UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS

CURSO DE GRADUAÇÃO DO BACHARELADO EM GEOGRAFIA

JOÃO LUCAS MARQUES PRESBÍTERO

ANÁLISE DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS AINUNDAÇÕES NO BAIXO CURSO DA BACIA DO RIO PARATIBE (PE)

RECIFE 2025

JOÃO LUCAS MARQUES PRESBÍTERO

ANÁLISE DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÕES NO BAIXO CURSO DA BACIA DO RIO PARATIBE (PE)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Geografia Bacharelado da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Orientador(a): Profa. Dra. Danielle Gomes da Silva Listo.

Coorientador: Prof. Dr. Fabrizio de Luiz Rosito Listo

RECIFE
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Presbítero, João Lucas Marques.
Análise das áreas suscetíveis a inundações no baixo curso da bacia do rio Paratibe (PE) / João Lucas Marques Presbítero. - Recife, 2025.
51p : il., tab.

Orientador(a): Danielle Gomes da Silva Listo
Cooorientador(a): Fabrizio de Luiz Rosito Listo
(Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, , 2025.
Inclui referências, apêndices, anexos.

1. Inundações. 2. Suscetibilidade. 3. Bacia hidrográfica. 4. Desastres Naturais. 5. Mudanças Climáticas. I. Listo, Danielle Gomes da Silva. (Orientação). II. Listo, Fabrizio de Luiz Rosito. (Coorientação). IV. Título.

910 CDD (22.ed.)

JOÃO LUCAS MARQUES PRESBÍTERO

ANÁLISE DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÕES NO BAIXO CURSO DA BACIA DO RIO PARATIBE (PE)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Geografia Bacharelado da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Aprovado em: 20/02/2025

Banca Examinadora

_____

Orientador(a): Profa. Dra. Danielle Gomes da Silva Listo (UFPE/PPGEO/DCG)

_____

Coorientador: Prof. Dr. Fabrizio de Luiz Rosito Listo (UFPE/PPGEO/DCG)

_____

Examinador(a) interno: Profa. Dra Josiclêda Domiciano Galvíncio (UFPE/PRODEMA/DCG)

_____

Examinador(a) interno: Larissa Furtado Lins dos Santos (UFPE)

Dedico esse trabalho a Maria Carvalho Presbítero (*In Memoriam*)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as oportunidades e por sempre me acompanhar. A minha Mãe Gleice e as minhas Tias Fátima, Jaldecir, Márcia e Mônica que sempre moveram céus para permitirem que eu me dedicasse integralmente aos meus estudos e por todo o suporte dado durante a minha vida acadêmica e pessoal. Aos professores Danielle, Fabrizio e Josicleda por terem me inserido em seus laboratórios e projetos e por toda a orientação dada ao longo dos anos de graduação. Agradeço aos meus colegas dos laboratórios GEOTEC e SERGEO por toda ajuda, paciência e companheirismo ao longo da minha formação, aos amigos que fiz durante minha graduação e que se tornaram amizades para além da vida acadêmica como Filipe, Wavyson, Vitória, Victória e a todos os outros que eu conheci.

Agradeço a Henrique por todo o suporte e paciência na confecção dos mapas que serão usados neste trabalho, a Mariana pelo companheirismo e apoio que demos um ao outro durante a produção dos nossos trabalhos de conclusão. Agradeço a todos os meus amigos que me acompanharam desde o começo e que ainda permanecem, mesmo que de longe, e aos que chegaram agora e já tem um lugar no meu coração. Aos meus amigos mais próximos: Camila, Matheus, Weverton, Millena, Lucas, Isaque, Cecilia, Júlia, Henrique, Rita e a tantos outros que eu poderia passar muito tempo citando, agradeço por tornarem a vida mais alegre, leve e suportável.

RESUMO

A suscetibilidade a desastres como inundações é influenciada tanto por características físicas da região, como relevo e condições hidrológicas, quanto por intervenções humanas, a expansão urbana desordenada e modificações na infraestrutura de drenagem. O Baixo Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Paratibe (BHRP) por estar inserido em um contexto de baixa declividade, alta densidade de ocupação urbana desenfreada, enfrenta problemas de inundações ao longo da sua extensão. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo analisar as áreas suscetíveis a inundações, considerando os fatores naturais e antrópicos que favorecem sua ocorrência na região de estudo. Para isso, foi utilizado revisão bibliográfica, levantamento jornalístico, entrevistas com moradores e análise de mapas temáticos. Os resultados analisados identificaram que os principais aspectos que contribuem para as inundações foram: a urbanização desordenada no baixo curso da Bacia do Rio Paratibe, as áreas urbanizadas próximas aos cursos d'água, especialmente nos bairros Maranguape I, Paratibe, Rio Doce e Jardim Atlântico, e que intervenções de engenharia, como o Canal do Fragoso, embora tenham reduzido parcialmente os efeitos das inundações, ainda não são suficientes para solucionar o problema de forma definitiva.

Palavras-chave: Inundação, suscetibilidade, BHRP

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ruas alagadas após DOL, em Olinda 18
Figura 2 MDT inserido na área de trabalho do Arcgis 19
Figura 3: Função Fill e Declividade 20
Figura 4: Curvas de nível a partir da função contour 20
Figura 5: Delimitação da área de estudo através da curva de nível 21
Figura 6: Mapa de Localização 24
Figura 7: mapa da GL 25
Figura 8: Mapa da Hipsometria do baixo curso da BHRP 26
Figura 9: Mapa Geomorfológico 27
Figura 10: Mapa Geológico 28
Figura 11: Mapa Pedológico 30
Figura 12: Climograma para o Baixo Curso da BHRP 31
Figura 13: Climograma para o Município de Paulista – PE 32
Figura 14: Climograma para o Município de Olinda – PE 32
Figura 15: Ocorrências de Inundação 33
Figura 16: alagamento em avenida próxima a um trecho do Rio Paratibe, no bairro de Arthur Lundgren I, em Paulista, durante o ano de 2024 34
Figura 17: alagamento em avenida na entrada do bairro de Arthur Lundgren I, em Paulista durante o ano de 2022 34
Figura 18: alagamento em ruas próximas a canal no bairro de Paratibe, em Paulista 35
Figura 19: A, B, e C Ruas alagadas no Bairro de Maranguape I, em Paulista e residências precárias próximas ao canal 36
Figura 20: Lixo e Vegetação em Canal 36
Figura 21: Aterro as margens do Rio Paratibe, na PE 22 em Paulista 37
Figura 22: Vista dos aterros nos bairros de Arthur Lundgren I e Centro de Paulista 37
Figura 23: Inundação no município de Olinda 38
Figura 24: Mapa de Contribuição Hidrológica do Baixo curso da BHRP 40
Figura 25: Mapa de Declividade do Baixo Curso da BHRP 42
Figura 26: Frequência de Distribuição (FD) das classes de declividade para o baixo curso 44
Figura 27: Canal das imediações da PE-15 obstruído por lixo e apresentando vegetação rasteira 44
Figura 28: Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Baixo Curso da BHRP 42
Figura 29: Frequência de Distribuição do Uso e Ocupação do Solo 42

LISTADE TABELAS

Tabela I: Ocorrências 22

LISTADE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA	**Área de Proteção Ambiental**
APAC	**Agência Pernambucana de Águas e Clima**
BHRP	**Bacia Hidrográfica do Rio Paratibe**
CEMADEN	**Centro de Monitoramento de Alerta a Desastres Naturais**
CPRH	**Agência Estadual de Meio Ambiente**
DOL	**Distúrbio Ondulatório de Leste**
FURB	**Reserva de Floresta Urbana**
GL-1	**Grupo de Pequenos Rios Litorâneos**
IPCC	**Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas**
ODS	**Objetivos do Desenvolvimento Sustentável**
OMM	**Organização Meteorológica Mundial**
PE	**Pernambuco**
PMRR	**Plano Municipal de Redução de Riscos**
UP	**Unidade de Planejamento Hídrico**
RMR	**Região Metropolitana do Recife**
VCAN	**Vórtice Ciclônico de Alto Nível**
ZCIT	**Zona de Convergência Intertropical**

SUMÁRIO

1. Introdução 10

2. Justificativa 12

3. Objetivos 13

3.1 Objetivo Geral 13

3.2 Objetivos Específicos 13

4.0 Revisão de Literatura 14

4.1 Conceito de Inundação 14

4.2 Estrutura e Desenvolvimento das Cidades 15

4.3 Inundações causadas por urbanização 17

5. Metodologia 19

5.1 Análise de áreas suscetíveis à inundação 21

5.2 Mapas temáticos 22

6. Área de Estudo 24

6.1 Hipsometria 26

6.2 Geomorfologia 27

6.3 Geologia 28

6.4 Pedologia 29

6.5 Climatologia 30

7. Resultados e Discussão 33

7.2 Contribuição Hidrológica 39

7.3 Declividade 40

7.4 Uso e Ocupação do Solo 42

8. Considerações Finais 46

9. Referências 47

1. Introdução

A suscetibilidade refere-se à probabilidade de ocorrência de um fenômeno com base em fatores naturais, sem depender exclusivamente de aspectos sociais, contudo, a sociedade atua como um fator que pode acelerar ou reduzir essa probabilidade. Silveira (2007) enfatiza que a suscetibilidade a desastres como inundações e deslizamentos é influenciada tanto por características físicas da região, como relevo e condições hidrológicas, quanto por intervenções humanas, incluindo a expansão urbana desordenada e modificações na infraestrutura de drenagem.

Tucci (2003) define as inundações como o acúmulo temporário resultado de chuvas intensas e/ou transbordamento de corpos d'água, causado por fatores como chuvas fortes, falta de um sistema de drenagem adequado, topografia e mudanças no uso do solo.

No Brasil, as inundações historicamente são os desastres que mais resultam em perdas humanas e materiais (Kobiyama *et al.*, 2006). Esses eventos causam impactos significativos na qualidade de vida das comunidades atingidas e na infraestrutura urbana. Por isso, é fundamental entender a suscetibilidade e o alcance destes processos e avaliar a percepção de risco nessas áreas para desenvolver estratégias eficazes de prevenção e planejamento para redução de riscos e desastres.

Sendo assim, os Inventários se mostram ferramentas importantes para o controle de riscos e desastres naturais, especialmente no caso das inundações. Trata-se de um levantamento detalhado de dados sobre eventos de inundação ocorridos em uma região ao longo do tempo. Seu principal objetivo é reunir informações históricas, incluindo a frequência, intensidade, duração, áreas impactadas, danos provocados e as ações tomadas em resposta aos eventos.

Segundo Menezes et al., (2015) o aumento no número de registros pode ser atribuído a diversos fatores interrelacionados, como o crescimento populacional global e o aumento da urbanização, o que resulta na exposição de mais pessoas e, consequentemente, em um maior número de afetados.

Além disso, as mudanças climáticas e ambientais em diferentes escalas, o fortalecimento de um modelo econômico excludente e as desigualdades sociais acentuadas têm contribuído para o crescimento da população em situações de risco. Outro ponto relevante é a maior visibilidade dos eventos relacionados ao tema, devido ao avanço tecnológico e informacional nas últimas décadas, em contraste com o fato de que muitos eventos passados não foram registrados e, portanto, não foram contabilizados (Menezes *et al.*,2015).

Rabbani *et al.* (2002) no estudo sobre gestão de riscos em Bangladesh, analisaram o papel do inventário de inundações na resposta e prevenção de desastres, com foco no uso de dados históricos para o planejamento de futuras intervenções.

Com a urbanização em áreas de planície de inundação, o transbordamento das águas de um rio, antes visto como um fenômeno natural, passa a ser percebido como um desastre. Essa mudança afeta, em geral, populações em situação de maior vulnerabilidade socioeconômica, resultando em impactos negativos significativos, como perdas financeiras e sociais (Rodrigues, 2021).

O 6º Relatório de Avaliação do IPCC destaca que os eventos climáticos extremos, como precipitações intensas e inundações costeiras, estão aumentando em frequência e severidade devido às mudanças climáticas. Esses fenômenos já apresentam riscos altos em várias regiões do mundo, com impactos significativos em populações vulneráveis e infraestrutura crítica (IPCC, 2023).

Cerca de 9,5 milhões de pessoas vivem em áreas de risco sujeitas a deslizamentos de terra, inundações e outros tipos de perigos, com 75% dessas famílias vivendo em áreas propensas a deslizamentos e 25% em locais suscetíveis a inundações e enxurradas (Cemaden, 2022). Além disso, 17,8% das pessoas em áreas de risco são idosas, crianças e outros grupos mais vulneráveis (CEMADEN, 2022). Segundo a Nota Técnica nº 1/2023/SADJ-VI/SAM/CC/PR (CEMADEN, 2023), Pernambuco é o terceiro estado com a maior população em áreas de risco.

A bacia hidrográfica do Rio Paratibe (BHRP), localizada na Região Metropolitana do Recife (RMR), em Pernambuco, cobre uma extensão de aproximadamente 118 km². Essa área inclui partes dos municípios de Abreu e Lima, Camaragibe, Olinda, Paulista, Recife e Paudalho externo a RMR. A ocupação urbana e as alterações ambientais têm contribuído para desafios significativos, como vulnerabilidades às inundações, especialmente nas áreas mais densamente habitadas. (CPRH, 2023)

Devido às suas características sociais e ambientais, as áreas localizadas no seu baixo curso (estuário e planície), enfrentam um alto risco de inundações que, dependendo das condições climáticas e manutenção dos cenários de vulnerabilidade, podem se transformar em desastres. As inundações nesta região têm se tornado cada vez mais frequentes, resultando em perdas materiais consideráveis e expondo a população a doenças pós-inundação, muitas vezes com consequências fatais.

2. **Justificativa:**

O relatório de 2021 da Organização Meteorológica Mundial (OMM) destaca que, entre 1970 e 2019, eventos climáticos e meteorológicos sazonais e extremos foram responsáveis por mais de 11 mil desastres registrados, com 91% das mortes ocorrendo em países em desenvolvimento (CEMADEN, 2023). Ademais, o Brasil tem 1.942 cidades vulneráveis a desastres ambientais e climáticos, de acordo com um estudo coordenado pela Secretaria Especial de Articulação e Monitoramento, ligada à Casa Civil da Presidência da República no ano de 2024.

Os prejuízos econômicos causados por inundações podem ser extremamente elevados e incluem diversos aspectos, como danos à infraestrutura, perda de produtividade, e custos com saúde e emergências. De acordo com o Banco Mundial (2010), esses custos podem representar entre 1% e 5% do PIB de um país, dependendo da intensidade e da frequência dos eventos.

Esses eventos causam impactos significativos na qualidade de vida das comunidades atingidas e na infraestrutura urbana. Por isso, é fundamental entender a suscetibilidade e o alcance destes processos e avaliar a percepção de risco nessas áreas para desenvolver estratégias eficazes de prevenção e planejamento para redução de riscos e desastres, alinhado juntamento com as ODS 11 que busca tornar as cidades mais inclusivas, seguras, e sustentáveis e 13 que visa um plano de Ação Contra a Mudança Global do Clima.

