Março	440,5	235,9	86,7	1
Abril	224,6	240,5	-6,6	1
Maio	127,5	137,2	-7,1	1
Junho	70,7	71,6	-1,3	1
Julho	81,2	38,5	111,2	1
Agosto	0	9,3	-100	1
Setembro	0	3,2	-100	1
Outubro	0	0,4	-100	1
Novembro	13,1	0,7	1884,8	1
Dezembro	0	9,7	-100	1
Total	1261,7	992,9	27,1	-

Fonte: Adaptado da Emparn, 2022.

Tabela 11 - Relatório pluviométrico (1990 - 2020) do município de Mossoró/RN - Posto Prefeitura - Prefeitura de Mossoró.

Mês	Chuva acumulada, referente a 2020	Média Histórica	Desvio Percentual	Quantidade de dias da maior chuva,
------------	--	----------------------------	------------------------------	---

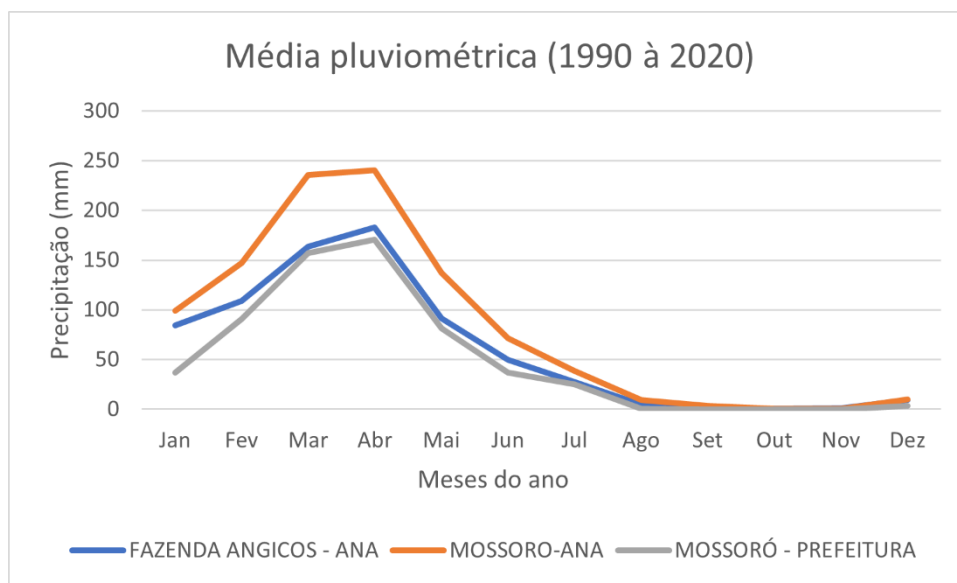
	(mm)	(mm)	(%)	referente a 2020
Janeiro	27,9	37	-24,5	1
Fevereiro	137,8	91	51,4	1
Março	406,6	156,9	159,1	1
Abril	277	170,6	62,3	1
Maior	161,7	81,6	98,2	1
Junho	82,5	36,6	125,2	1
Julho	67,2	25,3	166,1	1
Agosto	0,5	0,4	13,6	1
Setembro	1,3	0,1	1525	1
Outubro	0	0	0	1
Novembro	6,5	0,2	3321,1	1
Dezembro	0	3,3	-100	1
Total	1169	603	93,9	-

Fonte: Adaptado da Emparn, 2022.

Constata-se que, no ano de 2020, a chuva acumulada mensal foi superior em quase todos os meses às médias pluviométricas históricas. Essa situação já pode ser esperada ao analisar o histórico de inundação do município, que retrata o ano de 2020 como um período de fortes chuvas.

Além disso, observa-se que os maiores níveis pluviométricos correspondem, tanto no ano de 2020 quanto em relação à média histórica, aos meses de março e abril, sendo que após julho esses valores caem bruscamente, o que reflete a escassez pluviométrica em grande parte do ano, conforme Figura 14.

Figura 14 - Média pluviométrica histórica para a cidade de Mossoró/RN entre 1990 e 2020.



Fonte: Autoria própria, com base nos dados da Emparn, 2022.

Além disso, também obteve-se dados sobre a máxima precipitação até o ano de 2020, considerando-se um período de 30 anos, e a data da precipitação, com base nos três postos citados, conforme Tabela 12.

