

SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E SENSORIAMENTO REMOTO VISANDO MODELAGEM DE INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS EM RECIFE, PERNAMBUCO

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM AND REMOTE SENSING
FOR FLOOD AND INUNDATION MODELING IN RECIFE,
PERNAMBUCO

Beatriz Carvalho de Barros

bcb1@discente.ifpe.edu.br

Prof. DSc. Hernande Pereira da Silva

hernandesilva@recife.ifpe.edu.br

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo desenvolver um Sistema de Informações Geográficas integrado ao Sensoriamento Remoto, com foco na modelagem de suscetibilidade a inundações e alagamentos em Recife, Pernambuco. Foram selecionados sete fatores condicionantes: precipitação média diária, uso e ocupação do solo, densidade urbana, proximidade a corpos hídricos, declividade, hipsometria e pedologia. Esses dados foram obtidos de fontes oficiais e organizados em um banco de dados geoespacial, após passarem por etapas de limpeza, tratamento, reclassificação e normalização, com uso da lógica fuzzy. A metodologia baseou-se na aplicação de critérios técnicos e bibliográficos para a reclassificação das variáveis em classes de influência, permitindo a análise espacial integrada no ambiente SIG. Foram identificadas limitações relacionadas à qualidade e a atualização de algumas camadas, como hidrografia, modelo digital do terreno e precipitação. O sistema desenvolvido, denominado SIGExtrem, proporcionou a visualização e integração eficiente dos dados, possibilitando a construção de mapas temáticos e o apoio à gestão de riscos urbanos. A proposta mostrou-se eficaz e replicável, destacando-se a necessidade de atualizações constantes e da incorporação de dados complementares, como nível do mar e infraestrutura de drenagem. Conclui-se que a combinação de SIG e SR constitui uma ferramenta eficaz para análises preditivas de eventos climáticos extremos, contribuindo para o planejamento urbano e para ações de mitigação em contextos de crescente vulnerabilidade climática.

Palavras-chave: mudanças climáticas; banco de dados geográficos; inundações; modelagem de eventos extremos; qualidade dos dados.

ABSTRACT

The aim of this study was to develop a Geographic Information System integrated with Remote Sensing, with a focus on modeling susceptibility to flooding in Recife, Pernambuco. Seven conditioning factors were selected: average daily rainfall, land use and occupation, urban density, proximity to water bodies, slope, hypsometry and pedology. This data was obtained from official sources and organized into a geospatial database, after being cleaned, processed, reclassified and normalized using fuzzy logic. The methodology was based on applying technical and bibliographic criteria to reclassify the variables into influence classes, enabling integrated spatial analysis in the GIS environment. Limitations were identified regarding the quality and updating of some layers, such as hydrography, digital terrain model and precipitation. The system developed, called SIGExtrem, provided efficient data visualization and integration, enabling the construction of thematic maps and support for urban risk management. The proposal proved to be effective and replicable, with the emphasis on the need for constant updates and the incorporation of complementary data, such as sea level and drainage infrastructure. The conclusion is that the combination of GIS and RS is an effective tool for predictive analysis of extreme weather events, contributing to urban planning and mitigation actions in contexts of increasing climate vulnerability.

Keywords: geographic climate change; geographic database; flooding; extreme event modeling; data quality.

1 INTRODUÇÃO

O funcionamento do planeta é fortemente influenciado pelo clima, sendo fundamental compreender a interação entre fatores geográficos e elementos climáticos para o avanço dos estudos sobre mudanças e variabilidades climáticas. A inter-relação entre esses fatores afeta diretamente o comportamento atmosférico e suas dinâmicas (Ayoade, 1996).

A previsibilidade climática tem avançado significativamente com os recentes progressos no campo da meteorologia (Sant'Anna Neto et al., 2001). Paralelamente, o desenvolvimento das tecnologias de geoprocessamento e análise espacial tem ampliado consideravelmente as possibilidades de aplicação dos dados geoespaciais, sobretudo no planejamento urbano, na gestão ambiental e na mitigação de riscos climáticos. Nesse cenário, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) se destacam como ferramentas fundamentais para integrar, analisar e visualizar dados espaciais. Além disso, permitem o monitoramento de mudanças climáticas em escalas local e regional, contribuindo para estratégias de adaptação e resiliência (Ferreira; Paz, 2020).

Dessa forma, a dinâmica entre fatores geográficos e climáticos torna-se essencial para a seleção adequada dos dados utilizados na modelagem espacial. Essas tecnologias permitem identificar padrões espaciais e temporais, além de

viabilizar a criação de modelos mais precisos para previsão de eventos climáticos (Beser de Deus; Andrei, 2012).

A modelagem ambiental apoiada por ferramentas de geoprocessamento possibilita não apenas a representação do estado atual dos sistemas ambientais, mas também a simulação de cenários futuros, o registro de decisões e delineamento de estruturas e comportamentos esperados (Booch et al., 2006). O uso integrado de SIG e Sensoriamento Remoto (SR) configura-se como uma abordagem promissora para o estudo de fenômenos climáticos, oferecendo uma visão abrangente e sistematizada do espaço geográfico. Essas tecnologias têm se consolidado como ferramentas essenciais na compreensão e previsão de eventos climáticos extremos, contribuindo para a formulação de medidas preventivas e estratégias de mitigação (Beser de Deus; Andrei, 2012).

A crescente automação no tratamento de dados espaciais, tem contribuído para otimizar processos de modelagem, mapeamento e diagnóstico territorial (Bravo; Sluter, 2015). No entanto, apesar dessas inovações, ainda se observa uma lacuna no que se refere à validação e ao controle da qualidade dos dados utilizados, especialmente no meio acadêmico. Essa ausência compromete a precisão dos resultados gerados e pode reduzir a confiabilidade das interpretações derivadas dos modelos espaciais (Kobiyama, 2006).

Sob essa perspectiva o presente estudo tem como objetivo principal desenvolver um SIG integrado à aplicação de técnicas de SR, com base em um banco de dados geocodificados, voltado à análise e padronização de dados climáticos para a região de Recife, Pernambuco, visando identificar, avaliar e normalizar as principais fontes de dados disponíveis, assegurando sua qualidade, consistência e compatibilidade, de modo a garantir maior precisão nas análises espaciais destinadas à modelagem preditiva de alagamentos e inundações.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Banco de dados geográficos e sistema de informação geográfica

A criação de um banco de dados no contexto do geoprocessamento envolve, além de definir o diretório e o gerenciador de banco de dados para o armazenamento das informações tabulares, a importância do conceito espacial. Diferente de um banco de dados relacional tradicional, em geoprocessamento, o foco está nas relações espaciais entre os dados, permitindo a integração de informações geográficas com atributos tabulares. Um banco de dados relacional espacial armazena dados na forma de tabelas, que podem ser interconectadas por meio de campos-chaves (Queiroz; Ferreira, 2006).

A construção de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) parte do desenvolvimento de um banco de dados geoespacial. O SIG é compreendido como uma interface que integra, manipula e processa dados espaciais, sendo uma plataforma essencial para o armazenamento, análise e processamento desses dados (Spring, s.d.). No contexto de SIG, os padrões de interoperabilidade e qualidade desempenham um papel crucial no compartilhamento e integração de dados climáticos, incluindo especificações para a descrição de dados, transferência, geocodificação, metadados e formatos adequados. Tais padrões são fundamentais

para assegurar a consistência e a compatibilidade entre diferentes plataformas e sistemas (Câmara, 1996).

Diversos autores descrevem o SIG como uma ferramenta essencial para a análise de dados geoespaciais: um conjunto de procedimentos para armazenar e manipular informações georreferenciadas (Aronoff, 1989); um sistema de suporte à decisão (Cowen, 1988); ou um banco de dados que permite consultas sobre entidades espaciais (Smith *et al.*, 1987). Essas definições destacam a versatilidade e a natureza interdisciplinar dos SIGs, que podem integrar dados de diferentes fontes, como mapas, censos e imagens de satélite. Além disso, os SIGs oferecem ferramentas para manipulação, análise e visualização de dados, facilitando a tomada de decisões informadas em várias áreas (Câmara, 2001).

2.2 Características gerais de dados geográficos

Dados georreferenciados são geralmente descritos por três componentes fundamentais. Primeiramente, as características não-espaciais, que definem o fenômeno estudado, incluindo informações como o nome da variável e seu tipo. Em seguida, as características espaciais, que indicam a localização geográfica do fenômeno, fornecendo seu georreferenciamento e suas propriedades geométricas e topológicas. Por fim, as características temporais, que especificam o período de referência dos dados, isto é, quando foram coletadas e sua validade temporal. (Câmara, 1996)

2.2.1 Qualidade de dados

A qualidade não é definida pela performance máxima, mas pela capacidade de responder de forma adequada às necessidades específicas. Assim, uma informação pode ser imprecisa ou incorreta para um usuário, mas útil para outro, dependendo da metodologia e da área de estudo (IBGE, 2017)

A qualidade de dados é um conceito que pode ser considerado arbitrário e contextual. Entre os principais atributos de qualidade de dados incluem: linhagem, rastreabilidade da origem dos dados, acompanhando todas as transformações que eles sofreram até o momento; acurácia, que se refere à proximidade dos dados em relação ao valor verdadeiro ou esperado; erro, com a identificação de desvios ou imprecisões nos dados em comparação a padrões ou valores de referência; consistência lógica, verifica se os dados mantêm coerência interna, respeitando as regras e restrições lógicas estabelecidas; completude, mede se todos os dados necessários estão presentes, ou seja, se há ausência de dados importantes; e por fim, precisão, relacionado ao grau de detalhamento ou exatidão dos dados fornecidos. Esses atributos são considerados essenciais para avaliar e garantir a qualidade de dados em qualquer área de estudo (Maranhão; Carneiro, 2019).

De acordo com o Manual técnico em geociências - Avaliação da Qualidade de Dados Geoespaciais, no contexto da avaliação de dados cartográficos, é fundamental seguir uma sequência estruturada para assegurar a qualidade e a precisão. O primeiro passo envolve a avaliação da consistência de formato, que se refere à capacidade de leitura ou interpretabilidade dos dados. Nessa fase, é essencial verificar se os dados podem ser decodificados e compreendidos. Caso existam dados não legíveis, eles devem ser identificados e desconsiderados em

etapas posteriores. O resultado dessa avaliação deve indicar claramente quais partes do conjunto de dados não são legíveis (IBGE, 2017).