3. Objetivos:

3.1 Objetivo Geral

Avaliar os fatores condicionantes naturais e antrópicos a inundação no baixo curso da BHRP (PE).

3.2 Objetivos Específicos

1. Caracterizar espacialmente as áreas com maiores registros de inundações;
2. Analisar os principais fatores naturais e antrópicos que condicionam as inundações no baixo curso da BHRP.

4.0 Revisão de Literatura

4.1 Conceito de Inundação

O conceito de Inundação vai variar de área de conhecimento e autor, podendo ser definido como um evento natural, um evento cíclico ou de gestão de risco. Várias áreas do conhecimento vão ter a sua definição de inundação a exemplo da Hidrologia, Arqueologia e História Ambiental, Geografia e Gestão de Risco, Hidrometeorologia, Engenharia Civil etc.

Tucci (2003) define inundação como o acúmulo temporário resultado de chuvas intensas e/ou transbordamento de corpos d'água, causado por fatores como chuvas fortes, falta de um sistema de drenagem adequado, topografia e mudanças no uso do solo. Com o passar do tempo várias outras definições vão sendo atualizadas, como é o caso da definição que é dada pelo IPCC em seus AR (Relatório de Avaliação) sendo a mais recente para o ano de 2022, em que as inundações são definidas como eventos extremos de precipitação cuja frequência e intensidade têm aumentado em função das mudanças climáticas. Esse fenômeno é associado ao aquecimento global, impulsionado pelo acréscimo nas emissões de gases de efeito estufa, que intensificam o ciclo hidrológico e a probabilidade de ocorrência de chuvas intensas.

Bertê (2004) aponta que o aumento dos problemas relacionados ao transbordamento dos cursos d'água está associado à retirada da vegetação ciliar, o que contribui para o assoreamento dos leitos. Além disso, a ocupação das áreas de planície de inundação por habitações humanas, especialmente aquelas construídas com métodos inadequados, transforma um processo natural da dinâmica hídrica, como o transbordamento dos rios, em um fenômeno percebido como anômalo, gerando impactos e prejuízos significativos.

Desde a antiguidade, as inundações sempre fizeram parte da história. Civilizações antigas que se desenvolveram ao longo do Crescente Fértil, delimitado pelos rios Jordão, Eufrates, Tigre e Nilo, ou nas margens do Rio Yangtzé, na China (Schneider, 2013), aproveitavam-se dos períodos de inundação para fertilizar suas terras. Os rios sempre foram determinantes no povoamento humano, inicialmente pela busca de terras férteis e, posteriormente, pela expansão territorial e desenvolvimento comercial (Peixoto, 2016).

4.2 Estrutura e Desenvolvimento das Cidades

A estrutura das grandes e médias cidades brasileiras, especialmente nas áreas periurbanas, é frequentemente mal planejada devido à expansão horizontal sem controle. Isso afeta principalmente as periferias, onde a interação entre os habitantes e o ambiente físico-natural é comprometida. Chaves (2009) argumenta que o desenvolvimento urbano deveria considerar os elementos espaciais já existentes, como rios e encostas. A ocupação inadequada dessas áreas pode intensificar problemas naturais, como inundações e deslizamentos, aumentando o risco para a população, conforme observado por Rodrigues e Gouveia (2013).

Santos (1979) observa que a estrutura urbana das grandes e médias cidades brasileiras é caracterizada por uma disposição irregular, especialmente nas áreas periurbanas. O processo de urbanização no Brasil, como em muitos países em desenvolvimento, foi lento e desorganizado, tornando as cidades suscetíveis a problemas socioambientais e de gestão urbana que persistem até hoje (Novaes, 2010; Carvalho e Menezes, 2020). Entre essas consequências estão problemas de infraestrutura, degradação ambiental e vulnerabilidade a desastres, como inundações (Feitosa; Nobrega; Coelho, 2016).

Alves (2017) argumenta que, desde meados do século XX, a expansão dos centros urbanos tornou-se um processo global. Esse aumento acelerado e frequentemente desordenado das cidades resultou em processos de urbanização que geraram sérios impactos ambientais, perceptíveis diariamente em diversas localidades ao redor do mundo. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU, 2019), cerca de 55% da população mundial reside em áreas urbanas, com uma projeção de que esse número aumente para 70% até 2050. Paralelamente, a população global deverá crescer em mais de 2,2 bilhões de pessoas no mesmo período, representando um incremento de 26% em relação aos atuais 7,7 bilhões de habitantes. No Brasil, conforme os dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD, 2016), 84,72% da população vive em áreas urbanas, enquanto os outros 15,28% residem em zonas rurais. (Rodrigues, 2021).

O aumento da população em áreas urbanas tem sido motivo de preocupação devido aos desafios enfrentados pelas cidades em diferentes partes do mundo, especialmente em relação ao rápido crescimento do espaço urbano. Esse processo acelerado de urbanização, observado tanto em cidades pequenas quanto em grandes centros, está frequentemente associado a impactos ambientais significativos, gerados pela expansão desordenada e pela falta de infraestrutura adequada para acompanhar o desenvolvimento urbano (Sousa 2018; Rodrigues 2021). Alinhado a esse crescimento aumenta também a demanda por serviços

de água e esgotamento sanitário, que muitas vezes já se encontram sobrecarregados ou em condições precárias, na RMR a taxa de esgoto ainda é considerada insuficiente se comparada a média nacional.

> — De acordo com o Instituto Trata Brasil, cerca de 45,2% da população da RMR não possui acesso à coleta de esgoto, o que está acima da média nacional de 44,2%. Dentro do município do Recife, mais da metade da população (55%) não tem acesso à coleta de esgoto‖, (MARCO ZERO CONTEÚDO, 2023)

Os serviços de abastecimento de água enfrentam desafios persistentes, como a conservação de mananciais urbanos, perdas significativas durante a distribuição e a ausência de estratégias eficazes para o uso racional da água em residências e indústrias. (Rodrigues, 2021) O crescimento urbano tem intensificado a contaminação ambiental devido ao descarte inadequado de efluentes, que incluem esgoto doméstico, industrial e pluvial.

Tucci (2008) argumenta que entre os fatores responsáveis estão o lançamento de esgoto sanitário sem tratamento nos rios, o escoamento pluvial com alta carga de poluentes orgânicos e metais pesados em períodos de chuva, a poluição de aquíferos subterrâneos por resíduos domésticos e industriais, e a ocupação desordenada do solo urbano, que agrava os impactos no sistema hídrico.

Nos últimos 11 anos (2012-2023), de acordo com Confederação Nacional dos Municípios (CNM), os desastres causaram R$ 401,3 bilhões de prejuízos em todo o Brasil, ademais, os desastres relacionados a chuvas e inundações foram responsáveis por cerca de 27% (16.366) dos desastres que ocorreram com mais frequência, ficando somente atrás da seca que representa 41%.

Sob a perspectiva ambiental, os efeitos da urbanização são igualmente relevantes. As águas pluviais, anteriormente consideradas relativamente limpas, revelam uma carga poluidora significativa, que, em alguns casos, pode ser comparável ou até superior à dos esgotos sanitários. O escoamento dessas águas nas áreas urbanas pode gerar inundações e causar diversos impactos, decorrentes de processos que podem atuar de forma independente ou em conjunto (Rodrigues, 2021).

4.3 Inundações causadas por urbanização

Estão associadas à ocupação do solo, onde superfícies impermeáveis e sistemas de drenagem inadequados predominam. O processo de urbanização pode gerar barreiras ao fluxo natural da água, como aterros, pontes e sistemas de drenagem insuficientes, além de contribuir para obstruções causadas pelo acúmulo de sedimentos e lixo nos condutos de escoamento. Esses fatores combinados intensificam os riscos de transbordamentos e inundações em áreas urbanas. Outro aspecto importante a ser considerado é a remoção da vegetação e a transformação de áreas naturais em superfícies impermeáveis. Esse processo não apenas modifica o balanço hídrico da região, mas também eleva as temperaturas locais e intensifica o escoamento superficial. A cobertura vegetal desempenha um papel essencial ao regular o fluxo de água e contribuir para a absorção do solo, funções que são comprometidas com sua retirada.

A realidade adotada no Brasil para o controle de inundações nos centros urbanos, em sua grande maioria, ainda está baseada nos princípios higienistas, ou seja, é caracterizado pela rápida evacuação das águas pluviais, por meio de condutos dos locais caracterizados como — geradores das inundações e alagamentos, que ainda persistem atualmente (Canholi, 2005; Rodrigues, 2021)

Com o passar dos anos é perceptível que ocorre um aumento da frequência e da intensidade dos eventos relacionadas a inundações, esse fato é agravado pela falta de controle do uso do solo.

Em maio de 2022, a Região Metropolitana do Recife (RMR) registrou um acumulado médio de precipitação de 640 mm, um aumento de 122% em relação à média climatológica de 288,2 mm para o período. As chuvas intensas impactaram diretamente cerca de 130 mil pessoas, deixando 20 mil desalojadas ou desabrigadas. Além disso, 109 pessoas perderam a vida devido aos efeitos do Distúrbio Ondulatório do Leste (DOL) no Grande Recife, superando o número de vítimas da enchente de 1975, que resultou em 107 óbitos. G1, 2022).

Figura 1: Ruas alagadas após DOL, em Olinda

Fonte: Jornal Metrópoles, 2022.

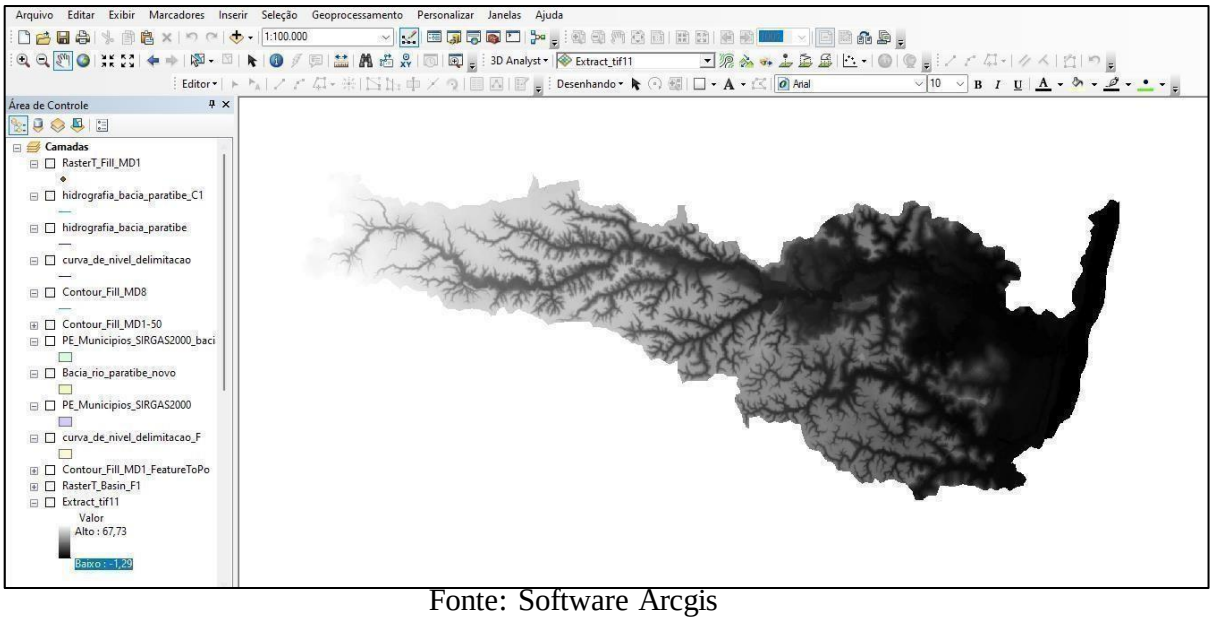
Em maio de 2024, grandes temporais assolaram o estado do Rio Grande do Sul, provocando grandes transtornos. De acordo com a Defesa Civil do estado do RS, durante as enchentes de maio de 2024, cerca de 2.339.508 pessoas foram afetadas. Deste total, 581.633 foram desalojadas, 76.188 buscaram abrigos e 806 ficaram feridas. Além disso, houve 157 óbitos confirmados e 88 pessoas desaparecidas. As ações de resgate atenderam mais de 82.666 indivíduos, além de 12.358 animais resgatados

Muitas cidades brasileiras enfrentam problemas relacionados a enchentes e inundações, com situações particularmente críticas nas regiões metropolitanas. Nessas áreas, há uma alta concentração de núcleos habitacionais de baixa renda ocupando terrenos próximos a cursos d'água, o que intensifica os riscos associados a esses eventos (BRASIL, 2007; Rodrigues, 2021).

5. Metodologia

Com o objetivo principal de analisar as áreas suscetíveis a inundações no baixo curso da bacia do Rio Paratibe, iniciou-se o estudo com a delimitação da área de pesquisa, utilizando os softwares ArcGIS 10.5, sob licença acadêmica, e QGIS 3.28.3. Para a análise, foi empregado o Modelo Digital do Terreno (MDT) (Figura 2), com resolução espacial de 50 cm e precisão altimétrica de 25 cm, obtido a partir da base cartográfica do Pernambuco Tridimensional (PE3D) (Cirilo et al., 2014; SEDEC, 2016).