Tabela 12 - Média histórica de precipitação até o ano de 2020.

Posto pluviométrico	Precipitação máxima (mm)	Data da precipitação máxima
FAZENDA ANGICOS - ANA	621.0	01/2004
MOSSORÓ - ANA	708.2	04/1996
PREFEITURA	406.6	03/2020

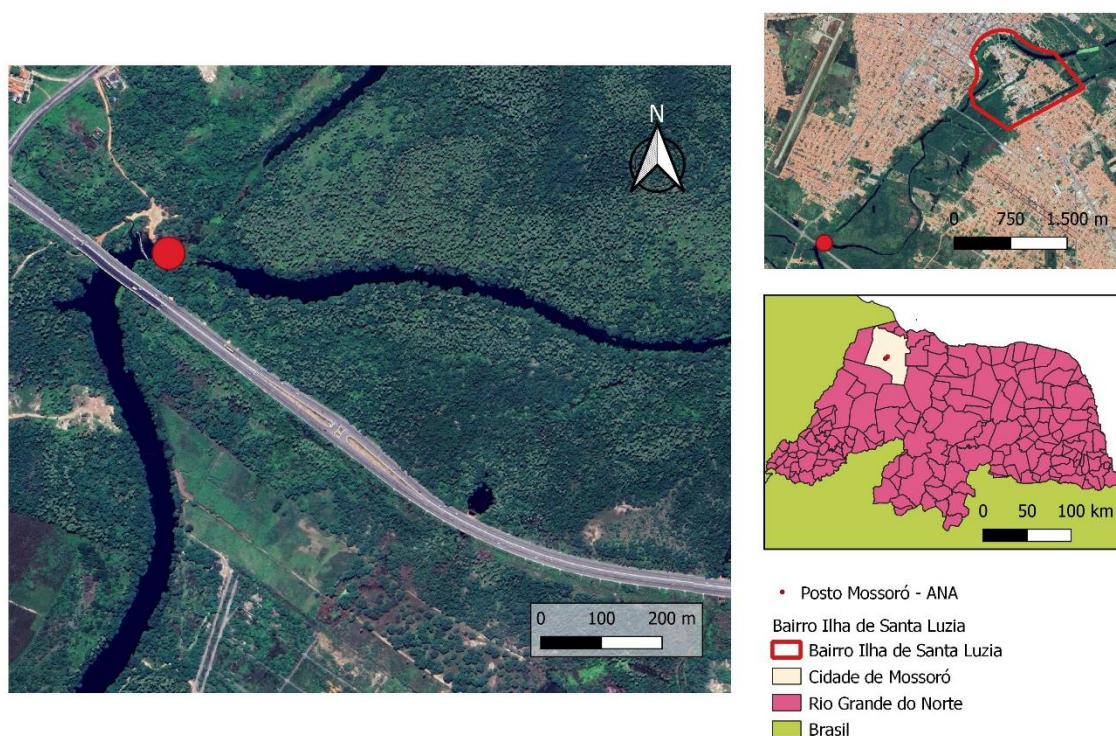
Fonte: Adaptado da Emparn, 2022.

O valor máximo de precipitação medido por cada um dos postos é diferente, devido à localização desses postos. Pela proximidade com o rio Apodi-Mossoró e por ser um maior valor dentre os três, visando simular a situação mais extrema, a precipitação máxima medida pelo posto Mossoró, da Agência Nacional de Águas foi escolhido para simular no *software* as manchas de inundação na área de estudo.

5.3 Delimitação das áreas com risco de inundação

Para a obtenção da curva IDF o projeto utilizou de dados da estação de Mossoró - ANA, coletadas pela Agência Nacional de Águas no site HidroWeb, que está localizada na latitude $5^{\circ}13'10''\text{S}$ e longitude $37^{\circ}21'44''\text{W}$, próximo ao Rio Apodi-Mossoró, como pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 - Localização da Estação Pluviométrica Mossoró - ANA.



Fonte: Autoria própria, com base nos dados do Google Earth, 2022.

A partir das equações, com base na metodologia e no método racional, e da mensuração de informações por vetorização no software QGIS, obtém-se os dados principais dos três trechos do rio que passam pela área de estudo, conforme pode ser observado na Tabela 13.

Tabela 13 - Dados geométricos e hidrográficos dos trechos do Rio Apodi-Mossoró que cortam a área de estudo.