Em seguida, realiza-se a avaliação da consistência lógica, que verifica se as regras estabelecidas no modelo de dados foram seguidas corretamente. Qualquer dado que não esteja em conformidade com essas regras deve ser igualmente desconsiderado nas próximas fases.

A avaliação da completude constitui o próximo passo, onde se verifica a presença de feições correspondentes ao aspecto de cobertura total do conjunto de dados. Para isso, as feições do conjunto são comparadas com os dados de referência, frequentemente considerados como “verdade de campo”. Aqui, é importante relatar quaisquer comissões (dados em excesso) ou omissões (dados ausentes) identificadas.

Posteriormente, é realizada a avaliação da acurácia, que engloba aspectos posicionais, temáticos e temporais. Nesse estágio, o desvio entre as propriedades reais e os dados do campo é medido, proporcionando uma visão clara da precisão dos dados. Esses desvios podem ser mensurados tanto no conjunto de dados atual quanto no contexto da discussão em análise.

Na prática, após aprovar a consistência de formato, é possível proceder de forma paralela com as avaliações de consistência lógica, completude e acurácia. A consistência lógica, que pode incluir verificações conceituais, de domínio e topológicas, pode ser automatizada para maior eficiência. No entanto, as inspeções de completude, bem como as avaliações de acurácia temática e temporal, exigem a elaboração de um plano de amostragem adequado para definir parâmetros que irão determinar a aprovação ou reprovação do produto cartográfico.

2.3 Lógica fuzzy ou lógica difusa

A lógica fuzzy é uma extensão da lógica booleana, projetada para lidar com incertezas e imprecisões em sistemas complexos. Enquanto a lógica booleana opera estritamente com valores binários (0 ou 1, verdadeiro ou falso), a lógica fuzzy permite a atribuição de valores contínuos entre 0 e 1, representando diferentes graus de verdade. Essa abordagem possibilita a representação de situações onde a verdade não é absoluta, mas pode variar ao longo de um espectro. Isso é particularmente útil em cenários do mundo real, onde a imprecisão e a incerteza são inerentes, permitindo modelar variáveis de forma mais flexível e realista (Miranda, 2010).

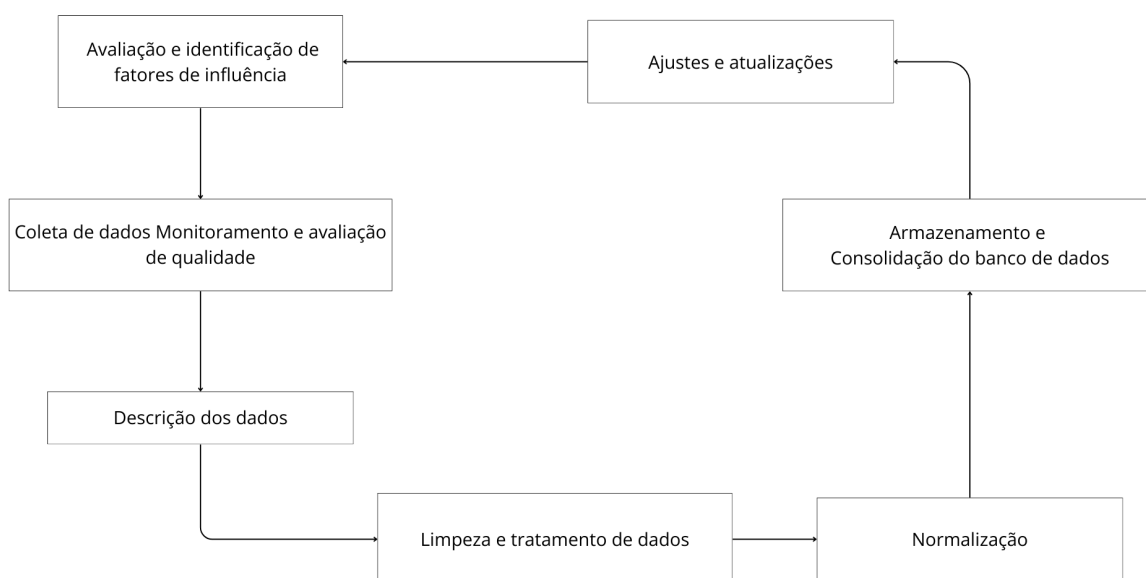
3 METODOLOGIA

A metodologia deste estudo foi delineada para abordar a coleta, análise e modelagem de dados geoambientais da Cidade do Recife. Foi adotada uma combinação de técnicas de análise de dados e a aplicação de um modelo robusto para garantir a precisão das previsões. Para o desenvolvimento deste trabalho, utilizou-se uma abordagem integrada com o *software* ArcGIS pro 3.4. O ArcGIS foi empregado para criar, analisar e compartilhar dados espaciais, além de gerar um Sistema de Informação Geográfica na Web (SIG WEB), permitindo a visualização interativa das camadas de informação.

3.1 Procedimentos metodológicos

Este estudo é composto por uma sequência metodológica (Figura 1) que se inicia com a avaliação e identificação de fatores de influência, em seguida, realiza-se a coleta de dados acompanhada do monitoramento e avaliação da qualidade desses dados. Após essa etapa ocorre a descrição dos dados. Com os dados organizados, dá-se início à etapa de limpeza e tratamento. Logo após, os dados passam pelo processo de normalização. Os dados tratados e normalizados são então sistematicamente organizados no processo de armazenamento. Por fim, a etapa de ajustes e atualizações fecha o ciclo. O estudo contempla também o uso de ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para o processamento dos dados como o ArcGIS.

Figura 1 – Etapas do processo metodológico



Fonte: Autora (2025).

3.1.1 Avaliação e identificação de fatores de influência

A etapa inicial consistiu na avaliação e identificação dos principais fatores que influenciam a suscetibilidade a inundações e alagamentos em áreas urbanas, com foco no município de Recife, PE. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente de estudos técnicos, científicos e normativos, que permitiu levantar os fatores mais recorrentes associados à ocorrência de alagamentos e inundações em contextos urbanos brasileiros.

Além da revisão de literatura, também foram consultados relatórios técnicos locais e documentos emitidos por órgãos públicos e instituições de pesquisa, de forma a garantir que os fatores selecionados refletissem as especificidades ambientais, hidrológicas e urbanísticas da área de estudo. Essa triangulação entre literatura nacional, dados locais e conhecimento técnico contribuiu para uma identificação mais precisa e contextualizada dos parâmetros escolhidos.

3.1.2 Coleta de dados Monitoramento e avaliação de qualidade

A etapa de coleta de dados teve como objetivo reunir e organizar todas as informações espaciais, meteorológicas e socioeconômicas necessárias para a construção do banco de dados geográficos, que fundamenta as análises e modelagens preditivas. Para garantir a confiabilidade e a abrangência das informações, os dados foram coletados a partir de múltiplas fontes institucionais e plataformas especializadas

A metodologia para a avaliação da qualidade de dados geoespaciais foi baseada nas orientações do Manual Técnico de Geociências nº 13 do IBGE (2017). Inicialmente, foram definidos os objetivos e requisitos de qualidade dos dados, abordando aspectos como precisão, cobertura, atualidade e integridade. A qualidade dos dados é então classificada, examinando a precisão geométrica e atributiva, a abrangência geográfica e a atualização das informações.

A verificação é conduzida para identificar e corrigir erros e inconsistências, comparando os dados com fontes de referência confiáveis e realizando análises internas. Após a identificação de problemas, são implementadas correções e ajustes necessários, com a documentação de todos os procedimentos e resultados.

Esse processo compreende a definição prévia dos objetivos e critérios de qualidade, considerando atributos como precisão geométrica e temática, cobertura espacial, atualidade e integridade dos dados. A classificação e análise da qualidade envolvem a verificação da consistência entre as camadas, a conferência das informações descritivas associadas aos dados e a coerência temporal entre as fontes utilizadas.

O monitoramento e a avaliação são etapas essenciais para garantir a eficácia e a confiabilidade dos produtos gerados a partir da análise espacial. O principal objetivo é acompanhar as mudanças no território ao longo do tempo e validar os resultados obtidos com base em dados empíricos. Esse conjunto de procedimentos assegura que os dados utilizados e os produtos gerados possuam confiabilidade técnica suficiente para embasar futuras análises, além de permitir a atualização contínua do banco de dados espacial, tornando o sistema mais robusto e adaptável ao monitoramento de eventos climáticos extremos em longo prazo.

3.1.3 Descrição dos dados

Os dados brutos foram coletados de diversas fontes, identificando-se os formatos (raster, vetor, tabular) e as variáveis das camadas, como entradas. O Quadro 1 apresenta uma visão dos principais dados utilizados no estudo, destacando as feições relevantes, o formato dos arquivos, a data da última atualização e a origem das informações. Os tipos de dados coletados foram classificados conforme seu formato e finalidade analítica.

Quadro 1 – Metadados

Feição	Formato	Ano de ultima atualização	Origem
Áreas Urbanizadas	Polígono (.shp)	2019	IBGE
Malhas Municipais	Polígono (.shp)	2022	IBGE
Pedologia	Polígono (.shp)	2017	ANA
Rios e Canais	Linha(.shp)	2022	Catálogo de dados de Recife, ESIG ARCGIS online
Precipitação	Tabular (.csv)	1994 - 2024	APAC
MDT	Raster (.tif)	2015	PE3D
Cobertura da Terra	Raster (.tif)	2021	Prefeitura do Recife

Fonte: Autora (2025)

3.1.4 Limpeza e tratamento de dados

A etapa de limpeza e tratamento de dados foi essencial para garantir a qualidade, consistência e compatibilidade das informações espaciais a serem utilizadas nas análises subsequentes. Dada a diversidade de fontes e formatos dos dados coletados, foi necessário um processo de pré-processamento técnico. Inicialmente, realizou-se a verificação e eliminação de dados nulos, duplicados ou inconsistentes, bem como a correção topológica das geometrias vetoriais, assegurando que as feições estivessem adequadamente estruturadas para análises espaciais.

A camada de "Hidrografia" foi transformada em uma nova camada denominada Proximidade a Corpos Hídricos (m), utilizando a ferramenta "análise de distância" do ArcGIS pro 3.4. Por meio do cálculo de distância euclidiana, foi possível gerar zonas de influência ao redor dos corpos d'água, permitindo a quantificação da distância de cada ponto do território em relação ao curso hídrico mais próximo, o que é fundamental para a análise de suscetibilidade a alagamentos e inundações.