Figura 2 MDT inserido na área de trabalho do Arcgis

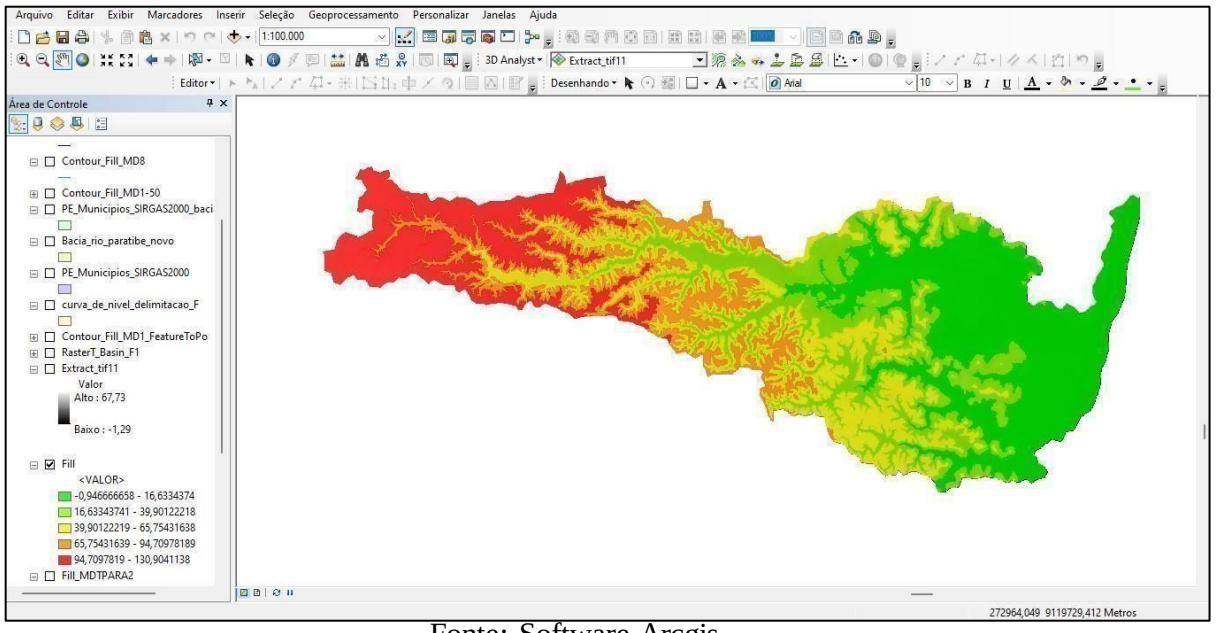


Fonte: Software Arcgis

Para a correção dos pixels, foi utilizada a função *fill* (figura 3), enquanto a divisão dos cursos de drenagem da bacia hidrográfica seguiu o critério de classificação de Strahler (1957), que considera a declividade como um dos parâmetros para definir a hierarquia dos cursos d'água. Strahler desenvolveu um sistema de ordenamento dos rios baseado na organização e hierarquização das redes de drenagem, sendo eles:

- Ordem dos Cursos de Água
- Declividade do Terreno,
- Regime Hidrológico e Energia
- Segmentação Longitudinal

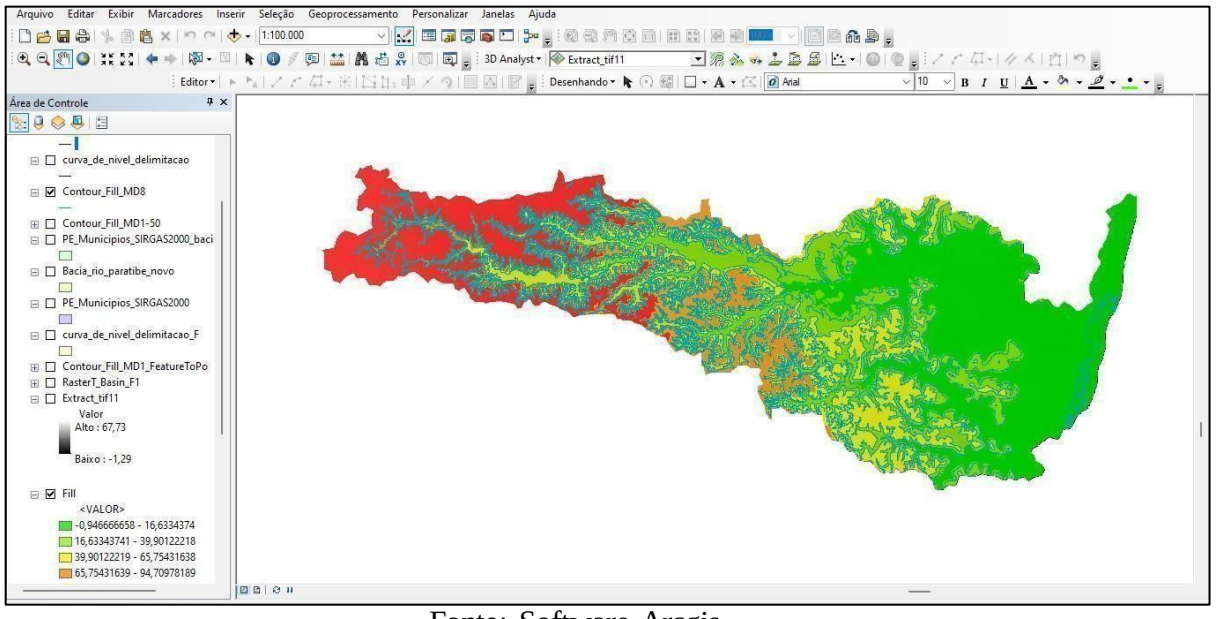
Figura 3: Função Fill e Declividade



Fonte: Software Arcgis

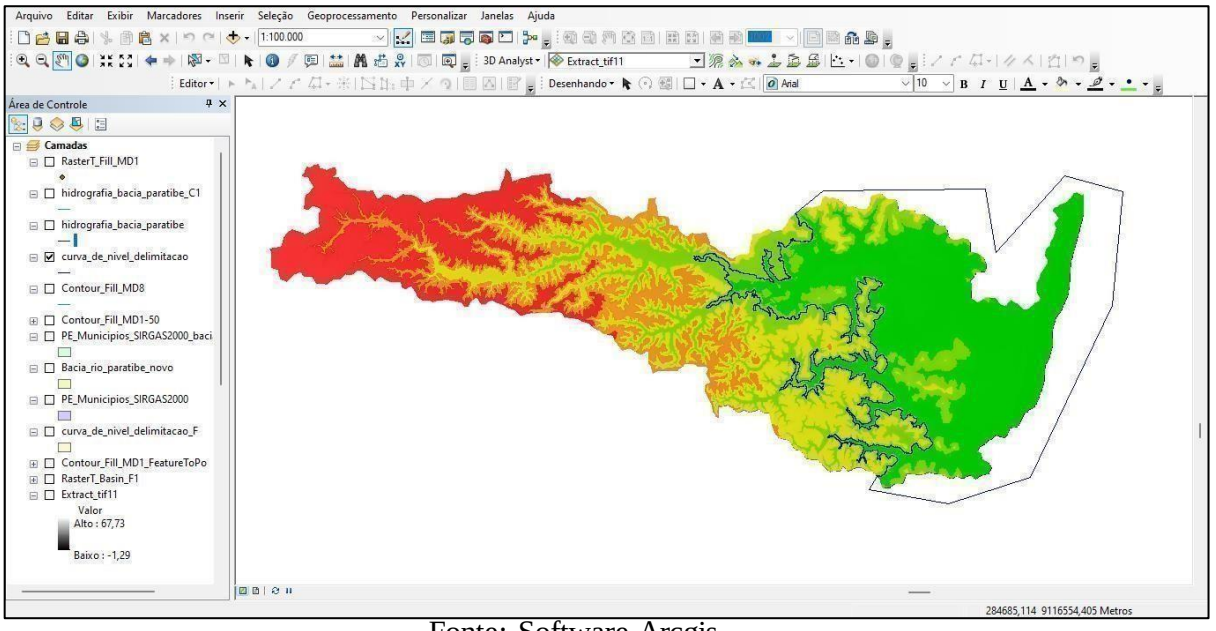
A delimitação do baixo curso foi extraída a partir das curvas de nível, que foram geradas utilizando a ferramenta *contour* com o espaçamento de 20 metros. (figura 4)

Figura 4: Curvas de nível a partir da função contour



Fonte: Software Arcgis

Figura 5: Delimitação da área de estudo através da curva de nível



Fonte: Software Arcgis

Para medir a extensão da área de estudo foi usada a calculadora de campo, a área estimada é de aproximadamente 40km.

5.1 Análise de áreas suscetíveis à inundação

A inundação é um fenômeno complexo, influenciado por uma ampla gama de fatores ligados às características topográficas e hidrológicas de uma região. Para estimar e prever a extensão das áreas afetadas, empregam-se diferentes métodos e variáveis, com especial atenção para os aspectos relacionados ao relevo e ao comportamento hidrológico (BRASIL, 2024).

A metodologia empregada para analisar as áreas suscetíveis à inundação no baixo curso da BHRP consistiu em três etapas: levantamento jornalístico, confecção dos mapas temáticos e validação por meio de ocorrências.

A primeira etapa consistiu no levantamento das ocorrências e dados bibliográficos já existentes que estão disponíveis a partir de textos jornalísticos, textos acadêmicos, depoimentos de moradores e relatórios técnicos. Esse estudo envolve uma análise detalhada de registros históricos de eventos associados a enchentes e inundações, com foco principal na identificação das regiões mais suscetíveis.

Foi utilizado um intervalo de 9 anos que abrangeu o período de 2015 a 2024, visando identificar as recorrências desses eventos durante esse intervalo, além de compreender os desafios enfrentados pela população local nos bairros mais suscetíveis a esses eventos. As informações levantadas incluem: depoimentos dos moradores, fotos e vídeos, e ocorrências já registradas em outros trabalhos.

Para as ocorrências, foi criada uma tabela na qual cada coluna foi separada em três critérios: ocorrência, localidade e a fonte:

Tabela I: Ocorrências

OCORRÊNCIAS	BAIRRO	FONTE
Avenida Paulista	Arthur I (Paulista)	Morador
Avenida Palmares	Arthur I (Paulista)	Morador
Rua Rio Camaleão	Paratibe (Paulista)	Morador
Ocorrências PMRR	Rio Doce (Paulista)	PMRR
Rua Sítio do Jorge	Maranguape I (Paulista)	Morador
Maranguape I	Maranguape I (Paulista)	Badarau, M. et. Al, 2018
Imediações do Canaldo Fragoso	Jardim Fragoso (Olinda)	PMRR
Jardim Atlântico	Jardim Atlântico (Olinda)	PMRR
Tabajara	Tabajara (Paulista/Olinda)	PMRR

Elaboração: Autor

5.2 Mapas temáticos

Os mapas temáticos foram produzidos nos Softwares ArcGIS 10.5, sob licença acadêmica, e QGIS 3.28.3

O mapa de Declividade foi produzido no Qgis 3.28.3 utilizando um Modelo Digital do Terreno (MDT) com resolução espacial de 50 cm e precisão altimétrica de 25 cm, obtido da base cartográfica do Pernambuco Tridimensional (PE3D). Para a distribuição das classes da declividade foi utilizado a metodologia da EMBRAPA, 1979 e as classes foram divididas em 5 intervalos: Plano - 0 a 3%; Suave Ondulado – 3 a 8%; Ondulado – 8 a 20%; Forte Ondulado – 20 a 45%; Montanhoso – 45 a 75%. (Figura 25)

O mapa Hipsométrico foi produzido no Qgis 3.28.3 utilizando um Modelo Digital do Terreno (MDT) e função simbologia, disponível na aba de Propriedades. (Figura 8)

O mapa de Uso e Ocupação do Solo foi feito no Qgis 3.28.3, os usos da terra foram classificados pelo Projeto MAPBIOMAS (2023). (Figura 26)

O mapa de ocorrências foi confeccionado a partir de informações já disponíveis em veículos de imprensa, outros trabalhos e relatórios técnicos, depoimentos de moradores e fotos disponibilizadas por eles. Os pontos críticos foram gerados através de alfinetes inseridos no Google Earth e depois exportados para o software Qgis 3.28.3, onde foram convertidos para Shapefile e em seguida foram mesclados com pontos críticos já existentes disponibilizados pelo Plano Municipal de Redução de Riscos
(PMRR) 2024 de Olinda. Para os pontos críticos foram gerados ―Buffers‖ que seriam áreas circundantes ao redor do ponto.

Para a área do Buffer foi medida uma área de 300m a partir do ponto central, essa extensão leva em conta as ocorrências e a distância a partir dos canais de drenagem.

A distribuição espacial das inundações no baixo curso da BHRP resultou em um total de 9 pontos, em Olinda nos bairros de Ouro Preto, Fragoso, Jardim Atlântico, Rio Doce, Casa Caiada e Tabajara e em Paulista nos Bairros de Arthur Lundgren I, Paratibe e Maranguape I. (Figura:15)

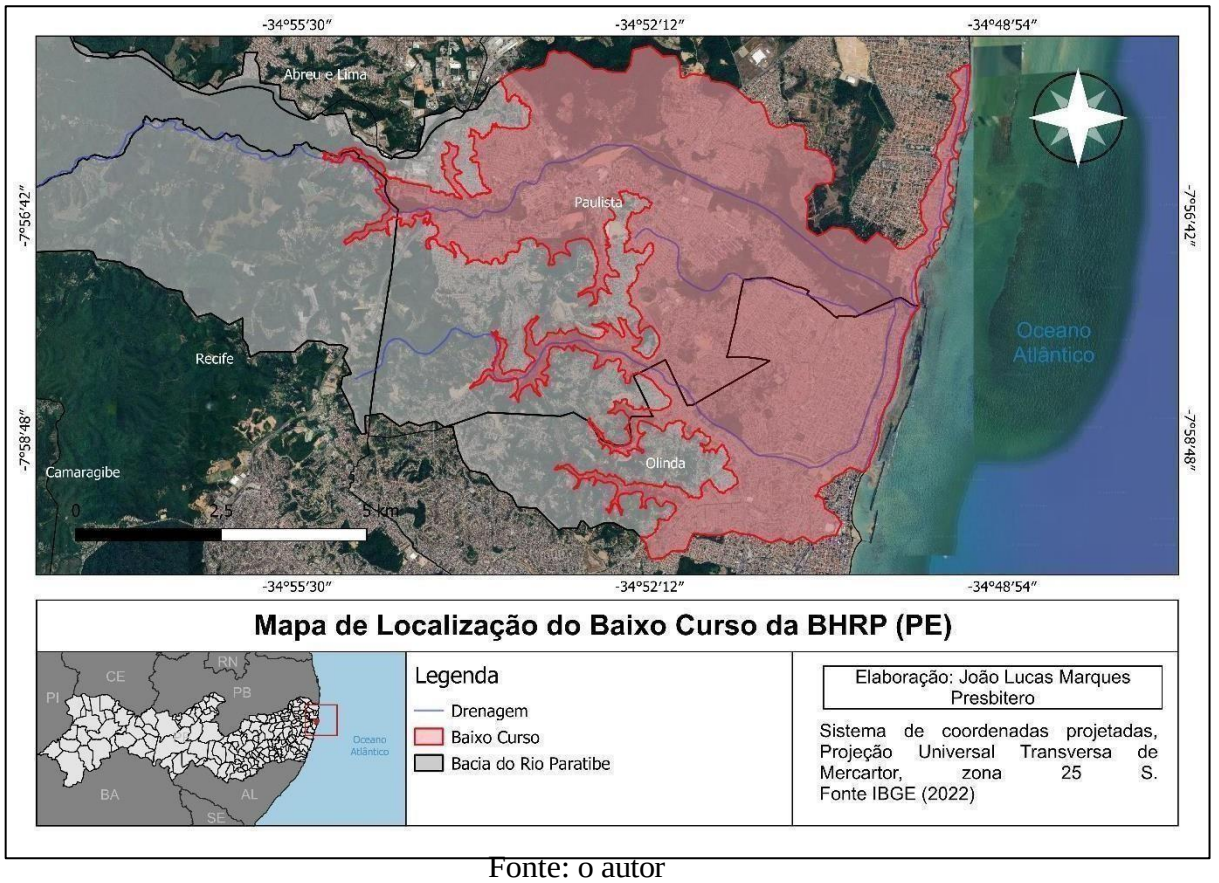
Para a confecção dos climogramas, foram somados os dados de precipitação média mensal, temperatura mínima e máxima dos municípios de Paulista e Olinda disponibilizados pelo site da Agência Pernambucana de Águas (APAC), para a temperatura média mensal foram somadas as máximas e mínimas disponíveis no site CLIMATEMPO. Em seguida os dados foram exportados para o Excel para serem convertidos em gráficos. As médias climatológicas são valores calculados a partir de uma série de dados de 30 anos observados. (Figuras: 12, 13 e 14)

6. Área de Estudo

A área escolhida para a pesquisa é o baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Paratibe (BHRP), localizada nos municípios de Paulista e Olinda, Região Metropolitana do Recife (Figura 6). De acordo com a Companhia Pernambucana de Recursos Hídricos – CPRH (2013) e Pontes (2019), o baixo curso do Rio Paratibe, localizado no município de Paulista, tem o seu trecho iniciado a partir da rodovia BR-101 estendendo-se até o sistema estuarino próximo ao oceano.