Dados	Trecho 01	Trecho 02	Trecho 03
Área (ha)	9,359	1,864	2,267
Comprimento (km)	1,865	1,075	1,179

Precipitação (mm)	708,2	708,2	708,2
Declividade (m/m)	0,001	0,001	0,001
Tempo de concentração (min)	0,46	0,25	0,27
Intensidade (mm/min)	1523,539	2879,185	2587,430
Coeficiente de Deflúvio	0,60	0,60	0,60
Vazão (m³/s)	24,160	9,094	9,938

Fonte: Autoria própria, 2022.

Com esses parâmetros, o processamento foi realizado no *software* HEC-RAS, que simulou as manchas de inundação com base nos dados de entrada dos trechos do rio e da zona de estudo (vazão máxima do rio, declividade, área dos trechos, perímetro dos trechos, jusante do rio, montante do rio, altimetrias da zona e coeficiente de escoamento superficial do rio e das regiões próximas), conforme os aspectos metodológicos do presente trabalho. Os resultados obtidos foram levados ao *software* QGIS para análise junto ao ortomosaico, conforme pode ser observado na Figura 16.

Figura 16 - Manchas de inundação geradas pelo software HEC-RAS.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Como pode ser observado na figura acima, as manchas com coloração mais avermelhada são aquelas que atingirão uma cota maior, dessa forma, essas áreas receberam um maior volume de água decorrente da inundação; enquanto as manchas com coloração mais azuladas serão atingidas com um volume menor de água.

Pode-se aferir que a região central da área de estudo não está sendo influenciada pelas manchas de inundação, o que é ressaltado ao analisar o Modelo Digital de Superfície, na Figura 13. Essa região tem a altimetria levemente superior a altimetria do rio, por consequência, é menos influenciada pelas manchas de inundação.

Já as regiões periféricas, em especial as que têm proximidade com os bairros Centro e Alto de São Manoel, possuem uma maior incidência de manchas de inundação e cotas mais próximas às do rio Apodi-Mossoró.

Pode-se conferir também que as regiões com a presença mais forte de manchas de inundação possuem uma maior proximidade com o rio Apodi-Mossoró. Ao se analisar as Áreas de Preservação Permanente (APP), conforme a Figura 11, nota-se que grande parte dessas manchas estão dispostas em locais que foram ocupados pela população, mas deveriam ser reservados para preservação ambiental.

Ao estudar o histórico de inundações na cidade, consegue-se entender que grande parte das inundações afeta a região mais próxima ao bairro Centro, que tem uma localidade perto ao leito principal do rio Apodi-Mossoró. Percebe-se, ainda, que grande parte das maiores cotas das manchas de inundação estão presentes nessa zona, o que averigua as situações percebidas pela análise bibliográfica.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da execução do presente trabalho foi possível identificar e mapear as áreas de risco de inundação na zona urbana do bairro Ilha de Santa Luzia, localizado no município de Mossoró, no estado do Rio Grande do Norte.

O bairro onde fica localizado a área de estudo é cortado pelo principal curso d'água do município de Mossoró, o Rio Apodi-Mossoró. Logo, observa-se que o local possui zonas propícias a áreas de inundação.

O levantamento aerofotogramétrico, através de ARP, possibilitou a produção do ortomosaico e do Modelo Digital de Elevação do tipo Modelo Digital de Superfície da zona de estudo.

Por meio do processamento no *software* QGIS foi possível caracterizar a área de estudo, identificando e analisando o uso e ocupação do solo e APP. Percebeu-se que a zona de estudo possui uma grande influencia de suas áreas consolidadas, além disso, observa-se ocupações antrópicas dentro da zona restrita de APP.

O histórico de precipitações na cidade de Mossoró permitiu o cálculo da vazão do rio decorrente da precipitação, que, em conjunto aos dados obtidos pelo Modelo Digital de Superfície e ortomosaico, delimitou as manchas de inundação no HEC-RAS.

Observa-se, a partir das manchas de inundação simuladas no *software* que as localidades próximas ao curso principal do rio são as mais afetadas, em seguida, as regiões urbanizadas que estão em cotas muito próximas as do rio e, depois, as regiões mais a montante do rio, que também têm altimetrias próximas ao rio.