Nos casos em que foram identificadas lacunas na base de dados, foi aplicada a técnica de interpolação espacial por meio do método IDW (Inverse Distance Weighting). Esse procedimento possibilitou a geração de superfícies contínuas, especialmente para variáveis como a precipitação média diária, assegurando maior consistência e cobertura das informações meteorológicas no território analisado.

A camada MDT (Modelo digital de Terreno) foi submetida a um processo de mosaico no ArcGIS Pro, unificando diferentes blocos altimétricos e, posteriormente. A partir desse MDT, foram derivadas duas novas camadas: "Declividade (%)" e "Hipsometria", obtidas, respectivamente, com as ferramentas "Slope" e "Elevation" disponíveis nos módulos de análise espacial.

Já a camada de "Cobertura da Terra" foi reorganizada com base na malha municipal do IBGE, visando à correção de inconsistências espaciais e ao preenchimento de lacunas identificadas nos dados brutos. Esse processo garantiu o alinhamento das informações de uso e ocupação do solo com os limites

administrativos de Recife, assegurando maior acurácia e coerência na integração com as demais camadas do sistema.

Posteriormente, os dados foram recortados com base nos limites territoriais oficiais do município de Recife, PE, utilizando a camada de malhas municipais disponibilizada pelo IBGE, assegurando a padronização espacial e a compatibilidade entre as diferentes bases utilizadas no projeto.

As informações brutas foram tratadas utilizando o software ArcGIS Pro, com ferramentas específicas de geoprocessamento para transformar os dados em insumos georreferenciados prontos para análise.

3.1.5 Normalização

A etapa de normalização tem como finalidade padronizar os dados espaciais para garantir a compatibilidade e integração entre diferentes camadas no ambiente do Sistema de Informações Geográficas (SIG). Devido à diversidade de fontes e à heterogeneidade nos formatos originais dos dados coletados foram necessárias diversas transformações técnicas para assegurar a consistência do banco de dados.

Inicialmente, todos os dados espaciais foram reprojetados para um sistema de referência geodésico comum, adotando o “SIRGAS 2000 / UTM fuso 25s”, garantindo uniformidade espacial. A depender da natureza do dado, foram realizadas conversões entre formatos vetoriais e matriciais, utilizando ferramentas específicas como “Converter Feições para Raster”, no ArcGIS pro 3.4, quando necessário. A resolução espacial dos rasters também foi uniformizada, assegurando que todas as camadas compartilhassem a mesma escala de análise, o que é fundamental para a correta aplicação de modelagem.

Adicionalmente, camadas temáticas compostas por atributos distintos foram reclassificadas em categorias padronizadas, permitindo uma estrutura comparável e interpretável no contexto da análise integrada. Para tornar os dados comparáveis entre si, as variáveis foram submetidas a um processo de normalização, que consistiu na transformação dos valores originais em uma escala padronizada.

Esse processo utilizou a “lógica fuzzy”, aplicada por meio da “Calculadora Raster” do arcgis, e foi conduzido com base na equação de normalização proposta por Falcão (2013) que é descrita a seguir:

$$Xi = \frac{Ri - Rmin}{Rmax - Rmin} \times \text{Intervalo Normalizado} \quad (1)$$

Onde:

Xi representa o valor normalizado;

Ri é o valor original da variável;

$Rmin$ e $Rmax$ são, respectivamente, os valores mínimo e máximo da variável considerada.

Essa equação transforma os dados em um intervalo comum de zero (0) a um (1), viabilizando a comparação entre diferentes critérios e a aplicação futura de métodos

de análise multicritério. Ao final desta etapa, todas as camadas passaram a seguir um padrão técnico único.

3.1.6 Armazenamento e consolidação do banco de dados

Após o tratamento dos dados, esta etapa consistiu na criação, consolidação e estruturação de um banco de dados geoespaciais em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando o software arcGIS pro 3.4 com a plataforma de compartilhamento ArcGIS online. O objetivo foi organizar e manter os dados espaciais de forma segura, acessível e tecnicamente estruturada, de modo a viabilizar análises futuras, facilitar diagnósticos preliminares e permitir o mapeamento exploratório da área de estudo.

Para garantir uma organização eficiente e padronizada, os dados foram categorizados por temas e armazenados em uma estrutura hierárquica dividida em três diretórios principais: “brutos”, contendo os arquivos originais obtidos de diferentes fontes; “tratados”, com dados reprojatados, convertidos e reclassificados; e “resultados”, destinados ao armazenamento das saídas geradas por meio de análises espaciais e modelagens.

Essa estrutura visa otimizar o fluxo de trabalho, facilitar a navegação entre os arquivos e assegurar o controle das versões utilizadas ao longo do desenvolvimento do projeto. As camadas temáticas selecionadas foram integradas em um único ambiente geográfico. Cada camada foi revisada quanto à sua estrutura de atributos, sistema de referência espacial e formato de arquivo, assegurando a interoperabilidade e a integridade das informações.

3.1.7 Ajustes e atualizações

A etapa de ajustes e atualizações tem como objetivo manter a metodologia adotada responsiva a novas informações e dinâmica frente às mudanças observadas no território. Trata-se de um processo contínuo, essencial para assegurar a relevância e a confiabilidade dos dados utilizados na modelagem de eventos climáticos extremos, como alagamentos e inundações. Sempre que novos dados se tornam disponíveis estes são incorporados ao banco de dados geográficos de forma sistemática.

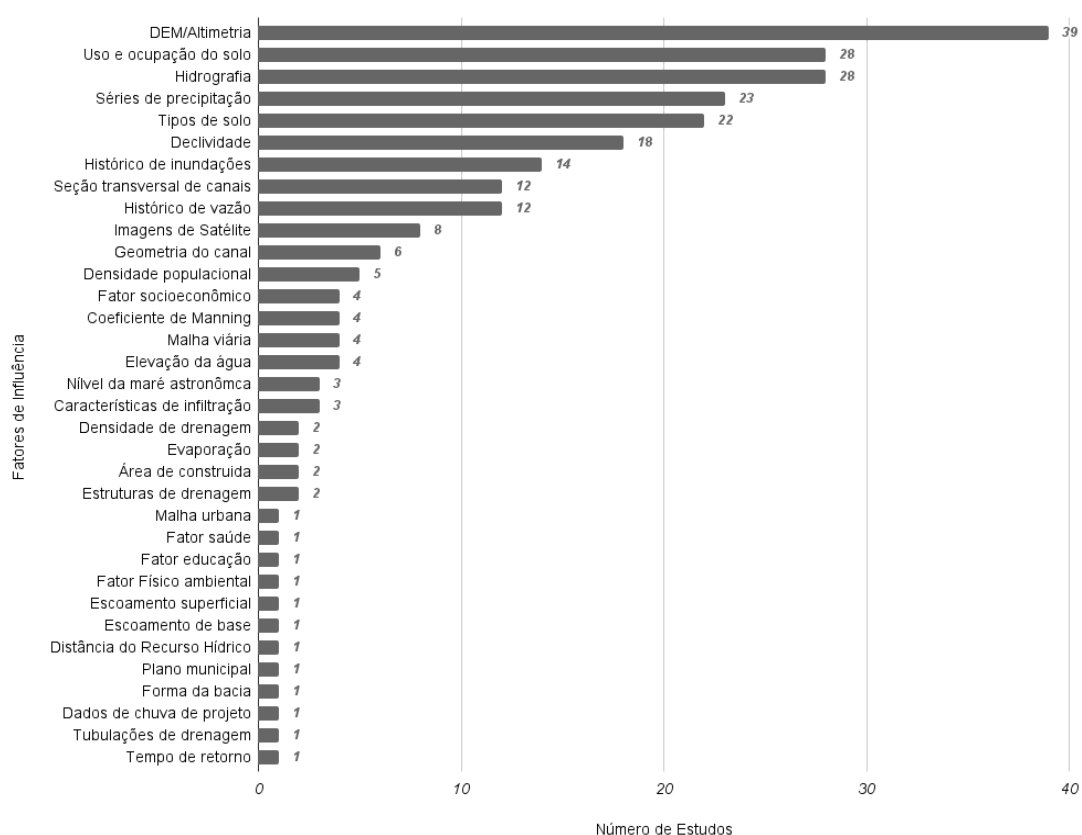
Com base em eventos recentes e na evolução dos fatores de risco, são realizadas revisões metodológicas e, quando necessário, recalibragem nos pesos atribuídos às variáveis, em especial para projetos integrados a análises multicritério. Além disso, cada modificação no banco de dados é devidamente registrada, com controle de versão e data, permitindo rastrear o histórico de atualizações e preservar a integridade documental do sistema.

4 RESULTADOS E ANÁLISE

A seleção dos fatores condicionantes utilizados neste estudo foi embasada em uma combinação de critérios técnicos, evidências empíricas e referências amplamente documentadas na literatura científica nacional, com ênfase em estudos aplicados ao contexto brasileiro e, especialmente, à realidade urbana e climática da cidade do Recife.

O Gráfico 1, resultado de pesquisa posteriormente realizada. Caprario et al. (2017) apresenta uma síntese dos principais fatores condicionantes identificados nos trabalhos acadêmicos e nas produções técnico-científicas voltadas ao estudo da suscetibilidade a inundações e alagamentos, servindo como base para a estruturação metodológica adotada nesta pesquisa. Entre os principais parâmetros utilizados nas análises de suscetibilidade a inundações e alagamentos destacam-se a Altimetria, uso e ocupação do solo, Hidrografia, série de precipitação, tipos de solo, declividade.

Gráfico 1 – Parâmetros ambientais e físicos adotados em estudos de identificação de áreas suscetíveis a inundações e alagamentos



Fonte: Adaptado de Caprario et al. (2017)

As inundações resultam da interação complexa entre fatores de origem natural e antrópica. Entre os fatores naturais, destacam-se o clima, a topografia e as características geológicas da região, que influenciam diretamente frente a este fenômeno (Caprario *et al.*, 2017). Por outro lado, atividades humanas como o desmatamento e a expansão urbana desordenada intensificam significativamente a frequência e a severidade desses eventos, ao alterar a cobertura do solo, aumentar a impermeabilização e comprometer a capacidade de drenagem natural das paisagens (Tucci, 2007).

A partir deste estudo, foram selecionados os seguintes parâmetros para análise: precipitação média diária, uso e ocupação do solo, densidade urbana, proximidade a corpos hídricos, declividade, hipsometria e pedologia. Essa etapa foi consolidada com base em uma revisão de estudos diversos, especialmente aqueles focados na cidade do Recife. O Quadro 2 apresenta uma síntese dos fatores de influência adotados, acompanhados de suas respectivas justificativas e referências bibliográficas, servindo como fundamentação para a escolha dos critérios utilizados na modelagem.