> ―De acordo com análises geoquímicas realizadas, o trecho final do rio apresenta aproximadamente 8 km de extensão a partir da rodovia BR-101 até sua foz no Atlântico. Essa área inclui o sistema estuarino e é marcada por impactos ambientais significativos devido à ocupação urbana e atividades industriais.‖ (Pontes, 2019)

Figura 6: Mapa de Localização



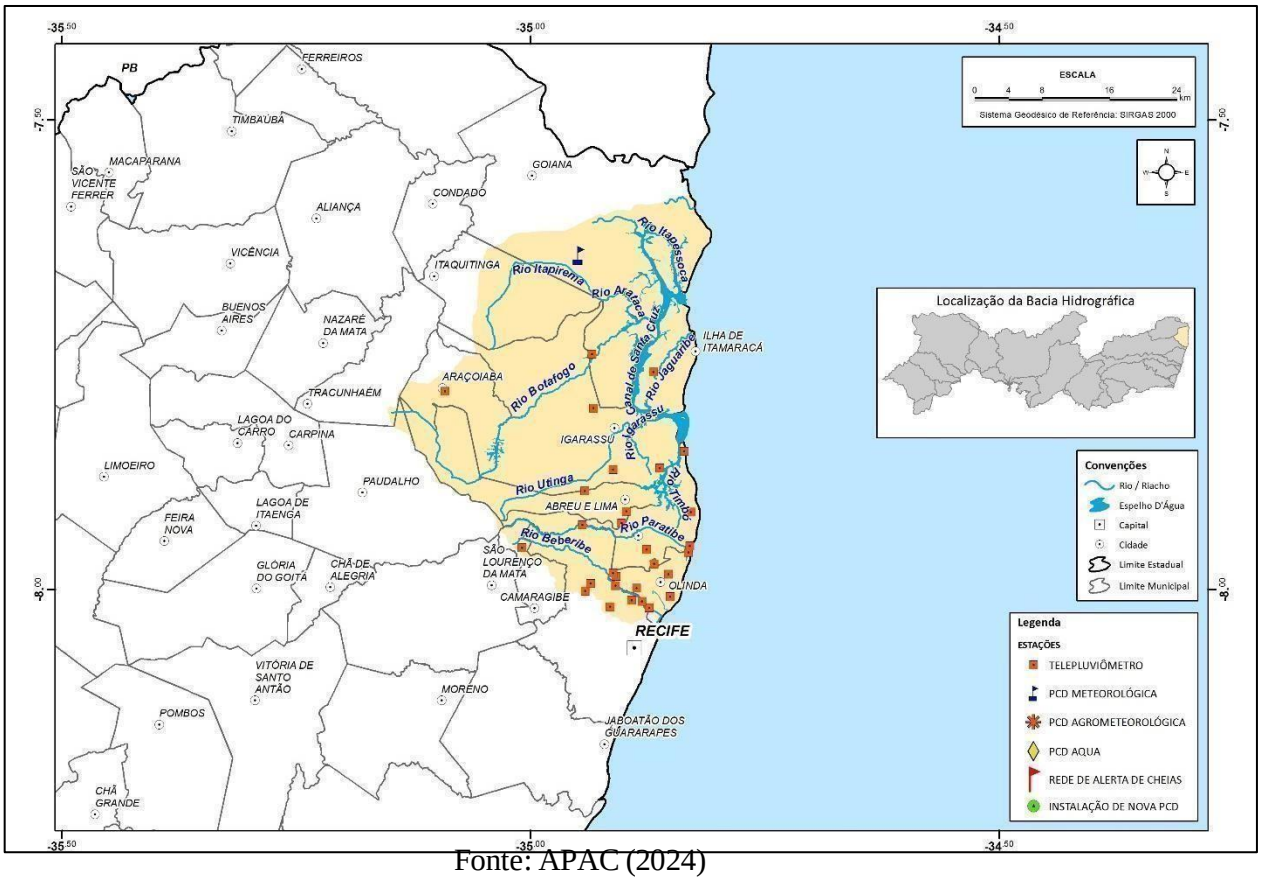
Fonte: o autor

O baixo Curso inclui partes dos municípios de Olinda e Paulista (Figura 1), e recebe como principais afluentes o canal das tintas e o Rio Fragoso (CPRH, 2021).

A BHRP está localizada na Unidade de Planejamento Hídrico (UP14) que corresponde as Grupo de Bacias de pequenos rios Litorâneos (GL1), no litoral norte do Estado de Pernambuco, limita-se ao norte com a bacia do rio Goiana (UP1), ao sul com a bacia do rio Capibaribe (UP2), ao leste com o oceano Atlântico e, a oeste, com as bacias do rio Goiana e do rio Capibaribe (Figura 2).

Esse grupo inclui as bacias dos rios que deságuam diretamente no Oceano Atlântico, sem a necessidade de se conectar com outras grandes bacias fluviais. Essas bacias são caracterizadas por um tamanho menor e uma dinâmica de drenagem que muitas vezes está associada a áreas urbanas e costeiras (APAC, 2024). De acordo com o Censo Demográfico de 2022 do IBGE, as populações dos municípios onde estão inseridos na área do baixo curso da BHRP são: Olinda: 349.976 habitantes e Paulista:
342.167 habitantes.

Figura 7: mapa da GL1



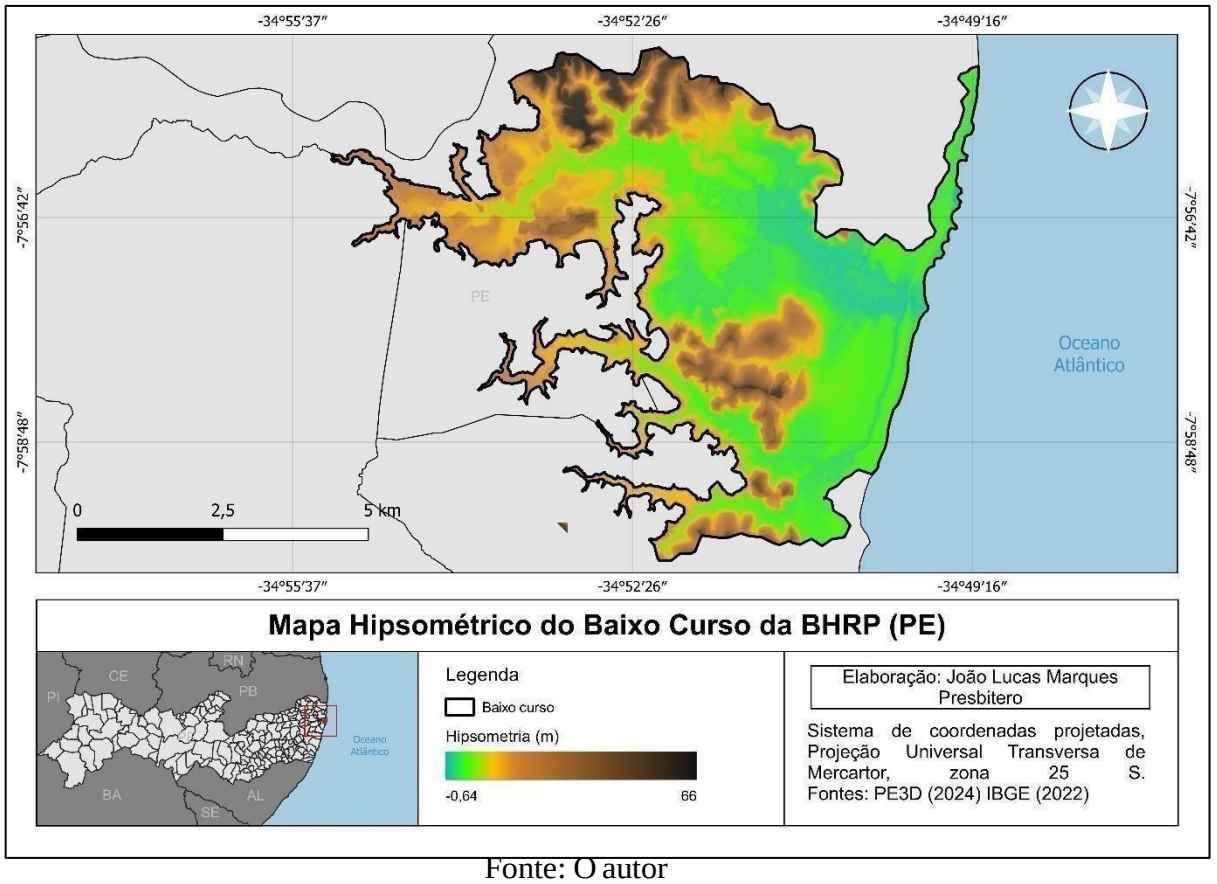
Fonte: APAC (2024)

6.1 Hipsometria

Segundo Christofoletti (1980), a hipsometria é uma importante ferramenta na análise do relevo, pois possibilita a interpretação das formas do terreno ao correlacionar altitude e área. Essa técnica é importante para entender os processos geomorfológicos e a evolução da paisagem, uma vez que facilita a quantificação da distribuição altimétrica de uma região, ligando-a aos fenômenos de erosão, transporte e sedimentação. Também auxilia na análise da dinâmica das bacias hidrográficas, fornecendo subsídios para o entendimento da energia potencial da água.

No baixo curso da BHRP, a região apresenta características típicas de áreas costeiras, com terrenos de baixa altitude, predominando planícies aluviais e áreas de baixada. Esses relevos são resultado de processos de deposição e erosão, favorecendo a formação de deltas e estuários, sendo também influenciados pelas marés e corpos d'água costeiros. (figura 3)

Figura 8: Mapa da Hipsometria do baixo curso da BHRP



Fonte: O autor

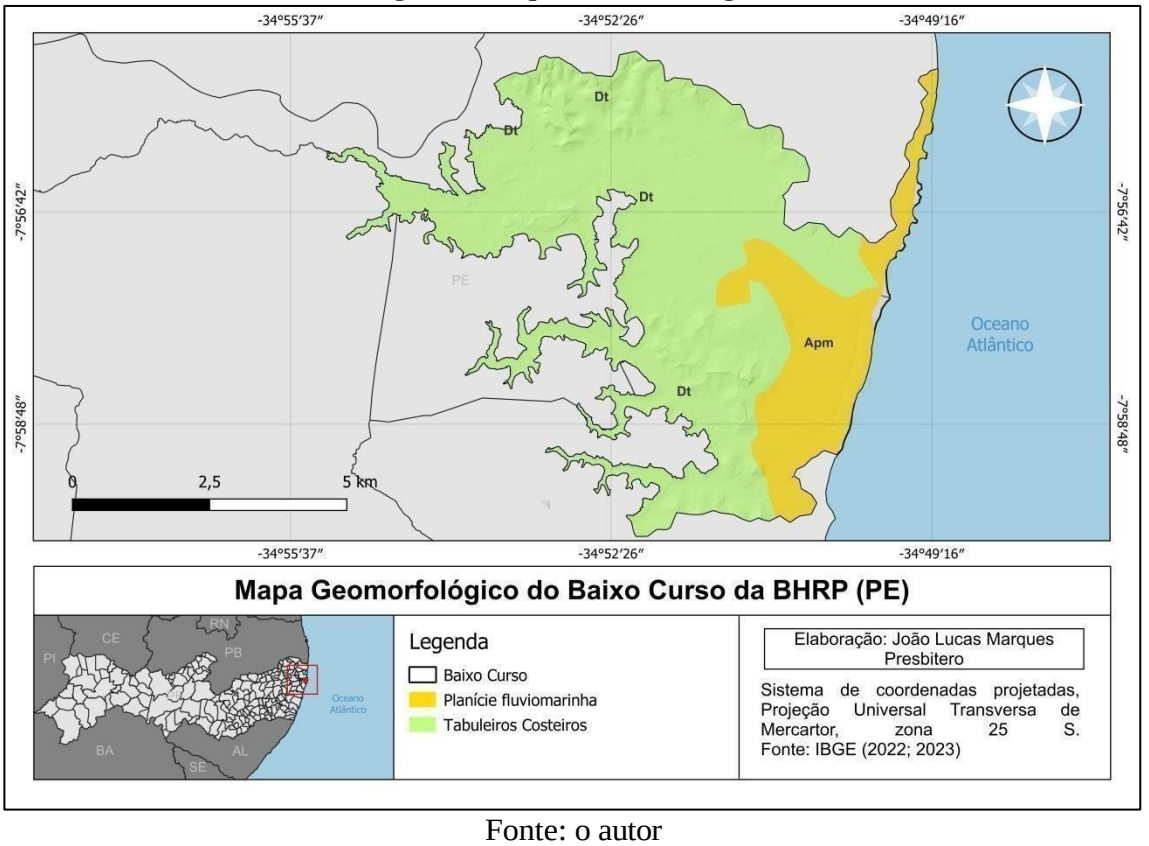
6.2 Geomorfologia

O relevo da região é constituído basicamente pela Planície Fluviomarinha que é uma formação de relevo resultante da deposição de sedimentos, caracterizada por sua forma alongada e contínua, estendendo-se paralelamente à linha costeira. Com uma largura média de aproximadamente 100 metros e altitudes em torno de 4 metros, essas superfícies planas se situam em uma zona de transição entre os sistemas deposicionais continental e marinho. Compostas predominantemente por sedimentos arenosos, essas áreas apresentam drenagem deficiente e sofrem influência direta das marés, ficando sujeitas a inundações periódicas ao longo de sua extensão (Brasil, 2024).

Os Tabuleiros seriam extensas superfícies aplainadas que se estendem paralelamente ao litoral (Ab'Saber, 2003).

Essa área apresenta uma grande extensão aberta em direção ao oceano, com uma configuração semelhante a um anfiteatro. A variação topográfica dessa região contribui para o acúmulo de água no baixo curso, um fenômeno que foi agravado pela ocupação e uso do solo em áreas densamente povoadas da Região Metropolitana do Recife (RMR) (Suguio, 2010; Girão et al. 2018).