Grande parte dessas regiões afetadas pelas manchas de inundação, ou seja, onde estão mapeadas as áreas de risco a inundação, são regiões urbanizadas e ocupadas pelo homem, mas que estão dentro dos limites de Áreas de Preservação Permanentes, de acordo com a Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012.

Assim, percebe-se a influência da gestão pública na vulnerabilidade a inundações. A ocupação irregular dessas áreas expõe a população local ao maior risco a desastres. Dessa

forma, é necessário realizar uma integração entre o gerenciamento dos recursos hídricos, gestão de riscos, planejamento e execução da infraestrutura urbana.

É preciso desenvolver estudos e estratégias para redução dos riscos, onde o Poder Público atue com projetos de redução das vulnerabilidades e fiscalização das normas ambientais e a população contribua com ações de sustentabilidade e respeito ao meio ambiente, visando o uso adequado do solo.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Leonlene de Sousa. **RISCO POR INUNDAÇÃO COSTEIRA NA FOZ ESTUARINA DO RIO APODI- MOSSORÓ/RN: APLICAÇÕES DE GEOTECNOLOGIAS E SIMULAÇÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS**. 2018. 132 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

Alerta: canais do rio obstruídos representam ameaça real de inundação do Centro de Mossoró. **Mossoró Hoje**, 2017. Disponível em:< <https://mossorohoje.com.br/noticias/15418-alerta-canais-do-rioobstruidos-representam-ameaca-real-de-inundacao-do-centro-de-mossoro>.> Acesso em: 10 de novembro de 2022.

ALMEIDA, Lutiane Queiroz de; CARVALHO, Pompeu Figueiredo de. **A negação dos rios urbanos numa metrópole brasileira**. Campus de Rio Claro. 2009.

AMARO, António. Consciência e cultura do risco nas organizações. **Territorium**, n. 12, p. 5-9, 2005.

ARAUJO, Daniel Roberto; SILVA, Paulo César Moura da; DIAS, Nildo da Silva; LIRA, Daniely Lidiany Costa. ESTUDO DA ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DO RIO MOSSORÓ NO SÍTIO URBANO DE MOSSORÓ-RN POR MEIO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 2, n. 25, p. 177-183, jun. 2012.

ARAÚJO, Jeferson. Imagens e Notícias dos usuários sobre: Evento de chuva histórico em Mossoró/RN 12/02/2017. **Clima Tempo**. 2017. Disponível em:< <https://www.climatempo.com.br/participe/22695/evento-de-chuva-historico-em-mossororn>.> Acesso em: 10/11/2022

ASSIS, Simone Vieira de; FERREIRA, Angélica Tavares; SILVA, Morgana Vaz da. SITUAÇÃO DESCONFORTANTE PROVOCADA PELA OCORRÊNCIA DE VERANICO. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p. 260-267, jul. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 15527: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

BARAN, Camilla Turon; SOUZA, Newton Moreira de. Método para Avaliação da Suscetibilidade e do Risco de Inundação no Município de Porto Velho, Bacia do Rio Madeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA. **Anais**. Campinas. 2020. p. 1-9.

BOLFE, Édson Luis; MATIAS, Lindon Fonseca; FERREIRA, Marcos César. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA: UMA ABORDAGEM CONTEXTUALIZADA NA HISTÓRIA. **Geografia**, Rio Claro, v. 33, n. 1, p. 69-88, mar. 2008.

BOTELHO, Rosangela Garrido Machado. Enchentes em áreas urbanas no Brasil. **Seminário A questão Ambiental Urbanan: expectativas e perspectivas (CD-ROM)**. Universidade de Brasília–Brasília (DF), 2004.

BRASIL. Constituição (2001). Lei nº 10.257, de 2001. **Lei Nº 10.257, de 10 de Julho de 2001..** Brasília, 2001.

BRASIL. Constituição (2012). Lei nº 12.608, de 2012. **Lei Nº 12.608, de 10 de Abril de 2012..** Brasília, 2012.

BRASIL. Constituição (2012). **Lei Nº 12.651, de 25 de Maio de 2012..** Brasília, DF, Disponível em:<https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 30 out. 2022.