Quadro 2 – Justificativa dos fatores selecionados

Fator de Influência	Justificativa e Influência
Precipitação média diária	A intensidade e frequência das chuvas são os principais agravantes para inundações, eventos pluviométricos extremos têm maior impacto na ocorrência de desastres naturais. Precipitações concentradas em curtos períodos elevam a carga sobre os sistemas de escoamento urbano (Masato <i>et al.</i> , 2014; Salgueiro Souza <i>et al.</i> , 2024; Wanderley <i>et al.</i> , 2018)
Uso e Ocupação do Solo	A substituição de áreas com formação vegetacional por superfícies impermeáveis (asfalto, concreto) reduz a infiltração, sobrecarregando o sistema de drenagem urbana agravando os alagamentos (Maurício; Barbosa Neto; da Silva, 2024; Silva Junior; Silva, 2016; Souza <i>et al.</i> , 2018; Tucci, 2007)
Densidade Urbana	Alta densidade urbana associada ao aumento da impermeabilização do solo, maior geração de resíduos, e sobrecarga das infraestruturas de drenagem, agravando os efeitos das chuvas intensas (Rodrigues <i>et al.</i> , 2024; Silva <i>et al.</i> , 2007).
Proximidade a corpos hídricos	Áreas situadas nas proximidades de rios, canais e corpos d'água apresentam maior suscetibilidade a inundações por transbordamento, sobretudo durante eventos de chuva intensa ou maré alta em regiões costeiras. Essa vulnerabilidade se agrava em locais com ocupação irregular das margens, que compromete a capacidade de escoamento e aumenta o risco de extravasamento do leito natural (Amaral; Ribeiro, 2009; Tucci, 2007).
Declividade	Áreas com declividade muito baixa apresentam escoamento superficial mais lento, favorecendo o acúmulo de água. E áreas muito íngremes podem intensificar a velocidade do escoamento, contribuindo para a erosão e o transporte de sedimentos. Regiões com baixa declividade, como as planícies do Recife, apresentam maior propensão a acumular água, dificultando o escoamento e favorecendo alagamentos (Amaral; Ribeiro, 2009; Oliveira; Guasselli, 2011).

Hipsometria	Regiões com menor altitude tendem a acumular águas pluviais provenientes de áreas mais elevadas, sendo naturalmente mais suscetíveis a alagamentos e inundações. Em cidades costeiras, como Recife, isso é agravado pela maritimidade. A variação de altitude influencia o escoamento das águas. Áreas mais baixas tendem a acumular mais água, aumentando o risco de inundações (Amaral; Ribeiro, 2009; Tucci, 2007).
Pedologia	Solos argilosos ou compactados têm menor capacidade de infiltração, o que favorece o escoamento superficial e a formação de alagamentos. Já solos arenosos, mais permeáveis, absorvem melhor a água da chuva. As características do solo, como sua capacidade de infiltração, afetam o escoamento superficial. Solos menos permeáveis contribuem para o aumento do volume de água escoando pela superfície (Oliveira; Soares; Silva, 2021; Pedron et al., 2004).

Fonte: Autora (2025)

Na avaliação da qualidade, foram encontrados algumas incertezas, apresentados no quadro 3, quanto a acurácia dos dados coletados. As Malhas Municipais e a camada de Pedologia não apresentam inconsistências significativas. Entretanto, a camada de Hidrografia apresenta sobreposições, lacunas (gaps) e erros topológicos, afetando a precisão das análises espaciais devido a distorções geométricas e deficiências de atualização.

Os dados de Precipitação cobrem o período de 1994 a 2024, mas sofrem com variações de precisão e resolução temporal, além de lacunas nas medições das estações meteorológicas e erros ocasionais nos instrumentos de medição. O Modelo Digital de Terreno (MDT), fornecido em formato raster (.tif) e gerado em 2015 pelo projeto PE3D, pode não refletir as recentes mudanças topográficas da área de estudo.

Quadro 3 – Dados e inconsistências

Dado de Brutos	Inconsistências
Áreas Urbanizadas	A camada pode não refletir as recentes mudanças urbanas, como novas áreas urbanizadas ou expansão de áreas residenciais, devido à data de 2019, podendo resultar em uma representação imprecisa da urbanização atual. Problemas na delimitação dos polígonos que representam as áreas urbanizadas, como contornos imprecisos ou bordas que não coincidem com as estruturas reais da cidade e não abrangem todo o limite territorial da cidade.
Malhas Municipais	-
Pedologia	-

Hidrografia	Apresenta sobreposições e gaps, interseções inadequadas e rios desconectados. Há também problemas topológicos, erros nos atributos, como nomes errados. Distorções geométricas podem ocorrer devido a projeções inadequadas, e mudanças no ambiente nem sempre são refletidas nas atualizações da camada. Esses problemas afetam a precisão e a eficácia das análises espaciais.
Precipitação	A precisão e resolução Temporal dos dados climáticos podem variar. As estações meteorológicas não cobrem toda a área de estudo de maneira uniforme, e os dados históricos contêm lacunas. Os Dados contêm erros de medição, falhas nos instrumentos e inconsistências na coleta de dados que podem introduzir incertezas.
MDT	Pode não refletir mudanças topográficas recentes, como novas construções, terraplenagens ou outras alterações no terreno.
Cobertura da Terra	Dado datado vindo sendo produzido desde 2018 com fontes de 2015 e pode não refletir as mudanças recentes no uso e cobertura do solo, como novas construções, desmatamentos ou regeneração de áreas verdes, o que pode comprometer a precisão das análises atuais. Apresenta inconsistências nos seus limites territoriais, pois não respeita os limites administrativos definidos pela camada do IBGE. Essas discrepâncias podem se manifestar como desalinhamentos, onde as fronteiras das áreas de uso e cobertura do solo não coincidem com as divisões municipais ou regionais estabelecidas. Isso pode resultar em uma representação incorreta das áreas de estudo, comprometendo a precisão das análises que dependem de uma delimitação territorial precisa e conforme os padrões oficiais.

Fonte: Autora (2025)

Por fim, a camada de Cobertura da Terra apresenta inconsistências nos limites territoriais e pode não capturar adequadamente as transformações recentes no uso e na cobertura do solo, resultando em desalinhamentos em relação aos limites administrativos definidos pelo IBGE, comprometendo, assim, a precisão das análises. Quanto à modelagem de eventos climáticos extremos, a metodologia adotada visa garantir a qualidade dos dados bem como os fatores relevantes para a análise. As etapas de transformação e reclassificação dos dados foram essenciais para ajustar os dados brutos às necessidades do modelo, corrigindo inconsistências e adaptando-os aos parâmetros exigidos para a análise espacial.

No Quadro 4, são apresentados os dados brutos utilizados neste estudo, detalhando como foram transformados, reclassificados e normalizados para garantir sua compatibilidade na modelagem, estas seguintes reclassificações foram baseadas nos trabalhos descritos no quadro 2 bem como as transformações aplicadas envolveram desde a correção de erros topológicos e preenchimento de lacunas, até a reclassificação de valores em categorias que facilitam a análise dos riscos de inundação e alagamento.

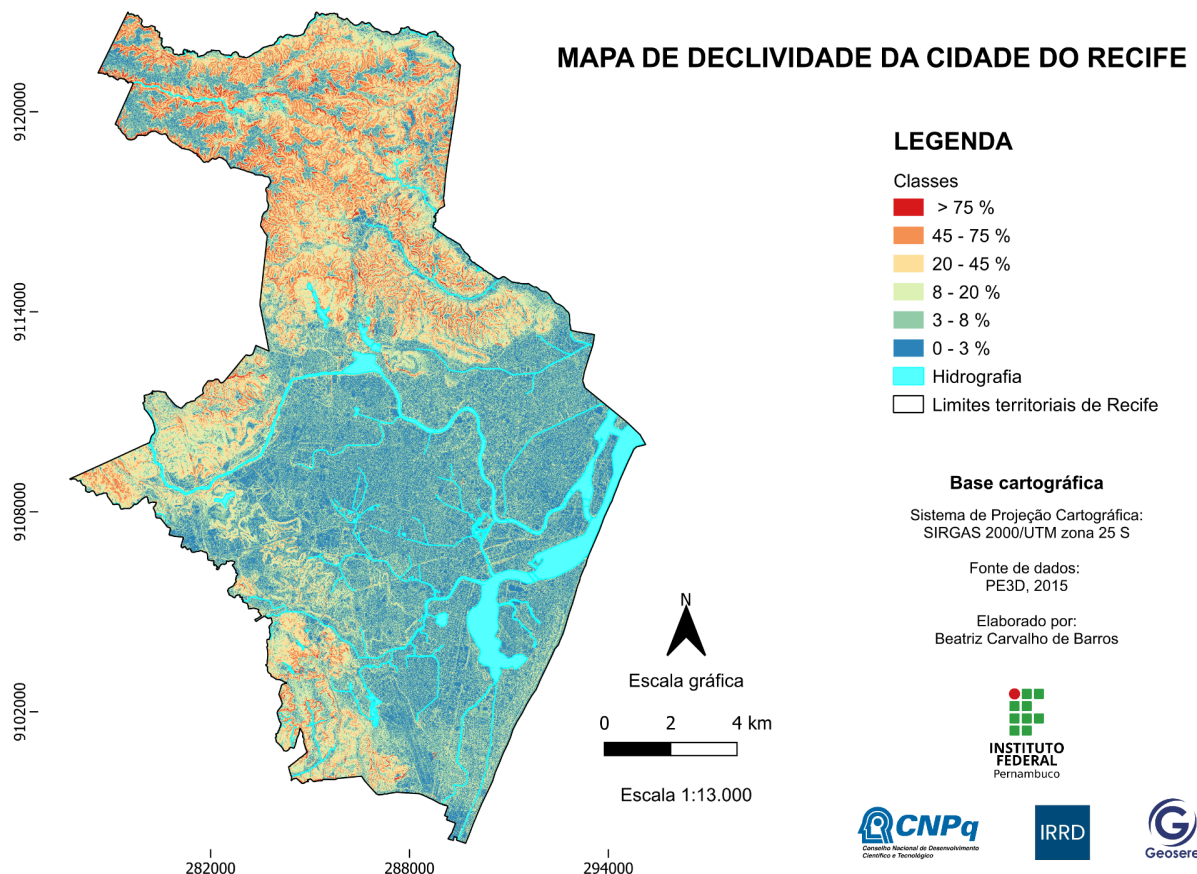
Quadro 4 – Transformação e Reclassificação dos Dados Brutos