Figura 9: Mapa Geomorfológico

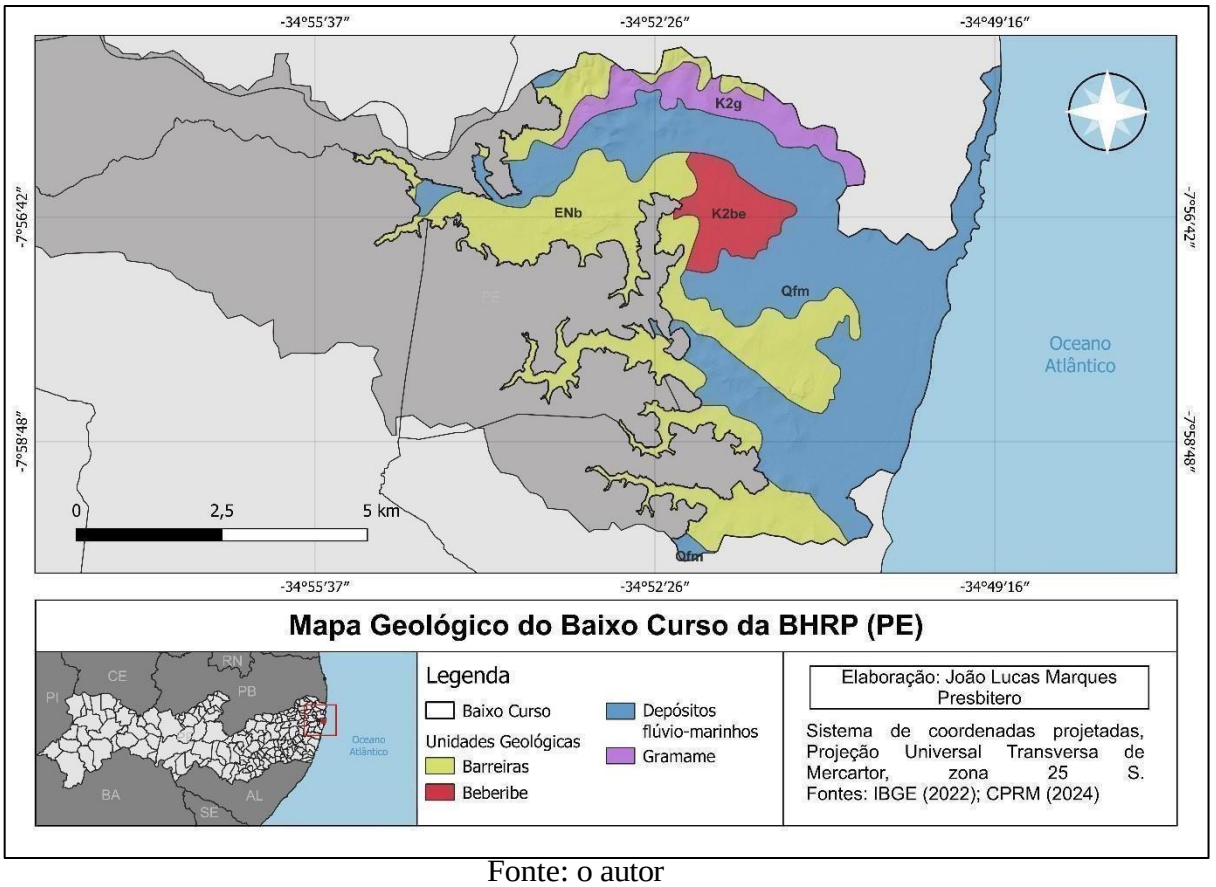


Fonte: o autor

6.3 Geologia

O baixo curso da BHRP insere-se na faixa sedimentar costeira. As unidades Litoestratigráficas que ocorrem na área de abrangência do Rio Paratibe são: as Formações Beberibe, Barreiras, Gramame e os Depósitos Fluviomarinhos que datam do mesocenozóico (Figura x).

Figura 10: Mapa Geológico



Fonte: o autor

A Formação Gramame é composta por calcários, calcários margosos e margas, formando ciclos de rasamento. Esses ciclos refletem o estágio de estabelecimento definitivo da transgressão marinha no Cretáceo, com depósitos em uma plataforma rasa, caracterizada por energia baixa a moderada e influenciada periodicamente por tempestades (Brasil, 2024).

A Formação Barreiras é constituída por sedimentos clásticos, com características areno-argilosas e lateríticas, de origem continental, e tem sua datação atribuída ao período terciário. Sua formação é marcada por processos fluviais, os quais são representados por três principais sistemas deposicionais, conhecidos como fácies: fácies

de leque aluvial proximal, leque aluvial/planície aluvial e fácies de canal fluvial entrelaçado (Alheiros et al., 1988; Bandeira, 2010; Brasil, 2024).

Os Depósitos Fluviomarinhos são típicos de áreas de transição entre o ambiente continental e o marinho, eles se formam em estuários, delimitando as zonas de baixa energia entre os rios e o mar. Esses ambientes são influenciados por variações nas marés e pela ação dos rios que transportam sedimentos para o mar, eles marcam as zonas de estabilização do ambiente marinho e a construção das superfícies sedimentares que vão formar as plataformas continentais e os tabuleiros costeiros (Ab'Saber, 2003).

Segundo Ab'Saber, a Formação Beberibe é uma formação de ambientes transicionais, com predomínio de depósitos fluviomarinhos. Ele descreve a formação como um reflexo das interações entre os processos marinhos e fluviais, que causam a alternância de camadas de sedimentos mais finos e mais grossos, dependendo da força das correntes marinhas e da ação fluvial (Ab'Saber, 2003).

6.4 Pedologia

O clima da Região Metropolitana do Recife (RMR) está intimamente ligado à formação dos solos. As elevadas taxas de umidade e as temperaturas elevadas favorecem os processos de intemperismo químico nos solos, levando à decomposição dos minerais mais suscetíveis (Alheiros et al., 1988; Bandeira, 2010; Brasil, 2024).

A formação dos solos na região está relacionada ao clima úmido, e seu desenvolvimento foi influenciado por sua posição na paisagem. De acordo com a Classificação Brasileira de Solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2013), os principais tipos de solos presentes na área de estudo são Gleissolos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Latossolos Amarelos, com grande parte da região ocupada por área urbana (Figura 11).

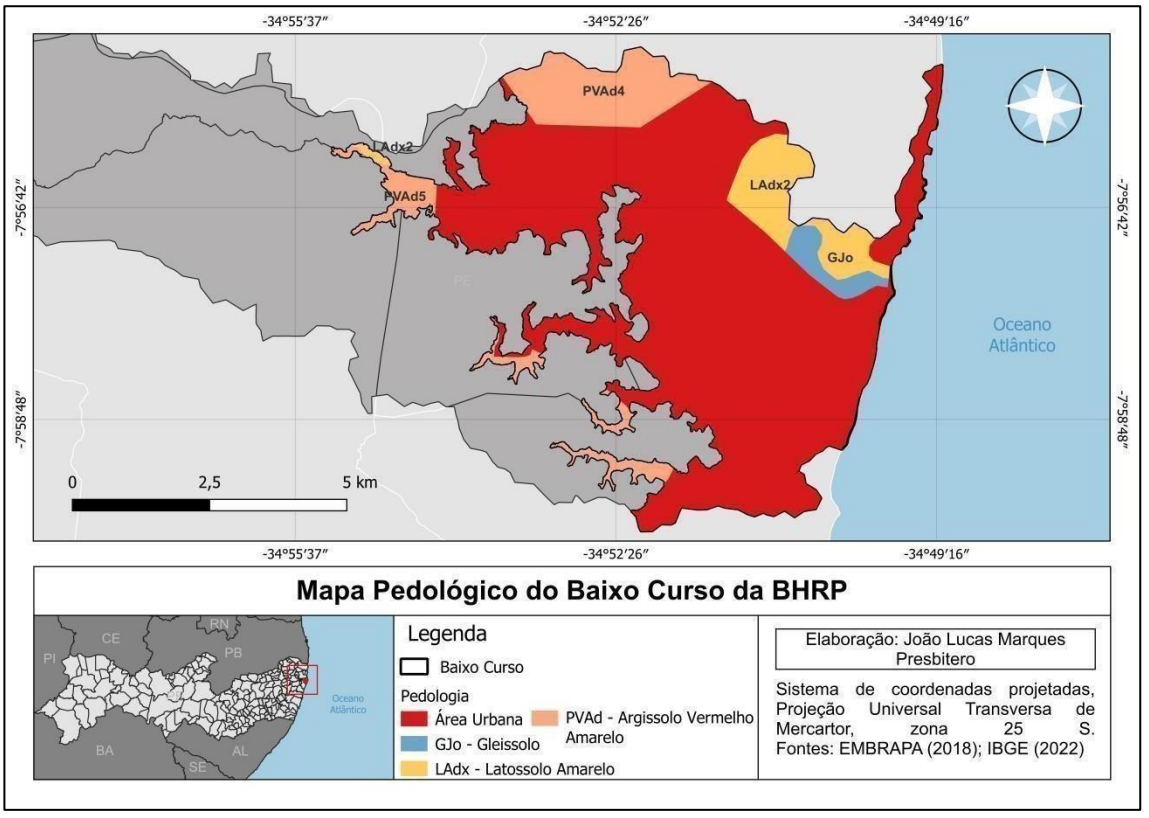
Os Gleissolos são solos hidromórficos, formados em ambientes com presença constante de água, o que provoca uma saturação prolongada e reduz a oxigenação do solo. Essa saturação pode ser causada por águas subterrâneas ou por inundações recorrentes. Normalmente, os gleissolos se desenvolvem em áreas como planícies de inundação, estuários, baixadas e nas margens de rios (Ab'Saber, 1988; Lima 1998).

O Argissolo Vermelho-Amarelo é caracterizado por um horizonte B textural, com acúmulo de argila em relação às camadas superficiais, apresentando coloração variável entre vermelho e amarelo, influenciada pela oxidação de ferro (EMBRAPA, 2013). Na

área de estudo, ele possui elevada lixiviação de nutrientes, sendo classificado como distrófico, ou seja, pobre em bases trocáveis.

Os Latossolos Amarelos, segundo Kampf e Curi (2000) são solos resultantes do intenso intemperismo em climas quentes e úmidos. Sua coloração amarela é uma característica associada à predominância de goethita (mineral de óxido de ferro) em detrimento da hematita. São solos profundos e intemperizado. (EMBRAPA, 2013).

Figura 11: Mapa Pedológico



Fonte: o autor

6.5 Climatologia

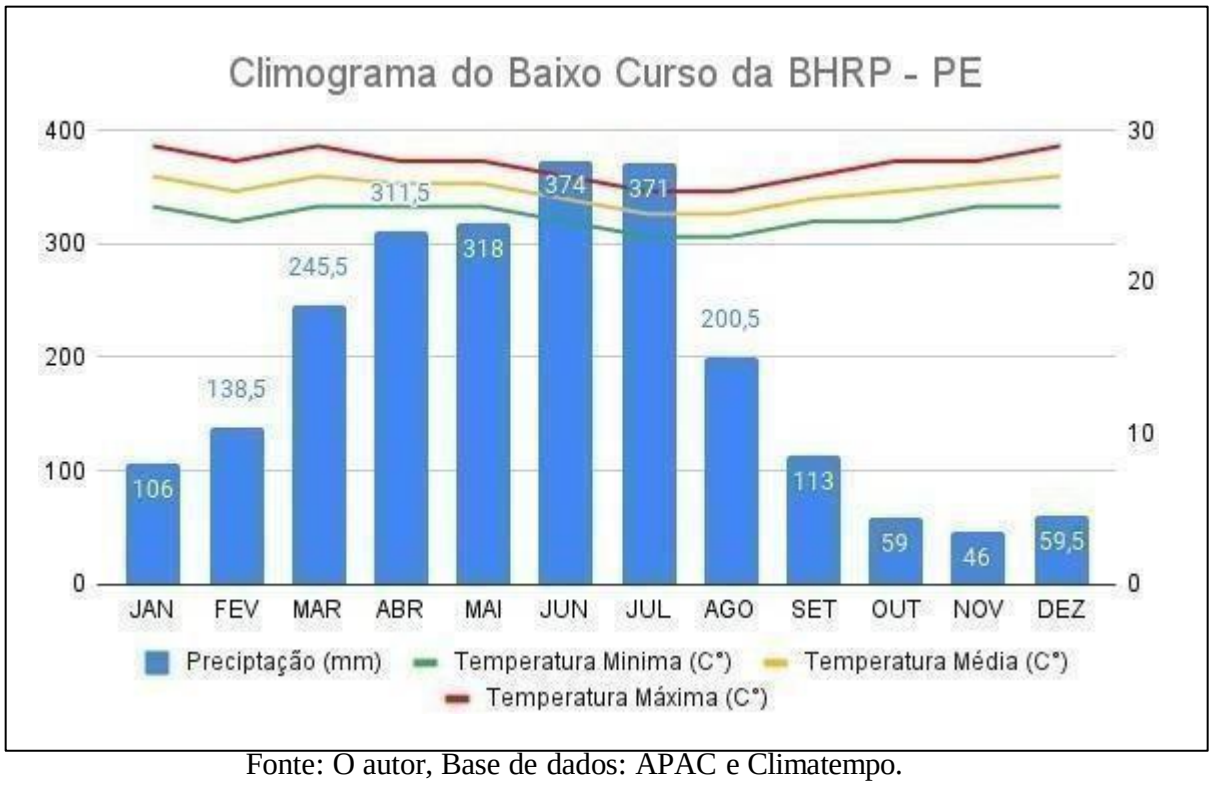
De acordo com a classificação climática de Koppen-Geiger (1918), o clima dominante na área é o As – Clima tropical quente e úmido, com chuvas de outono e inverno. O regime de chuvas na área da bacia é influenciado por diferentes sistemas atmosféricos. Entre dezembro e fevereiro, e ocasionalmente em março, os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) atuam na região.

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) também exerce influência entre dezembro e maio, e os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) que são fenômenos atmosféricos de grande escala que se desenvolvem na baixa Troposfera Tropical.

Quando surgem no Oceano Atlântico Sul, esses sistemas tendem a se deslocar para o oeste, ganhando intensidade à medida que se aproximam da costa leste do Nordeste brasileiro. (Chou, 1990; Silva, 2010; Nobrega et. al, 2012), eles podem ocorrer de março a agosto, especificamente no período do inverno, geralmente são responsáveis por episódios de chuvas intensas, causando diversos transtornos como enxurradas, deslizamentos e inundações.