BRUBACHER, João Paulo. **ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES, NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE IGREJINHA/RS**. 2013. 69 f. Monografia (Especialização) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

CARDOSO, Wallace Felipe Francisco; SILVA, Francisco Assis da; PAZOTI, Mário Augusto. GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DE TERRENO POR MEIO DA FILTRAGEM DE DADOS OBTIDOS POR VARREDURA A LASER UTILIZANDO UM MÉTODO BASEADO NO PRINCÍPIO DA DECLIVIDADE. **Colloquium Exactarum**, [S.I], v. 6, n. 1, p. 46-64, 18 jun. 2014. Associacao Prudentina de Educacao e Cultura (APEC). <http://dx.doi.org/10.5747/ce.2014.v06.n1.e068>.

CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. Escoamento Superficial. In: CARVALHO, Daniel Fonseca de; SILVA, Leonardo Duarte Batista da. **Hidrologia**. Rio de Janeiro: Ufrj, 2006. p. 96-115. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap7-ES.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2022.

Chuva alaga ruas e causa estragos em Mossoró. Tribuna do Norte. 2020. Disponível em: <<http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/chuva-alaga-ruas-e-causa-estragos-em-mossora/473500>>. Acesso em: 10/11/2022.

Chuva de 15 minutos provoca alagamentos em pelo menos 4 regiões de Mossoró. Mossoró Hoje. 2018. Disponível em: <<https://mossorohoje.com.br/noticias/15340-chuva-de-15-minutos-provoca-alagamentos-em-pelo-menos-4-regioes-de-mossoro>>. Acesso em: 10/11/2022.

CRUZ, Carla Bernadete Madureira; BARROS, Rafael Silva de; CARDOSO, Phillipe Valente; REIS, Rafael Balbi; ROSÁRIO, Luana Santos do; BARBOSA, Suzana dos Santos; RABACO, Lis Maria Leoni; LOURENÇO, Julia Silva de Queiroz. Avaliação da exatidão planialtimétrica dos modelos digitais de superfície (MDS) e do terreno (MDT) obtidos através do LIDAR. **ANAIS XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Curitiba. 2011. p.5463. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/attachment.cgi/dpi.inpe.br/marte/2011/06.27.14.49/doc/p1096.pdf>>. Acesso em: 28/11/2022.

DAGNINO, Ricardo de Sampaio; CARPI JUNIOR, Salvador. RISCO AMBIENTAL: CONCEITOS E APLICAÇÕES. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro, v. 2, n. 2, p. 50-83, dez. 2007.

DE ARAÚJO, Suely Mara Vaz Guimarães. As áreas de preservação permanente e a questão urbana. **Biblioteca Digital da Câmara**, 2002.

Defesa Civil de São Bernardo do Campo - SCS (org.). **Processos Hidrológicos Inundações, Enchentes, Enxurradas e Alagamentos na Geração de Áreas de Risco**. Vitória: Cprm - Serviço Geológico do Brasil, 2017. 49 p. Disponível em: <<https://defesacivil.es.gov.br/Media/defesacivil/Capacitacao/Material%20Didático/CBPRG%20-%202017/Processos%20Hidrológicos%20%20->

[%20Inundações,%20Enchentes,%20Enxurradas%20e%20Alagamentos%20na%20Geração%20de%20Áreas%20de%20Risco.pdf](#)>. Acesso em: 19 out. 2022.

DEFESA CIVIL RIO DE JANEIRO. Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE). Sem data. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.defesacivil.rj.gov.br/images/formularios/COBRADE.pdf>>. Acesso em: 12 Maio 2021.

Em tarde e noite com quase 100 mm de chuva, ruas alagam e teto de concessionária desaba em Mossoró. G1 Rio Grande do Norte. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2021/05/01/em-tarde-e-noite-com-quase-100-mm-de-chuva-ruas-alagam-e-teto-de-concessionaria-desaba-em-mossoro.ghml>>. Acesso em: 10/11/2022.

ESPÍNOLA SOBRINHO, José; PEREIRA, Vágna da Costa; OLIVEIRA, Alessandra Duarte de; SANTOS, Wesley de O.; SILVA, Nicolly K. Cavalcanti; MANIÇOBA, Rudah Marques. CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO NO MUNICÍPIO DE MOSSORÓ - RN. PERÍODO: 1900-2010. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. **Anais**. Guarapari: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2011. p. 1-4.