Dado bruto	Fator	Intervalo de classes	Reclassificação das classe
MDT	Declividade (%)	0 – 3	6
		3 – 8	5
		8 – 20	4
		20 – 45	3
		45 – 75	2
		> 75	1
	Hipsometria (m)	-5 – 0	10
		0 – 5	9
		5 – 10	8
		10 – 20	7
		20 – 30	6
		30 – 40	5
		40 – 50	4
		50 – 75	3
		75 – 100	2
		100 – 117	1
Hidrografia	Proximidade a corpos hídricos (m)	0 – 100	5
		100 – 300	4
		300 – 500	3
		500 – 1000	2
		> 1000	1
Precipitação diária	Precipitação média diária (mm)	> 20	6
		16 – 20	5
		12 – 16	4
		8 – 12	3
		4 – 8	2
		0 – 4	1
Cobertura da Terra	Uso e ocupação do solo	Área construída	6
		Sem cobertura vegetal	5
		Água	4
		Área úmida	3
		Agrossilvopastoril	2
		Formação vegetacional	1
Densidade urbana	Densidade Urbana	Densa	3
		Pouco densa	2
		Sem densidade	1
Pedologia	Pedologia	Solo de Mangue	
		Neossolo Flúvico	7
		Gleissolo Háplico	6
		Argissolo	5
		Vermelho-Amarelo	4
		Argissolo Amarelo	3
		Latossolo Amarelo	2
		Luvissolo Crômico	1

Fonte: Autora (2025)

O Mapa 1 apresenta as áreas com diferentes graus de inclinação do terreno. A declividade do terreno foi calculada em porcentagem, expressando o grau de inclinação da superfície. Posteriormente, os dados foram reclassificados em seis classes (Quadro 4), conforme os critérios estabelecidos pela Embrapa (2018), levando em consideração a relação entre a declividade e a suscetibilidade a inundações e alagamentos.

Mapa 1 – Declividade da cidade do Recife

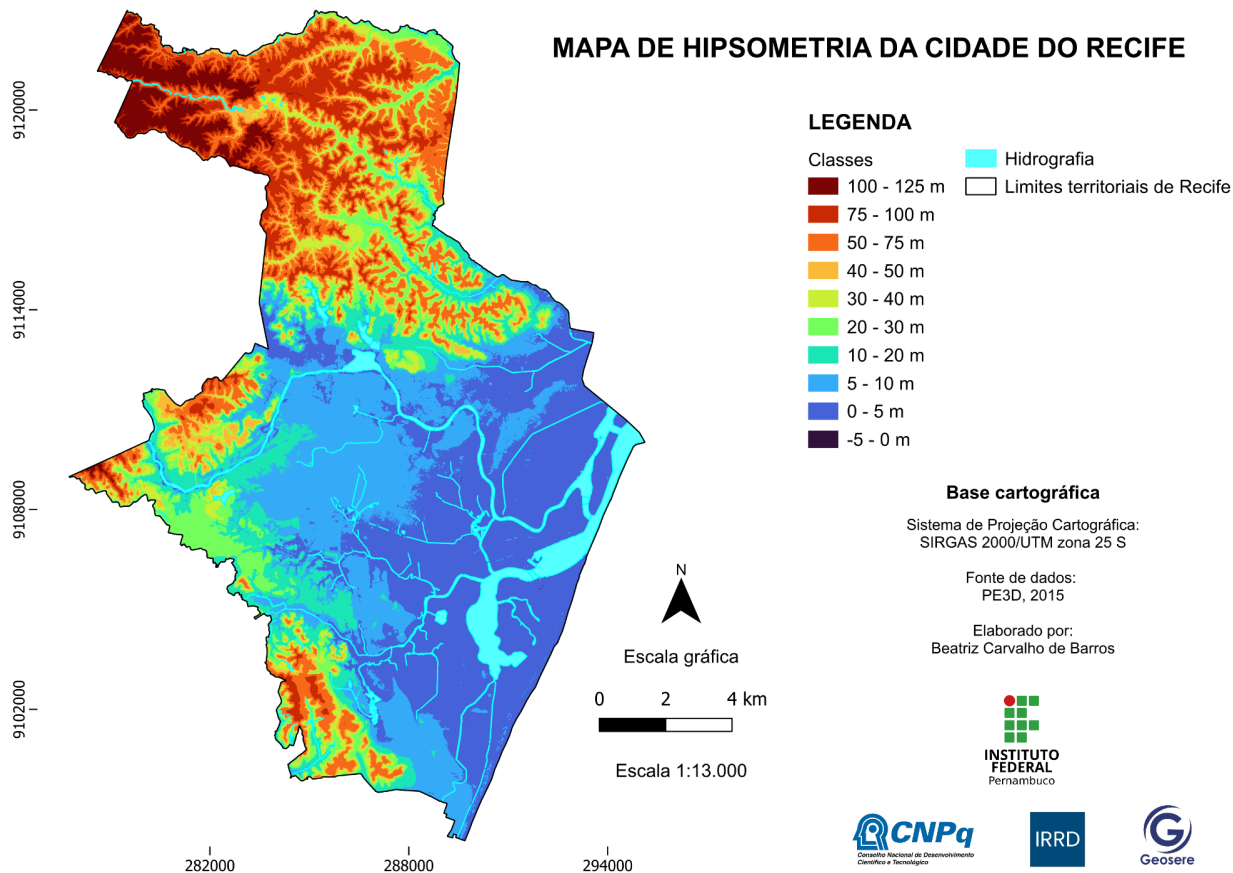


Fonte: Autora (2025)

Verifica-se que as regiões com declividades mais acentuadas possuem maior propensão ao escoamento superficial, o que pode intensificar o risco de inundações (Amaral; Ribeiro, 2009; Oliveira; Guasselli, 2011). Por outro lado, as áreas com menor declividade concentram-se, em sua maioria, na porção sul da região e nas proximidades do litoral, onde se observa uma maior densidade de cursos d'água, conforme evidenciado no Mapa 3.

A camada de hipsometria (Mapa 2) foi reclassificada com base em intervalos altimétricos, expressos em metros, distribuídos em 10 classes. Esse mapeamento permite a visualização das diferentes faixas de altitude ao longo da área de estudo, facilitando a identificação de regiões de baixa e alta elevação. A análise baseia-se em referenciais teóricos como Amaral e Ribeiro (2009) e Tucci (2007).

Mapa 2 – Hipsometria da cidade do Recife

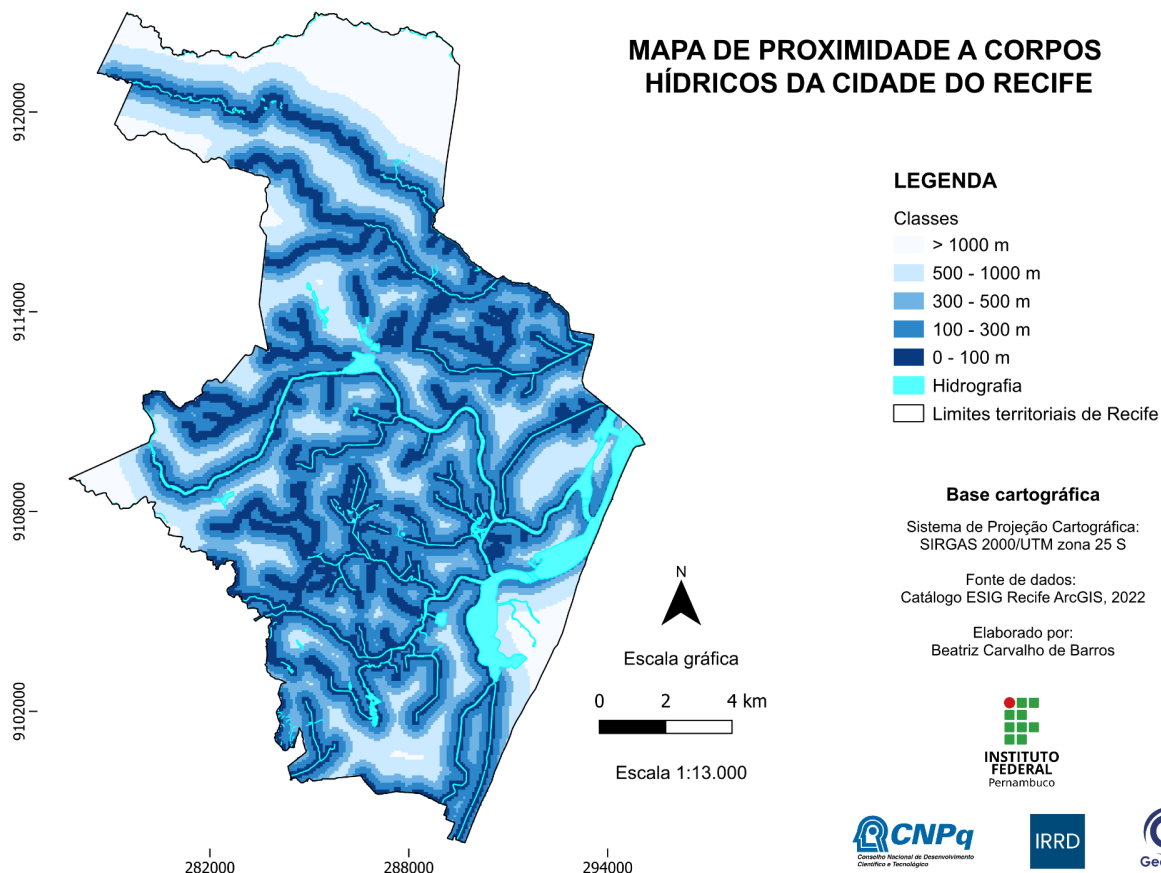


Fonte: Autora (2025)

É possível observar que as áreas mais planas do Recife se concentram, em sua maioria, nas regiões mais próximas ao mar, onde também há maior presença de rios (Mapa 3).

Após o cálculo da distância euclidiana, que quantifica a distância direta entre cada ponto do mapa e o corpo hídrico mais próximo, foi possível gerar zonas de proximidade ao redor dos cursos d'água. Essa análise permitiu a identificação precisa de parâmetros relacionados à influência dos corpos hídricos sobre o ambiente. A camada resultante foi reclassificada em cinco categorias de proximidade (Mapa 3), com base nos estudos de Amaral e Ribeiro (2009) e Tucci (2007).