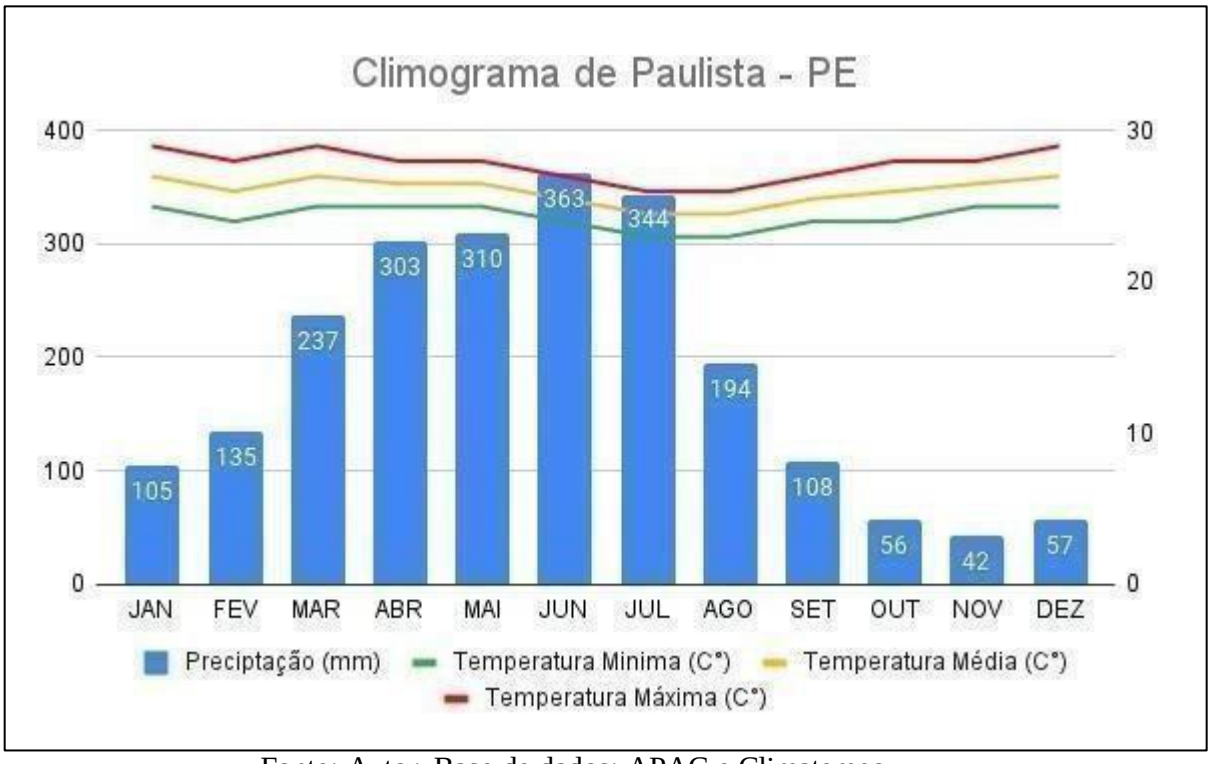
Além disso, as Brisas Marítimas, um sistema de pequena escala proveniente da costa, e as Frentes Frias, que se manifestam principalmente no outono e inverno (março a agosto), também contribuem para as precipitações. Essa dinâmica resulta em uma média anual de precipitação que varia entre 1.800 e 2.200 mm (Girão et al,. 2018).

Figura 12: Climograma para o Baixo Curso da BHRP



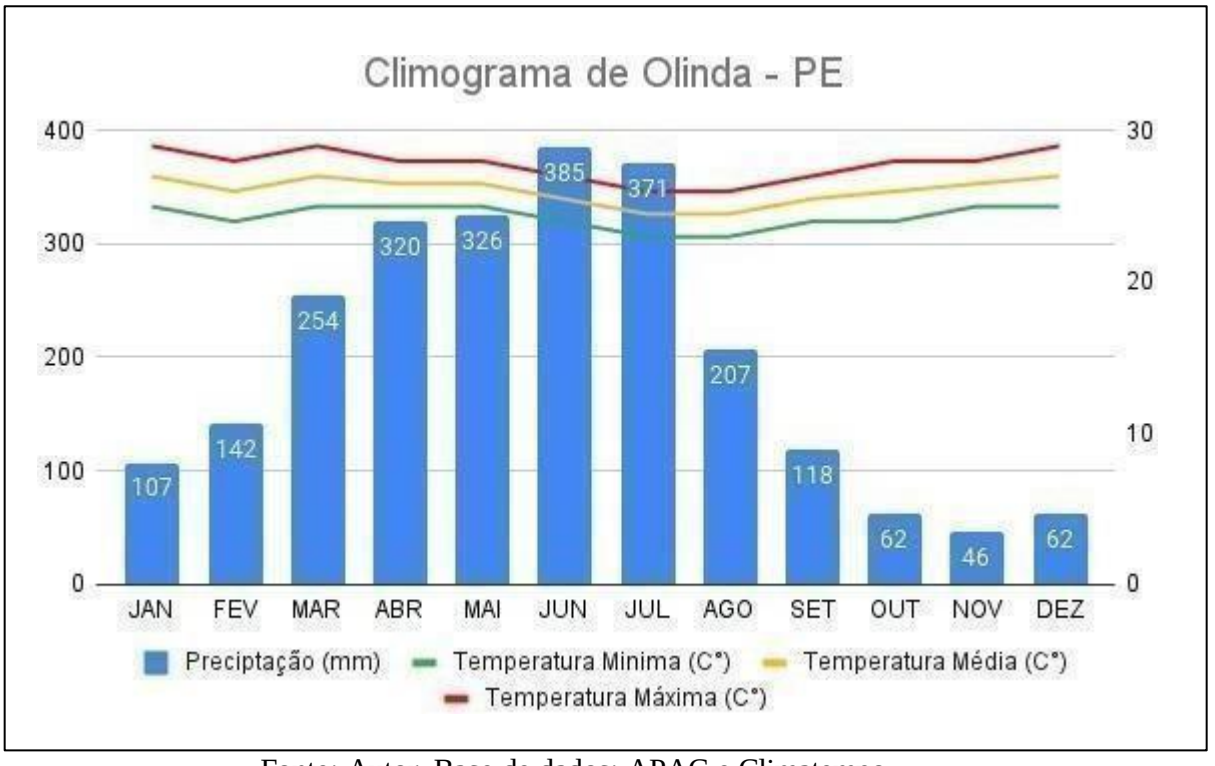
Fonte: O autor, Base de dados: APAC e Climatempo.

Figura 13: Climograma para o Município de Paulista - PE



Fonte: Autor, Base de dados: APAC e Climatempo.

Figura 14 Climograma para o Município de Olinda – PE

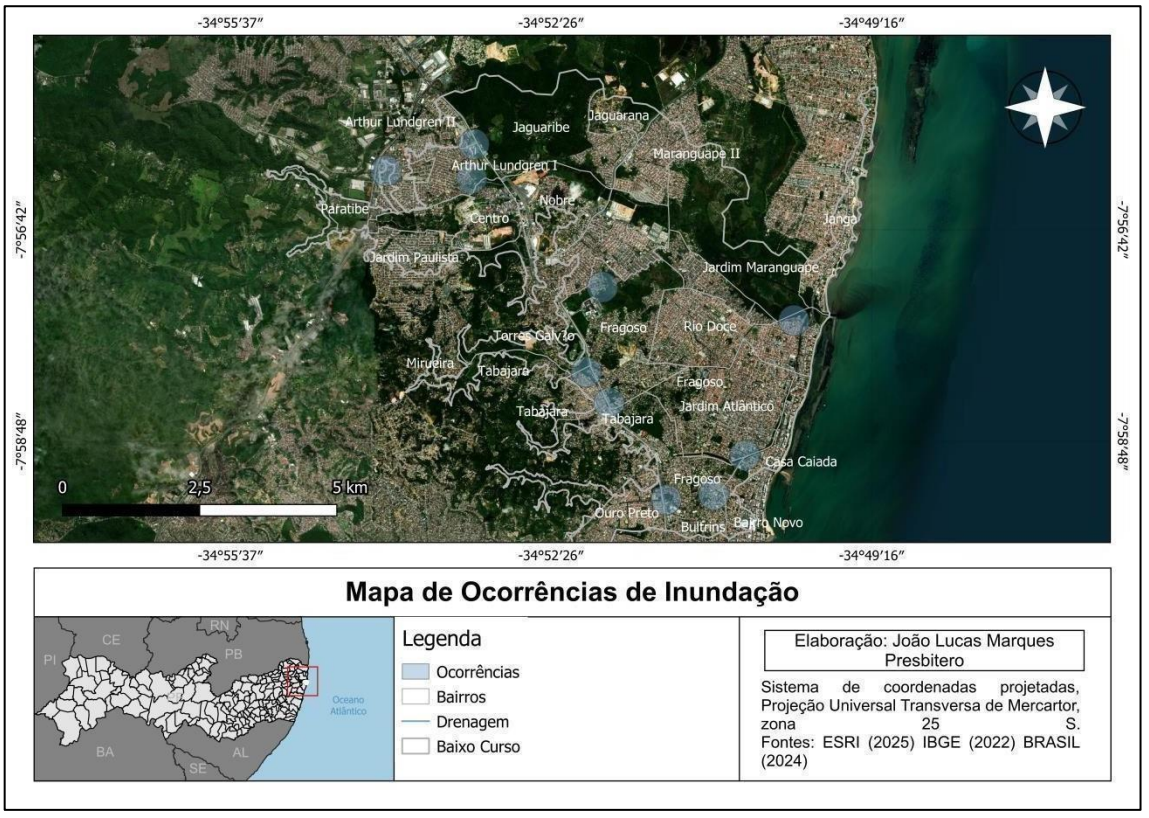


Fonte: Autor, Base de dados: APAC e Climatempo.

7. Resultados e Discussão

7.1 Ocorrências

Figura 15: Ocorrências de Inundação



Fonte: o autor

Figura 16: alagamento emavenida próxima a um trecho do Rio Paratibe, no bairro de Arthur Lundgren I, em Paulista, durante o ano de 2024.

Foto: Morador

Figura 17: alagamento emavenida na entrada do bairro de Arthur Lundgren I, em Paulista durante o ano de 2022.

Foto: Morador

Figura 18: alagamento em ruas próximas a canal no bairro de Paratibe, em Paulista.

Fonte: morador

Figura 19: A, B, e C Ruas alagadas no Bairro de Maranguape I, em Paulista e residências precárias próximas ao canal.

Fonte: Adaptado de Badarau, M. et. Al, 2018

As inundações no baixo curso da BHRP estão diretamente relacionadas à sua rede de drenagem, que inclui o Rio Paratibe e seus principais afluentes, como o Canal

das Tintas, o Canal do Fragoso e o Rio Doce, responsáveis por grande parte do escoamento das águas superficiais na área.

Os bairros do município de Paulista que se encontram dentro do baixo curso, tem as inundações como consequência não só da urbanização desenfreada, mas também da obstrução dos canais por conta do descarte irregular do lixo (figuras 20 e 25), e dos aterros que o Rio Paratibe vem sofrendo ao longo do seu trecho final, boa parte desses aterros são resultantes da especulação imobiliária e de obras irregulares, e do assoreamento dos canais. (Figuras 21 e 22) Os moradores dos bairros de Arthur Lundgren I e Paratibe reportaram que após a construção dos condomínios no centro de Paulista a frequência das inundações aumentou considerando não só um evento extremo como foi no caso de 2022, mas também um evento de precipitação moderado.

Figura 20: Lixo e Vegetação em Canal

Fonte: o autor

Badarau et, al. (2018) fizeram um mapeamento preliminar do bairro de Maranguape I, localizado na bacia do rio Paratibe, destacando sua vulnerabilidade a inundações devido à ocupação urbana e à impermeabilização do solo. Eles mostraram que a urbanização desordenada, com construções próximas a canais assoreados e terrenos alagáveis, intensifica a frequência e a gravidade das inundações.

Figura 21: Aterro as margens do Rio Paratibe, na PE 22 em Paulista

Fonte: Renderson, 2022

Figura 22: Vista dos aterros nos bairros de Arthur Lundgren I e Centro de Paulista

Fonte: Google Earth: adaptado pelo autor, 2024

No que se diz respeito ao trecho norte do município de Olinda que está inserido dentro do baixo curso da BHRP, as causas das inundações também estão ligadas ao contexto da rede de drenagem.

Brasil (2024) enfatiza que as inundações em Olinda estão diretamente associadas à rede de drenagem local, formada pelo Rio Beberibe, Rio Paratibe e seus afluentes, como o Canal dos Bultrins e o Canal do Fragoso, que desempenham um papel crucial no escoamento das águas superficiais na área.

No que diz respeito as intervenções de macrodrenagem, como as realizadas no Canal do Fragoso, cuja obra de revestimento foi iniciada em 2013, e o principal objetivo é aplicar técnicas de engenharia hidráulica para ampliar a capacidade de escoamento e

aprimorar o controle de cheias, visando minimizar os impactos das inundações nas áreas adjacentes, Segundo Brasil (2024), a obra do canal tem gerado impactos negativos, dentre eles o aumento da frequência com que suas residências passaram a ser afetadas de acordo com os moradores da região.

Rodrigues (2021), em seu estudo sobre modelagem hidrológica e hidrodinâmica de inundações na bacia do Fragoso em Olinda, atestou que as áreas em torno do canal seriam muito baixas e não teriam diferença significativa em relação ao nível do mar, e mesmo com intervenções, as inundações irão continuar existindo, outro fator relevante no seu trabalho é a condição de contorno na foz do rio Fragoso, onde ele se encontra com o rio Paratibe, nas proximidades da ponte do Janga. Rodrigues afirma que quando o nível d'água do Rio Paratibe está elevado, o escoamento das águas na foz é dificultado, resultando no represamento das águas e agravando as inundações. Entre as causas para o aumento do nível do Paratibe estão: chuvas intensas na bacia do Paratibe, marés altas de sizígia e a elevação do nível do mar, consequência das mudanças climáticas.

Figura 23: Inundação no município de Olinda

Fonte: G1, 2019

7.2 Contribuição Hidrológica

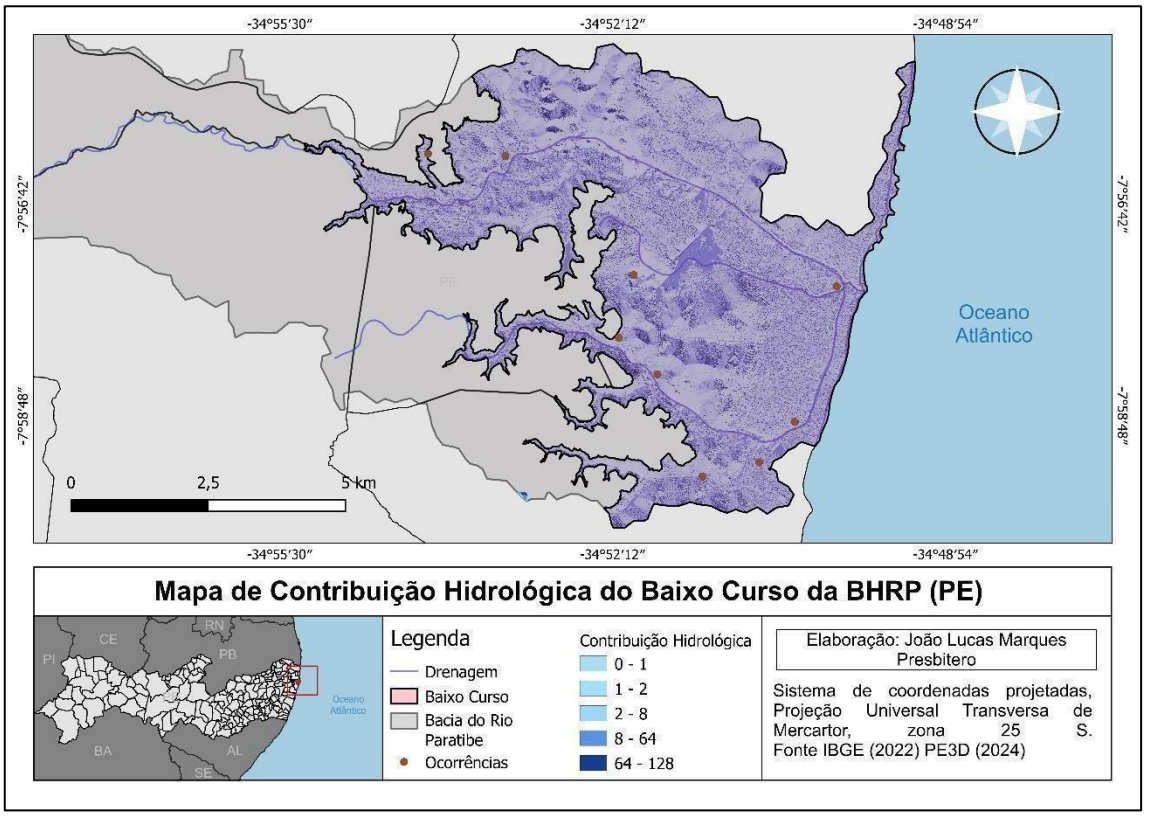
Strahler (1952) Define que a contribuição hidrológica está diretamente relacionada à capacidade de transporte e acumulação de fluxo em uma bacia hidrográfica, controlada pela morfometria do terreno, O mapa da área de contribuição determinou para cada pixel a área drenada a jusante (Figura 24), cada pixel representa uma célula do MDT, e o valor atribuído a ele indica a quantidade relativa de água que flui através dessa célula.