FAUSTINO, Lindomarcos. 1985, A MAIOR ENCHENTE DA HISTÓRIA DE MOSSORÓ. COLUNA RELEMBRANDO MOSSORÓ. MOSSORÓ ONLINE. 2022. Disponível em: <<https://mossoroonline.com.br/1985-a-maior-enchente-da-historia-de-mossoro/>>. Acesso em: 10/11/2022.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. GEOTECNOLOGIA APLICADA AO ESTUDO DE OBJETOS E FENÔMENOS DO MEIO FÍSICO. **Revista Geonorte**, [S.I], v. 4, n. 4, p. 146-154, jan. 2012.

FRUTUOSO, Gilciane Kariny da Costa; GRIGIO, Alfredo Marcelo; BARROS, Terezinha Cabral de Albuquerque Neta. Inundações urbanas: um olhar para o planejamento urbano na revisão do plano diretor de Assú – RN, Brasil. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, Tupã, v. 08, n. 61, p. 118-134, jun. 2020.

GEISSLER, Helenne Jungblut. **AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS DE INUNDAÇÕES NO PLANEJAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO**. 2012. 160 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

KAISER, I. M. **Modelos Chuva-Vazão**. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-17042006-222747/publico/3-Modelos.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2022.

LEANDRO, Diuliana. **MODELAGEM DE FRAGILIDADE AMBIENTAL USANDO ÍNDICES BASEADOS EM DADOS ESPACIAIS E COM SUPORTE DE SISTEMA ESPECIALISTA**. 2013. 134 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

LIMA, Higo. 40 mm de chuva param Mossoró. Jornal de Fato. 2010. Disponível em: <<http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/40-mm-de-chuva-param-mossoro/144851>>. Acesso em: 10/11/2022.

MACÊDO, M. N. C.; DIAS, H. C. T.; COELHO, F. M. G.; ARAÚJO, E. A.; SOUZA, M. L. H.; SILVA, E. Precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla, Amazônia Ocidental. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 206-221, mar. 2013. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/1980-993x>.

MACIEL, Gabriel Henrique da Silva; MOLISANI, Henrique; SPADACIO, Rafael Zaratino. **A INFLUÊNCIA DA IMPERMEABILIZAÇÃO NOS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA**. 2021. 84 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade Atibaia, Atibaia, 2021.

MARTINS, José Rodolfo Scarati. **Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente?** São Paulo, p. 1-11, jul. 2012.

MEDEIROS, M. D. de; ZANELLA, M. E. ESTUDO DAS VAZÕES E ESTIMATIVAS DE INUNDAÇÕES NO BAIXO-AÇU-RN. **Geo Uerj**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 34, p. 1-30, 15 abr. 2019. Universidade de Estado do Rio de Janeiro. <http://dx.doi.org/10.12957/geouerj.2019.40946>.

MENDES, Felismina. Risco: um conceito do passado que colonizou o presente. **Ensp - Revista Portuguesa de Saúde Pública**, Lisboa, v. 20, n. 2, p. 53-62, dez. 2002.

Ministério das Cidades (org.). **MAPEAMENTO DE RISCOS EM ENCOSTAS E MARGENS DE RIOS**. Brasília: Instituto de Pesquisas Tecnológicas - Ipt, 2007. 176 p.

Ministério de Minas e Energia (org). **ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL**: equações intensidade-duração-frequência. Belém: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2014.

MORAES, Elisabete Caria de. **FUNDAMENTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO**. São José dos Campos: Inpe, 2002. 23 p.

Mossoró é atingida por tempestade de ciclone tropical e vivencia transtornos. Mossoró Hoje. 2022. Disponível em:< <https://mossorohoje.com.br/noticias/41216-mossoro-e-atingida-por-tempestade-de-ciclone-tropical-e-vivencia-transtornos>>. Acesso em: 10/11/2022.

MOSSORÓ. Constituição (2006). **Lei Complementar N.O 012/2006**. 1. ed. Mossoró,

MOTA, T. U. **ASSOCIAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS SCS-CN E GRADEX PARA CÁLCULO DE VAZÕES MÁXIMAS**. 2016. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Disponível em:<<https://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1245M.PDF>>. Acesso em: 20 set. 2022.

NEVES, M. Patrão. Sentidos da vulnerabilidade: característica, condição, princípio. **Revista Brasileira de Bioética**, Ponta Delgada, v. 2, n. 2, p. 157-172, set. 2006.

ODEMIRTON FILHO,. **Chuvas e enchentes do rio Mossoró**. 2020. Disponível em:<<https://blogcarlossantos.com.br/chuvas-e-enchentes-do-rio-mossoro/>>. Acesso em: 01 out. 2022.