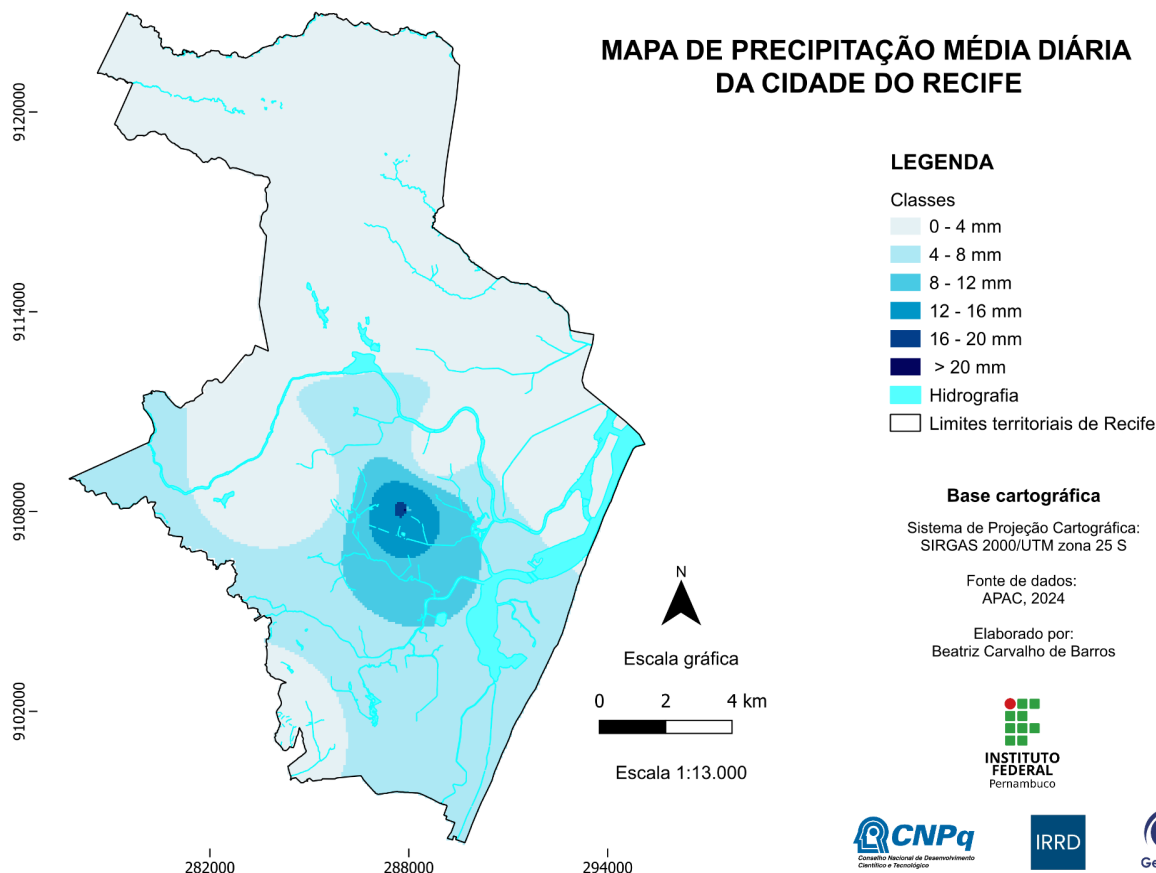
Mapa 3 – Proximidade a corpos hídricos da cidade do Recife



Fonte: Autora (2025)

O Mapa 4 apresenta a precipitação média diária na cidade do Recife, ilustrando áreas com diferentes volumes pluviométricos. Este mapa possibilita a identificação de regiões com maior potencial para alagamentos, com base na intensidade das chuvas. Os dados pluviométricos foram reclassificados em seis classes, fundamentando-se nos estudos de Masato et al. (2014), Salgueiro Souza et al. (2024) e Wanderley et al. (2018). Contudo, é importante destacar que, devido à quantidade limitada de estações pluviométricas disponíveis, esses dados necessitam de validação técnica antes de serem utilizados em análises detalhadas ou na tomada de decisões.

Mapa 4 – Precipitação média diária da cidade do Recife

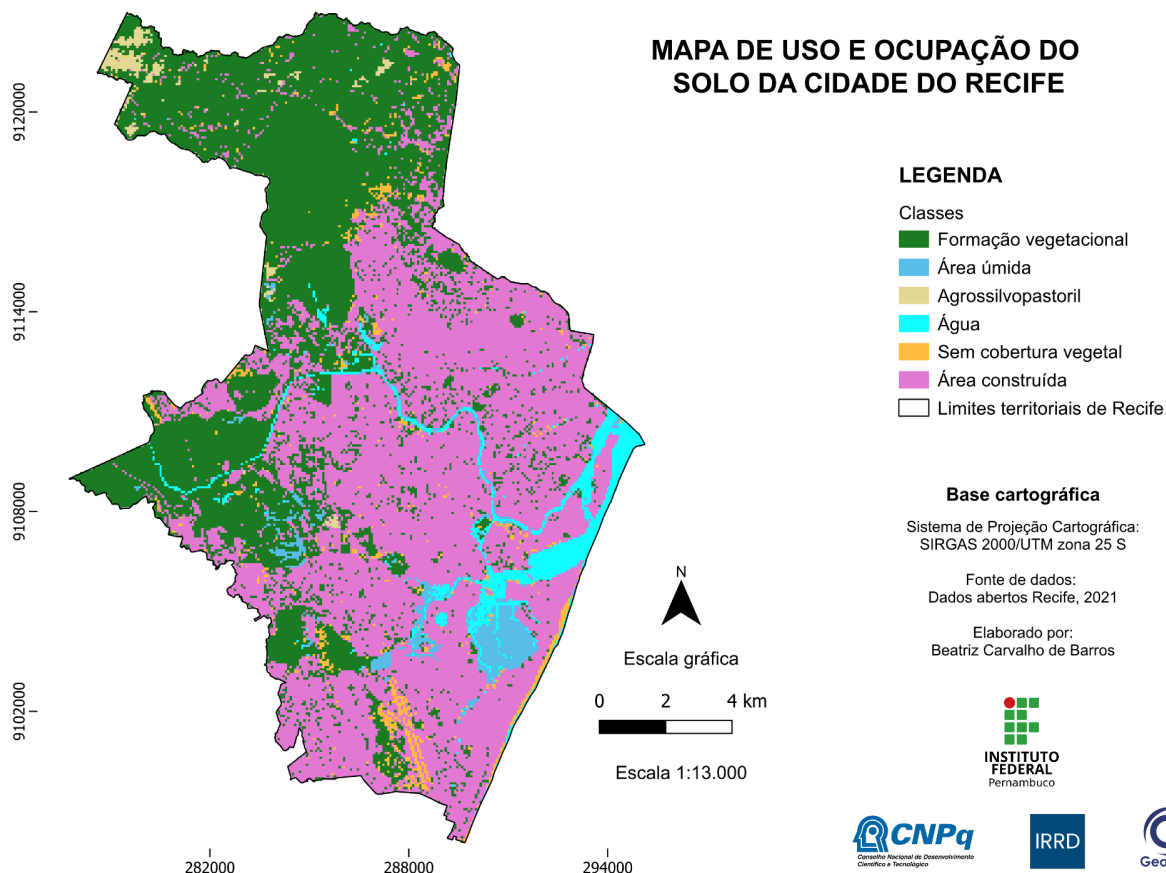


Fonte: Autora (2025)

O uso e ocupação do solo na cidade do Recife (Mapa 5) revela uma intensa urbanização, especialmente nas áreas do sul e nas regiões com baixa declividade e altitude. O mapa também destaca a presença de áreas verdes e outros tipos de uso do solo concentrados principalmente nas zonas norte e oeste da cidade, onde as declividades e altitudes são mais elevadas, enquanto a precipitação é relativamente baixa.

A expansão urbana e a substituição de áreas permeáveis por superfícies impermeáveis contribuem significativamente para o aumento da suscetibilidade a eventos de alagamento, uma vez que reduzem a capacidade de absorção da água pelo solo e sobrecarregam os sistemas de drenagem (Maurício; Vieira Barbosa Neto; Menezes da Silva, 2024; Silva Júnior; Silva, 2016; Souza et al., 2018; Tucci, 2007). Por esse motivo, a camada de uso e ocupação do solo foi reclassificada seguindo a metodologia adotada pelo Portal de Dados Abertos da Prefeitura do Recife (s.d.).

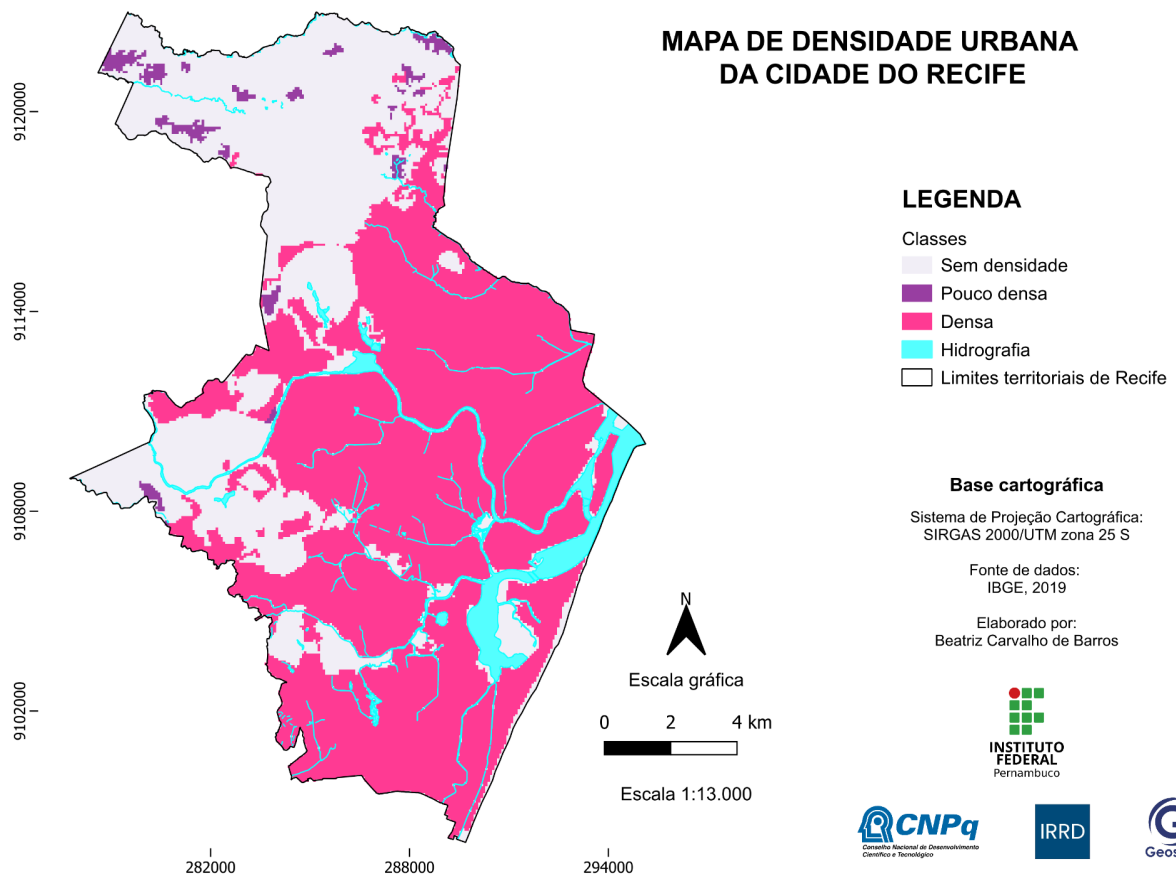
Mapa 5 – Uso e ocupação do solo da cidade do Recife