As áreas de contribuição correspondem às regiões dentro de uma bacia hidrográfica que coletam e direcionam as águas pluviais para os rios e outros corpos d'água. Elas têm um papel fundamental nas inundações, pois afetam diretamente o volume e a maneira como a água é direcionada para esses corpos d'água.

Quando essas áreas são extensas ou sofrem urbanização inadequada, o escoamento da água tende a ser mais rápido e volumoso, aumentando o risco de inundações. A urbanização, em especial, provoca a impermeabilização do solo, como ocorre com o asfaltamento das ruas, o que impede a infiltração da água no solo e acelera o fluxo para os rios, contribuindo para o transbordamento.

Fica evidenciado que os locais com a maior área de contribuição correspondem ao canal principal do baixo curso e seus afluentes, essa influência também pode se dar pela topografia e o uso e ocupação do solo, os aterros e as obstruções ao longo dos canais parecem contribuir para com as Inundações. Figuras (21, 22, 27, 28 e 29).

Figura 24: Mapa de Contribuição Hidrológica do Baixo curso da BHRP



Fonte: o autor

7.3 Declividade

A Declividade é um dos elementos que contribuem em diversos processos de vertente como por exemplo os movimentos de massa, a depender da sua inclinação, se torna um dos fatores que potencializam as cargas pluviais que são direcionadas para os cursos d'água e áreas adjacentes. Segundo Silveira et al. (2006) ―quanto maior o ângulo da declividade, mais rapidamente a energia potencial das águas pluviais se transforma em energia cinética, aumentando a velocidade das massas de água e sua capacidade de transporte‖.

O baixo curso caracteriza-se por apresentar uma declividade mais suave quando comparado com as áreas do médio e alto curso da bacia. A redução da inclinação do terreno é característica de áreas que se encontram próximas a foz (Figura 24).

A análise da Frequência de Distribuição (FD) das classes de declividade evidenciou que no baixo curso da BHRP, 48,79% se encontram em uma área de declividade inferior a 3% com pouca ou nenhuma declividade. Seguido pelas classes de

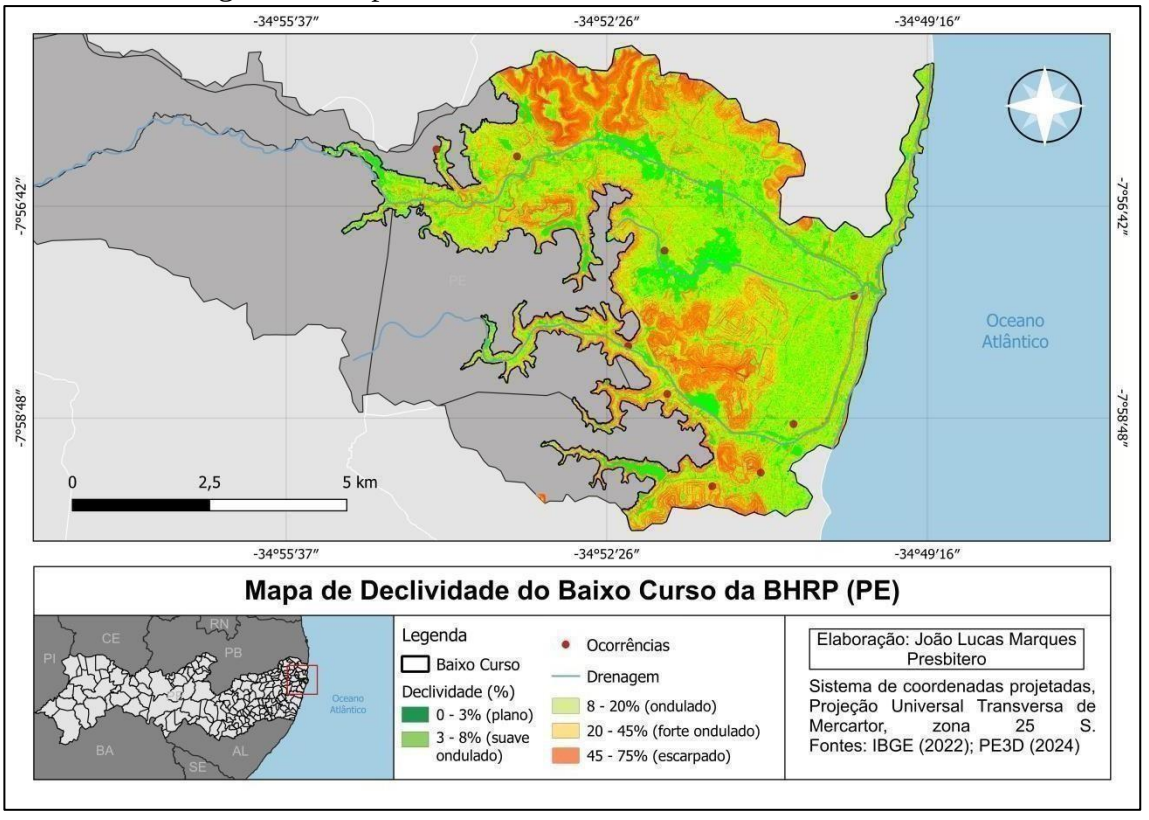
declividade Suave Ondulada (32,89%), ondulada (15,42%), forte ondulada (2,88%) e escarpada (0,02%) respectivamente (Figura 25).

O que pode ser observado é que nas regiões próximas as áreas de drenagem, a declividade costuma ser inferior a 3% (Figura 24) as ocorrências de inundações fornecidas por moradores e literatura, quando sobrepostas no mapa, evidenciam que essa categoria de declividade é altamente propensa a inundações.

Brasil (2024) em seu relatório técnico do PMRR, relatou que a porção mais ao Norte do município de Olinda, devido a inclinação fraca e por estar situada em áreas de Planícies Fluviais e Marinhas, é uma área que está altamente propensa a inundações.

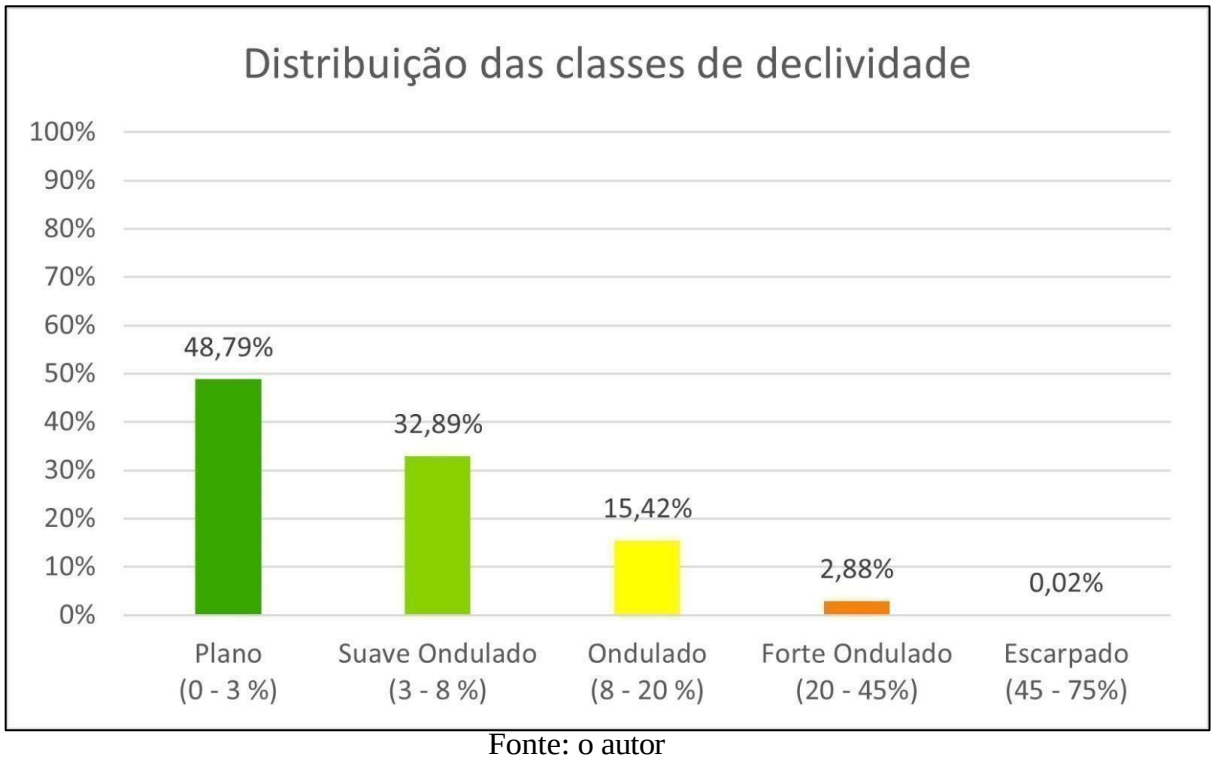
Vale salientar que o aquecimento global, intensificado pelas ações humanas, é um dos principais fatores responsáveis pela intensificação de eventos climáticos extremos, com tendência de agravamento nos próximos anos. As áreas próximas a cursos d'água e corpos hídricos estão mais vulneráveis às mudanças climáticas. Essa situação é especialmente alarmante, pois essas regiões, em todo o mundo, costumam ser densamente povoadas e altamente suscetíveis a fenômenos meteorológicos (IPCC, 2023).

Figura 25: Mapa de Declividade do Baixo Curso da BHRP



Fonte: O autor

Figura 26: Frequência de Distribuição (FD) das classes de declividade para o baixo curso.



Fonte: o autor

7.4 Uso e Ocupação do Solo

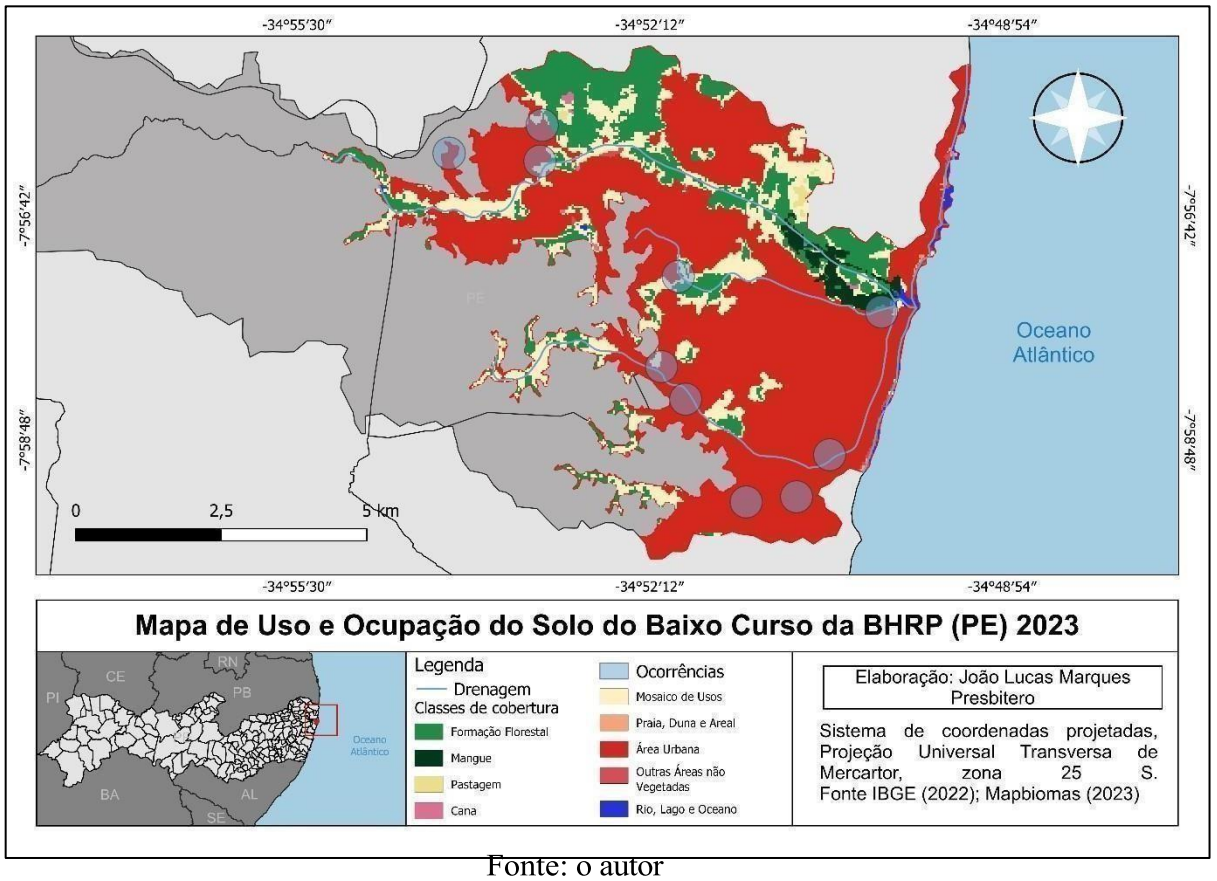
O uso da terra no baixo curso da Bacia é caracterizado pela extensão da faixa urbana, que se estende por uma área de 65,33% (Figuras 26 e 27). Embora haja predominância de ocupação urbana e forte interesse por trás do mercado imobiliário, o baixo curso ainda mantém uma cobertura vegetal significativa remanescente da Mata atlântica, que representa um total de 17,47% (15,59% de formação florestal mais 1,88% de manguezal). Essas áreas são destinadas a Unidades de Conservação de Uso Sustentável que incluem a Mata do Janga e a sua área de manguezal que caracterizam a APA estuarina do rio Paratibe, a FURB Mata da Jaguarana e Fragmentos de Mata Atlântica.