POMPÊO, Cesar Augusto. DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.I], v. 5, n. 1, p. 15-23, mar. 2000.

REFERENCIA: BRUNNER, Gary W. Hec-ras (river analysis system). In: North American water and environment congress & destructive water. ASCE, 2002. p. 3782-3787. Disponível em:<<https://cedb.asce.org/CEDBsearch/record.jsp?dockey=0100264>>. Acesso em: 01 out. 2022.

ROCHA, Alexsandra Bezerra da. **PROPOSTA METODOLÓGICA DE GESTÃO DOS ESPAÇOS-RISCOS DE INUNDAÇÕES URBANA EM MOSSORÓ-RN**. 2015. 172 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Geografia do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

ROSA, Roberto. **Introdução ao Geoprocessamento**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2013.

SALLES, Maria Clara Torquato. **ANÁLISE DAS POTENCIALIDADES E FRAGILIDADES DA POLÍTICA URBANA E AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE MOSSORÓ (RN)**. 2013. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Naturais, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2013.

SANTOS, Luciana Cabral Costa. **ESTIMATIVA DE VAZÕES MÁXIMAS DE PROJETO POR MÉTODOS DETERMINÍSTICOS E PROBABILÍSTICOS**. 2010. 173 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

SANTOS, W. de O.; MESQUITA, F. de O.; BATISTA, B. D. de O.; BATISTA, R. O.; ALVES, A. de S. PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS PARA O MUNICÍPIO DE MOSSORÓ DE 1964 A 2011 PELA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 2, p. 207-213, jun. 2014.

SARAIVA, Ana Luiza Bezerra da Costa. **O CLIMA URBANO DE MOSSORÓ (RN): O SUBSISTEMA TERMODINÂMICO**. 2014. 234 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

SERRANO, José Luis. A DIFERENÇA RISCO/PERIGO. **Novos Estudos Jurídicos**, [S.I], v. 14, n. 2, p. 233-250, maio 2009.

SILVA, Camila Saiury Pereira; GRIGIO, Alfredo Marcelo; PESSOA, Zoraide Souza. VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL URBANA: o caso de Mossoró-RN. In: ENCONTRO NACIONAL DA REDE OBSERVATÓRIO DAS METRÓPOLES. **Anais**. Natal: Regimes Urbanos e Governança Metropolitana, 2017. p. 01-17.

SILVA, Carla Voltarelli Franco da. **PLANEJAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO INTEGRADO AO MAPEAMENTO DE ÁREAS COM RISCO DE INUNDAÇÃO**. 2013. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SILVA, Carlos Henrique R. Tomé. **Boletim do Legislativo N 25, de 2012: Desastres Naturais e Desenvolvimento Sustentável**. Brasília, Disponível em: <www.senado.gov.br/senado/conleg/boletim_do_legislativo.html>. Acesso em: 01 nov. 2022.

SILVA, Dieison Morozoli da. **ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE E ÁREAS DE INUNDAÇÃO: ESTUDO DE CASO NA ÁREA URBANA DE ITAQUI, RS, BRASIL**. 2014. 33 f. TCC (Graduação) - Curso de Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Pampa, Itaqui, 2014.

SILVA, Ricardo Toledo; PORTO, Monica Ferreira do Amaral. Gestão urbana e gestão das águas: caminhos da integração. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 47, n. 17, p. 129-145, jan. 2003.

SILVA, Thayanne Lara Gondim. **DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE LOTE NO MUNICÍPIO DE MOSSORÓ – RN PELO MÉTODO RACIONAL**. 2018. 62 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.

SOUSA, Henrique Lima de. Sensoriamento Remoto com VANTs: uma nova possibilidade para a aquisição de geoinformações. **Revista Brasileira de Geomática**, Curitiba, v. 5, n. 3, p. 326-342, set. 2017.

TUCCI, Carlos E. M.. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Rio Grande do Sul: Ministério das Cidades, 2005. 192 p.

TUCCI, Carlos E. M.; BERTONI, Juan Carlos. **INUNDAÇÕES URBANAS NA AMÉRICA DO SUL**. Porto Alegre: Organização Meteorológica Mundial, 2003. 156 p.

TULLIO, Leonardo. **Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto**. 3. ed. Ponta Grossa: Atena, 2019. 172 p.