Fonte: Autora (2025)

A camada de densidade urbana (Mapa 6) foi reclassificada em três categorias, com base nos estudos apresentados no Quadro 2 e nas informações fornecidas pelos metadados da camada, a fim de preencher adequadamente os limites territoriais analisados. Áreas com alta densidade urbana frequentemente apresentam elevado grau de impermeabilização do solo devido à presença de edificações e infraestrutura, o que compromete a capacidade de infiltração da água. A concentração de construções e a expansão desordenada também podem sobrecarregar os sistemas de drenagem, intensificando o risco de inundações. Dessa forma, a análise da densidade urbana é fundamental para compreender de que maneira o desenvolvimento urbano interfere na gestão das águas pluviais e para subsidiar estratégias de planejamento que minimizem os impactos das inundações em áreas urbanizadas (Tucci, 2007).

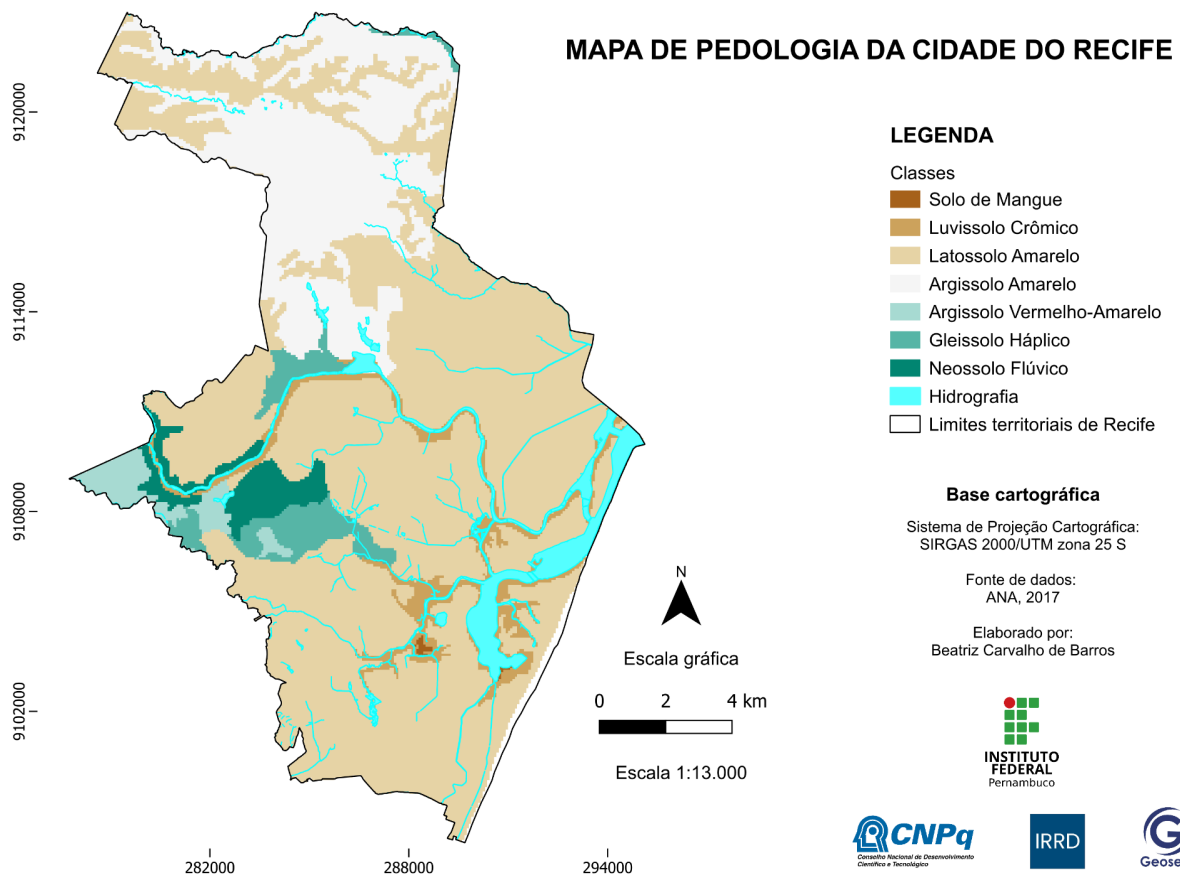
Mapa 6 – Densidade urbana da cidade do Recife



Fonte: Autora (2025)

O mapa de solos (pedologia) da cidade do Recife, apresentado no Mapa 7, destaca a influência dos diferentes tipos de solo na infiltração da água e na suscetibilidade a alagamentos. Contudo, é importante observar que uma parte significativa dessas áreas está coberta por zonas urbanizadas (Mapa 5), o que potencializa o risco de alagamentos devido à impermeabilização do solo causada pelas construções e pela expansão urbana desordenada (Pedron et al., 2004).

Mapa 7 – Pedologia da cidade do Recife



Fonte: Autora (2025)

Cada um desses mapas fornece informações essenciais para compreender as diversas dimensões do risco de alagamentos e inundações, possibilitando uma análise abrangente e fundamentada das vulnerabilidades na cidade do Recife. Os dados foram armazenados em um banco de dados geoespacial, o que garantiu uma organização e gerenciamento eficientes das informações geográficas e climáticas.

Durante a execução das atividades, foram identificadas algumas dificuldades nos processos de coleta e tratamento dos dados. Goodchild (2009) já discutia os avanços e desafios futuros dos Sistemas de Informações Geográficas, incluindo aspectos de qualidade e acesso aos dados, relatando que houve avanços significativos na compreensão das incertezas inerentes às representações digitais do espaço e em que se refere às limitações dos SIG em retratar com fidelidade a complexidade do mundo real porém há uma crescente atenção às discrepâncias entre os modelos digitais e os fenômenos geográficos que eles buscam representar.

Contudo, segundo Devillers; Jeansoulin (2006) a qualidade da informação geográfica, ou dos dados geoespaciais, tem sido historicamente uma questão, com o avanço da internet a crescente acessibilidade a dados e ferramentas de geoprocessamento. A popularização dessas tecnologias impulsionou não apenas o volume de dados disponíveis, mas também a necessidade de garantir sua confiabilidade, consistência e adequação às diferentes finalidades de análise.

Entre os principais desafios, destaca-se o acesso limitado a dados climáticos, uma vez que alguns órgãos públicos impõem restrições. Além disso, observou-se baixa qualidade e falta de padronização em diversos conjuntos de dados, com inconsistências nos formatos, escalas e sistemas de referência. Essas limitações exigiram um esforço adicional na etapa de limpeza, organização e harmonização dos dados, a fim de garantir sua compatibilidade e confiabilidade para as análises subsequentes.

A normalização das camadas, utilizando a lógica fuzzy, garantiu que todas as variáveis fossem comparáveis em uma mesma escala. Essa abordagem permitiu a construção de um modelo robusto que equilibra as influências relativas de cada fator na susceptibilidade a alagamentos e inundações. A lógica fuzzy foi fundamental para tratar a incerteza inerente à análise de dados espaciais e garantir que os resultados fossem coerentes e refletissem a complexidade das interações entre as variáveis.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos objetivos delineados e nos resultados obtidos durante este trabalho, verifica-se que a aplicação Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Sensoriamento Remoto (SR) na modelagem de previsibilidade de eventos climáticos revela uma abordagem relevante. Os dados preliminares indicam que essa metodologia pode oferecer contribuições significativas para a compreensão e mitigação dos impactos desses eventos na região.

Os resultados obtidos fornecem uma base sólida para a tomada de decisões no planejamento urbano e na mitigação de riscos na cidade. A metodologia proposta mostrou-se promissora, com potencial para aplicação em outras regiões de Pernambuco e até em nível nacional. Entre os benefícios imediatos dessa abordagem estão a identificação de áreas prioritárias para intervenção e o desenvolvimento de cenários futuros de risco. A longo prazo, o uso contínuo de SIG e SR na gestão de eventos climáticos extremos pode transformar o planejamento urbano, promovendo cidades mais resilientes e preparadas para os desafios das mudanças climáticas.

As áreas identificadas como altamente suscetíveis a alagamentos e inundações devem receber atenção prioritária, com intervenções como a melhoria do sistema de drenagem, a implementação de infraestruturas verdes e o controle do uso do solo. A metodologia aplicada demonstra a eficácia da combinação de técnicas de SIG, análise espacial e modelagem preditiva para enfrentar problemas complexos relacionados a eventos climáticos extremos, oferecendo um modelo que pode ser replicado em outras regiões urbanas.

Durante a execução do projeto, foram enfrentadas dificuldades relacionadas à coleta e ao tratamento dos dados. O acesso a informações foi limitado por restrições impostas por alguns órgãos públicos, o que demandou procedimentos burocráticos para obtenção dos dados climáticos necessários. Além disso, a qualidade dos dados representou um desafio, pois alguns conjuntos apresentaram inconsistências e falta de padronização, exigindo um esforço adicional nas etapas de limpeza e preparação para análise.

No entanto, é fundamental continuar aprimorando as técnicas de coleta e análise de dados e fomentar a colaboração interdisciplinar entre especialistas em ciências climáticas, geoespaciais e sociais para alcançar previsões mais precisas e úteis para

a sociedade. Recomenda-se, para ajustes e atualizações futuras, a integração de dados relacionados ao nível do mar, à tábua das marés e à infraestrutura de drenagem urbana, a fim de aprimorar a análise e a modelagem dos fenômenos estudados.

Por fim, ressalta-se a importância dessas abordagens metodológicas e a necessidade de investimentos contínuos em infraestrutura de dados geoespaciais na região, a fim de garantir a confiabilidade e a precisão dos resultados obtidos. Nesse contexto, o SIGExtrem, nome dado ao sistema de informação geográfica desenvolvido neste trabalho, destaca-se como uma ferramenta eficiente e vantajosa para processos de modelagem ambiental e hidroclimática. Essa ferramenta é especialmente útil em estudos que envolvem variáveis ambientais essenciais para a compreensão e mitigação dos impactos causados por eventos climáticos extremos.

A importância dessa ferramenta torna-se ainda mais evidente no contexto de projetos voltados para a análise de modelagem de previsibilidade de alagamentos e inundações. Além de facilitar a análise integrada de dados ambientais e climáticos, o SIGExtrem potencializa a tomada de decisões estratégicas em planejamento urbano e gestão de riscos, promovendo maior resiliência frente às mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes. In: TOMINAGA, L. D.; SANTORO, J.; AMARAL, R (Org.). **Desastres naturais**: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. cap. 3, p. 39-52. Acesso em: 15 dez. 2024.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Pedologia**. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/ffeb6007-b741-4099-9889-5d50b3cd4168>>. Acesso em: 17 set. 2024.

APAC – Agência Pernambucana de águas e clima. **Monitoramento Pluviométrico**. Recife: APAC, s.d. Disponível em: <<http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>>. Acesso em: 10 dez. 2024.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio De Janeiro (Rj): Bertrand Brasil, 1996. Acesso em: 04 jan. 2024.

BESER DE DEUS; ANDREI, L. A UTILIZAÇÃO DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA COMO SUPORTE AO GERENCIAMENTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS TRANSFRONTEIRIÇAS - SIG GEOAMAZONAS. Revista Geográfica de América Central; Vol 2, No 47E (2011): **Revista Geográfica de América Central: XIII Encuentro de Geógrafos de América Latina**, 3 fev. 2012. Acesso em: 04 dez. 2024.

BOOCH, G. et al. **UML guia do usuário**. [s.l.] Rio De Janeiro Elsevier Campus, 2006. Acesso em: 08 dez. 2024.

CÂMARA, G. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**. Campinas: Unicamp - Instituto De Computação, 1996. Acesso em: 15 dez. 2024

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M.V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**, 2001. Acesso em: 08 abr. 2024

CAPRARIO, Jakcemara; RECH, Aline Schuck; MIRANDA, Nivea Morena Gonçalves; FINOTTI, Alexandra Rodrigues. **Análise dos fatores que influenciam a ocorrência de inundações urbanas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. Anais [...]. Porto Alegre: ABRHidro, 2017. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=3137>. Acesso em: 15 dez. 2024.

Converter Feição para Raster (Map Viewer Classic) – Portal for ArcGIS. Documentação do ArcGIS Enterprise. Disponível em:

<https://enterprise.arcgis.com/pt-br/portal/11.2/use/convert-feature-to-raster-portal-tool-reference.htm>. Acesso em: 15 dez. 2024

MARANHÃO, V. C.; CARNEIRO, A. F. T. Análise de Consistência Lógica conforme padrões de qualidade da norma ISO 19133. **Revista Cartográfica**, [S. l.], n. 92, p. 149–171, 2019. DOI: 10.35424/rcarto.i92.442. Disponível em: <https://revistasipgh.org/index.php/rcar/article/view/442>. Acesso em: 07 abr. 2024

DEVILLERS, Rodolphe; JEANSOULIN, Robert (ed.). **Fundamentals of Spatial Data Quality**. London, UK: ISTE, 2006. E-book. ISBN 9780470612156. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9780470612156>. Acesso em: 10 mai. 2025

GOODCHILD, Michael F. Geographic information systems and science: today and tomorrow. **Annals of GIS**, v. 15, n. 1, p. 3-9, 20 nov. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/19475680903250715>. Acesso em: 15 de mai. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Áreas Urbanizadas de 2019**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-area-s-urbanizadas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 07 mai. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha Municipal de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=noticias-e-releases>. Acesso em: 13 de mai. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manuais Técnicos em Geociências, número. 13, **Avaliação da Qualidade de Dados Geoespaciais**, Coordenação de Cartografia, Rio de Janeiro/RJ, ISBN 978-85-240-4423-6. 2017. Acesso em: 13 de mai. 2024.

JOSÉ IGUELMAR MIRANDA. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. [s.l.: s.n.]. Acesso em: 13 de mai. 2024.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; OLIVEIRA MARCELINO, I. P. V. de; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. de M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Florianópolis: Ed. Organic Trading, 2006. 109 p. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/prevencaodedesastresnaturaisconceitosbasicos.pdf>. Acesso em: 09 de mai. 2024.

MAURÍCIO, Caio; BARBOSA NETO, Manuella Vieira ; DA SILVA, Carlos Eduardo MENEZES. A FUNÇÃO DAS ÁREAS VERDES URBANAS NA REDUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL: ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE RECIFE, PE-BRASIL . **Revista Contexto Geográfico**, [S. l.], v. 9, n. 18, p. 78 – 93, 2024. DOI: 10.28998/contegeo.9i.18.16811. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/contextogeografico/article/view/16811>. Acesso em: 17 de mai. 2024.

MONTEIRO, L.; MASATO KOBIYAMA. Influências da distribuição temporal de precipitação no mapeamento de inundação. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 11, n. 2, p. 25–35, 1 jan. 2014. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/177/4e222300460f95cddd6db89dfcb7353e_d008a63910d7f3f1b1ded53c0af71d5f.pdf. Acesso em: 08 de mai. 2024.

OLIVEIRA, Diogo Botelho Correa de; SOARES, Willames de Albuquerque; SILVA, Simone Rosa da. Contribuição do solo natural na drenagem urbana em uma área suscetível a alagamentos no Recife - PE. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e4110716269, 13 jun. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16269>.

OLIVEIRA, GUILHERME; GUASSELLI, LAURINDO. Relação entre a Suscetibilidade a Inundações e a Falta de Capacidade nos Condutos da Sub-bacia do Arroio da Areia, em Porto Alegre/RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 1, p. 5-15, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v16n1.p5-15>. Acesso em: 10 de mai. 2024.

PE3D – Projeto Pernambuco Tridimensional. **Mapeamento do Território Pernambucano**. Recife: PE3D, 2016. Disponível em: <<https://pe3d.pe.gov.br/>>. Acesso em: 17 de ago. 2024.

PEDRON, Fabrício de Araújo et al. Solos urbanos. **Ciência Rural**, v. 34, n. 5, p. 1647-1653, out. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-84782004000500053>. Acesso em: 12 de jul. 2024.

PREFEITURA DO RECIFE. Portal de Dados Abertos da Prefeitura da Cidade do Recife. [S.l.]. **Cobertura da Terra**. Disponível em: <<http://dados.recife.pe.gov.br/dataset/cobertura-da-terra>>. Acesso em: 14 de jun. 2024.

QUEIROZ, Gilberto Ribeiro; FERREIRA, Karine Reis. **Tutorial sobre Bancos de Dados Geográficos**. São José dos Campos: INPE, 2006. Disponível em: https://www.dpi.inpe.br/DPI/livros/pdfs/tutorialbdgeo_geobrasil2006.pdf. Acesso em: 09 de set. 2024.

RODRIGUES, A. B.; CABRAL, J. J. S. P. Capacidade adaptativa contra inundações urbanas: um estudo de caso em Recife, Pernambuco. In: **ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS**, 15., 2024, Vitória. Anais. Vitória: ABRHidro, 2024. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/238/XV-ENAU0046-2-0-20240722-183109.pdf>. Acesso em: 13 de mar. 2024.

SALGUEIRO, Camila Oliveira de Britto; COUTINHO RODRIGUES JUNIOR, Jocimar; BORJA GONÇALVES GOMES DE MENEZES, Rebecca; LUIZ RIBEIRO DE PAIVA, Anderson; MARIA MACIEL DE OLIVEIRA, Leidjane; MELO DOS SANTOS, Sylvana. Urbanização E Eventos Pluviométricos: Avaliação Do Impacto Na Ocorrência De Desastres Naturais . **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 17, n. 6, p. 4029–4043, 2024. DOI: 10.26848/rbgf.v17.6.p4029-4043. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/>. Acesso em: 13 de mai. 2024.

SANT'ANNA NETO, João Lima. **História da Climatologia no Brasil: gênese, paradigmas e a construção de uma Geografia do Clima**. Tese de Livre-Docência. Presidente Prudente: FCT/UNESP, 2001. Acesso em: 18 de mai. 2024.

SILVA, Claudio Santos da; SANTIAGO, Alina. Urbanização e inundação: conflitos e possibilidades. **Paisagem e Ambiente**, São Paulo, Brasil, n. 24, p. 327–334, 2007. DOI: 10.11606/issn.2359-5361.v0i24p327-334. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/86442>. Acesso em: 06 de jun. 2024.

SILVA JUNIOR, Marcos Antonio Barbosa da; SILVA, Simone Rosa da. Impactos da urbanização e das alterações climáticas no sistema de drenagem do Recife-PE (Impacts of urbanization and climate change in the drainage system of Recife-PE). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 6, p. 2034, 23 nov. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.6.p2034-2053>. Acesso em: 19 de ago. 2024.

SOUZA, J. L.; CORRÊA, A. C. B. Impactos da urbanização na geração de risco a alagamentos na Planície do Recife. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA**, 9., 2012, Natal. Anais [...]. Natal: UFRN, 2012. Disponível em: <https://sinageo.org.br/2012/trabalhos/4/4-641-122.pdf>. Acesso em: 15 de set. 2024.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2007. Acesso em: 20 de jun. 2024.

WANDERLEY, Lucas Suassuna de Albuquerque et al. AS CHUVAS NA CIDADE DO RECIFE: UMA CLIMATOLOGIA DE EXTREMOS. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 21 fev. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/abclima.v22i0.56>. Acesso em: 22 de out. 2024.