A expansão urbana desordenada trouxe consigo diversos problemas como galerias obstruídas em função da destinação incorreta do lixo, assoreamento dos canais de drenagem presença de vegetação rasteira, conforme foi observado em campo. Outro fator é a diminuição da cobertura vegetal, a remoção da vegetação e a transformação de áreas naturais em superfícies impermeáveis não apenas modifica o balanço hídrico da região, mas também eleva as temperaturas locais e intensifica o escoamento superficial.

Figura 27: Canal das imediações da PE-15 obstruído por lixo e apresentando vegetação rasteira

Fonte: O autor

Figura 28: Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Baixo Curso da BHRP



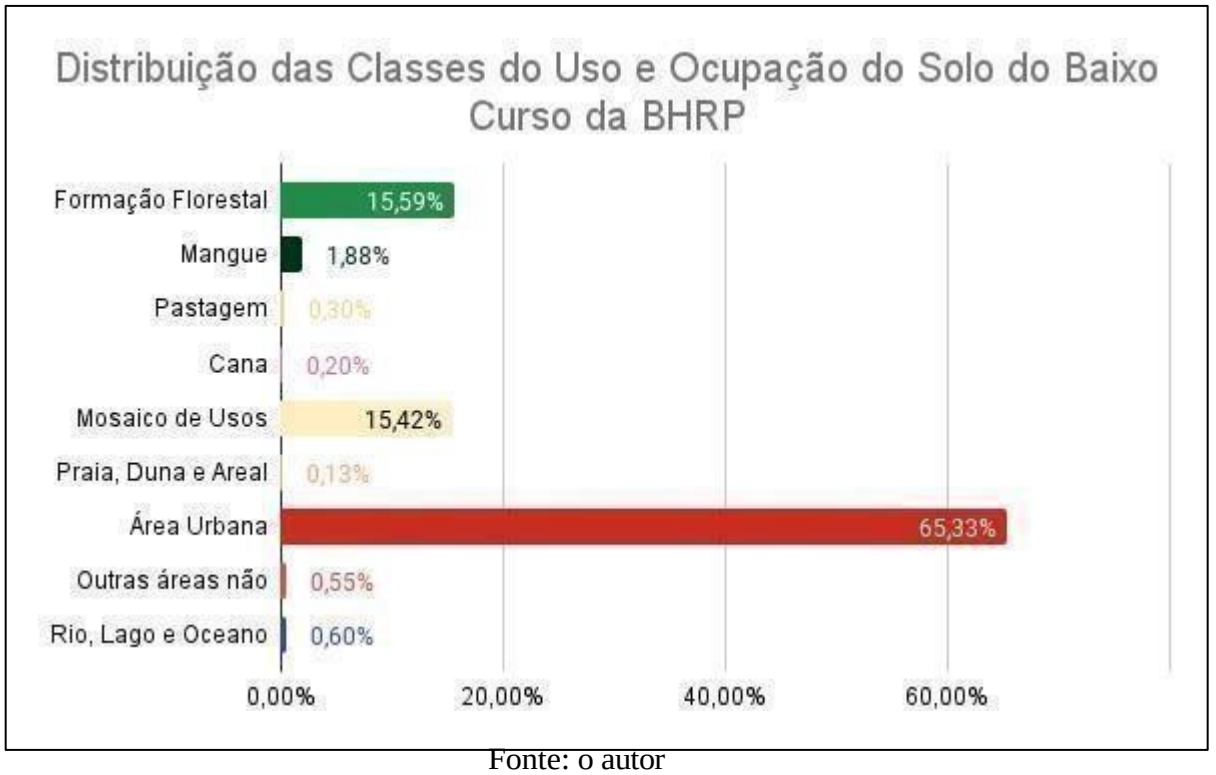
Fonte: o autor

Carvalho et al. (2020) relataram o processo de perda de vegetação decorrente do aumento da área urbana ao longo dos anos 1975, 1984 e 2017, a cobertura vegetal desempenha um papel essencial ao regular o fluxo de água e contribuir para a absorção do solo, funções que são comprometidas com sua retirada.

Brasil (2024) constatou que as áreas de planícies fluviais e marinhas em Olinda são propensas a inundações recorrentes, causadas tanto pelo escoamento superficial e pelos talvegues que convergem para essas regiões quanto pela influência das marés.

Botelho (2022) identificou que em Paulista, os bairros Jardim Maranguape, Maranguape I e II, Nobre, Centro, Arthur Lundgren I, Jardim Velho, Fragoso, Jardim Paulista, Paratibe e Janga, e em Olinda, os bairros Rio Doce, Jardim Atlântico, Casa Caiada, Fragoso, Tabajara, Ouro Preto, Bultrins e Bairro Novo são os mais vulneráveis a eventos de inundações. Essa vulnerabilidade pode ser agravada pelas recentes transformações territoriais ocorridas ou planejadas na bacia.

Figura 29: Frequência de Distribuição do Uso e Ocupação do Solo



Fonte: o autor

Também é possível observar que nos Municípios de Olinda e Paulista, onde está inserida a área do baixo curso, a ocupação do solo é mais densa nas áreas da planície

costeira 65,33% de sua área é composta por área urbana isso também se deve ao fato de que a ocupação do território pernambucano, assim como o de todo o território nacional se deu por caráter litorâneo.

Os pontos críticos sobrepostos ao mapa de uso e ocupação (figura 28) evidenciam que as áreas mais afetadas são as áreas urbanizadas. Ademais, o avanço da urbanização na bacia tem resultado em uma impermeabilização crescente dos terrenos, diminuindo as áreas verdes e dificultando a infiltração da água da chuva no solo e causando seu acúmulo nas áreas mais baixas.

Antunes e Pinto (2023) concluíram que intervenções adequadas no uso do solo são essenciais para reduzir a vulnerabilidade da cidade a eventos de alagamento, destacando a necessidade de integração entre gestão ambiental e planejamento urbano.

Vale lembrar que o baixo curso da BHRP, se encontra em uma área estuarina e que áreas que antes eram de manguezais ou alagados, foram aterradas para dar espaço as residências. Além de serem locais que ajudam na infiltração da água, os manguezais funcionam como uma barreira protetora, natural, em caso de tempestades, que se tornarão mais frequentes ou imprevisíveis com as projetadas mudanças climáticas globais de acordo com o IPCC (Painel Intergovernamental de mudanças climáticas) da ONU.

8. Considerações Finais

Este estudo permitiu analisar as áreas mais suscetíveis às inundações no baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Paratibe (BHRP), integrando dados preexistentes e novos registros obtidos a partir dos relatos dos moradores. Os resultados indicam que as inundações na região não estão exclusivamente associadas a eventos extremos de precipitação, mas também a fatores geográficos e à ocupação desordenada do solo. Problemas como o descarte inadequado de resíduos nos canais de drenagem (mesmo com coleta regular), o assoreamento dos cursos d'água e a presença de vegetação rasteira intensificam os impactos das enchentes. De acordo com o relatório do IPCC, projeções de aquecimento global de 1,5°C, 2°C e 3°C nas próximas décadas tendem a agravar eventos climáticos extremos, tornando essencial que as cidades adotem medidas preventivas. Nesse contexto, é fundamental alinhar as estratégias urbanas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 11, que busca tornar as cidades mais inclusivas, seguras e sustentáveis, e o ODS 13, que propõe um plano de ação para enfrentar as mudanças climáticas globais.

9. Referências

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (APAC). *Bacias hidrográficas*. Disponível em: https://www.apac.pe.gov.br/184-bacias-hidrograficas-gl1/222-gl-1. Acesso em: 14 out. 2024.

ALHEIROS, M. M.; LIMA FILHO, M. F. A Formação Barreiras. In: Mabesoone, J. M. (Coord.). Revisão geológica da faixa costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte. Estudos Geológicos, v. 10, p.77-88. 1991.

ALHEIROS, M. M.; LIMA FILHO, M. F.; MONTEIRO, F. A. J.; OLIVEIRA FILHO, J. S. Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental. In: Congresso Brasileiro de Geologia. Belém, Vol. 2. 753-760, 1988.

ALMEIDA, J. D. M. de.; ROCHA, A. C. da paz.; SILVA, O.G.da. Riscos geomorfológicos e sensitividade da paisagem na Bacia Hidrográfica do Rio Paratibe (BHRP) – Regiao Metropolitana do Recife. Revista Cerrados, *[S. l.]*, v. 16, n. 01, p. 103–129, 2018. DOI: 10.22238/rc24482692201816011031 29. Disponível em: https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/cerrados/article/view/1280. Acesso em: 17 nov. 2024.

AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundação e Enchentes. In: TOMINAGA, L. K.; SANTARO, J.; AMARAL, R. (Org.)
Desastres naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: instituto Geológico. 2009. p. 3952.

ANTUNES, Caroline dos Santos; PINTO, Marília Estevam Becher**.** Análises sobre a ocupação do solo em áreas urbanas de preservação permanentes e suscetíveis à inundação: estudo de caso no Vale do Itajaí, SC. *urbe*. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 15, 2023. Disponível em: https://www.scielo.br/j/urbe/a/TZBbfq3Q86WrnDTxYsJNQ6t/?lang=pt. Acesso em: 23 dez. 2024.

BECK, Ulrich. *Sociedade do risco: rumo a uma outra modernidade.* Tradução de Sebastião Nascimento. 2. ed. São Paulo: Editora 34, 2011.

BEVEN, Keith. *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer*. Chichester: Wiley-Blackwell, 2012.

BERTÊ, A. M. A. Problemas ambientais no Rio Grande do Sul. In: VERDUM, R.; BASSO, L. A.; SUERTEGARAY, D. M. A. (Org.). Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004. P 71 - 83

BRASIL. Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios. Brasília: Ministério das Cidades e Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2007. 176 p.

CARNEIRO, Giovanna. Atrasadas, obras do rio Fragoso não irão solucionar os alagamentos em Olinda. *Marco Zero Conteúdo*, 14 maio 2021. Disponível em: https://marcozero.org/atrasadas-obras-do-rio-fragoso-nao-irao-solucionar-osalagamentos-em-olinda/. Acesso em: 13 jan. 2025.

CARVALHO, Keith; MENEZES, Yasmim. *Aplicação da engenharia cartográfica no estudo de bacias hidrográficas*. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Cartográfica) — Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/45644/1/TCC_Keith%20Carvalho%20e%20Yasmim%20Menezes_Engenharia%20Cartogr%c3%a1fica.pdf. Acesso em: 14 out. 2024.

CLIMATE-DATA. *Clima: Paulista, Pernambuco*. Disponível em: https://pt.climatedata.org/america-do-sul/brasil/pernambuco/paulista-4450/. Acesso em: 14 out. 2024.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. Danos e prejuízos causados por desastres no Brasil: levantamento e análise 2013–2022. Brasília, 2023. Disponível em: https://cnm.org.br/storage/biblioteca/2022/Estudos_tecnicos/202204_ET_DEF_Danos_Prejuizos_Causados_Desastres2023.pdf. Acesso em: 17 nov. 2024.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013.

FAGAN, Brian M. *The Long Summer: How Climate Changed Civilization*. New York: Basic Books, 2004

GIRÃO, Ítalo Renan Ferreira; RABELO, Davi Rodrigues; ZANELLA, Maria Elisa. Análise teórica dos conceitos: riscos socioambientais, vulnerabilidade e suscetibilidade. Revista de Geociências do Nordeste, v. 4, p. 71-83, 2018.

HORTON, Robert E. ―The Role of Infiltration in the Hydrologic Cycle.‖ Transactions, American Geophysical Union, vol. 14, 1933, pp. 446-460.

IPCC**.** *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023. Disponível em: https://www.ipcc.ch. Acesso em: 16 nov. 2024.

IPCC 2023. Ações urgentes contra mudança climática são necessárias para garantir um futuro habitável, alerta. [S. l.], 20 mar.. Disponível em:https://brasil.un.org/ptbr/224004-a%C3%A7%C3%B5es-urgentes-contra-mudan%C3%A7aclim%C3%A1tica-s%C3%A3o-necess%C3%A1rias-para-garantir-um-futurohabit%C3%A1vel. Acesso em: 1 jan. 2024

JABOATÃO DOS GUARARAPES; OLINDA**.** Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR). Jaboatão dos Guararapes e Olinda, PE: s.n., 2024.

Junges Menezes, D., de Souza Robaina, L. E., & Trentin, R. (2015). Inventário de inundações registradas na área urbana de Santa Cruz do Sul entre os anos de 1980 e 2013. Ciência e Natura, 37(3),555-563. ISSN: 0100-8307. Recuperado de: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467546194043

KÄMPF, N.; CURI, N. *Formação e classificação dos solos no Brasil*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 24, 2000.

Kobiyama, M.; Mendonça, M.; Moreno, D.A.; Marcelino, I.P.V.O.; Marcelino, E.V.; Gonçalves, E.F.; Brazetti, L.L.P.; Goerl, R.F.; Molleri, G.S.F.; Rudorff, F, 2006. Prevenção de desastres naturais: Conceitos básicos. Curitiba: Organic Trading, 45p.

MACHADO, C.; NÓBREGA, R.S.; OLIVEIRA, T.H.; SILVAALVES, K.M. A. Distúrbio ondulatório de leste como condicionante a eventos extremos de precipitação em Pernambuco. Revista Brasileira de Climatologia, v. 11, 2012.

M., Badarau, & S., Souza, & Listo, Fabrizio. (2018). Mapeamento preliminar de áreas de risco a inundação no bairro de Maranguape I, município de Paulista - PE (Região metropolitana do Recife) e sua relação com o uso da terra.

MOLION, L. C. B., BERNARDO, S. D. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro.
Revista Brasileira de Meteorologia, 17(1), 1-10, 2002.

Nota Técnica nº 1/2023/SADJ-VI/SAM/CC/PR. São Paulo: Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), 2023. Disponível em: https://educacao.cemaden.gov.br/midiateca/nota-tecnica-no-1-2023-sadj-vi-sam-cc-pr/. Acesso em: 03 de set. de 2024.
PEIXOTO, Paulo. Os usos sociais dos rios. A água como património: experiências de requalificação das cidades com água e das paisagens fluviais, p. 57-70, 2016.

PRESBÍTERO, João; FILHO, Daniel; SILVA, Joélia. Rio Tejipió: Cota de inundação em contraste com as residências em áreas de risco. Journal of Hyperspectral Remote Sensing, v. 13, n. 2, p. 202-212, nov. 2023. DOI: 10.29150/jhrs. v13.2.p202-212.

RABBANI, G. et al. *Flood management and its economic impacts in Bangladesh*. Water Resources Development, 2000.

RIO GRANDE DO SUL. Defesa Civil do RS. *Defesa Civil atualiza balanço das enchentes no RS - 20/5, 12h*. Disponível em: https://www.defesacivil.rs.gov.br/defesacivil-atualiza-balanco-das-enchentes-no-rs-20-5-12h. Acesso em: 17 nov. 2024.

RODRIGUES, Arivânia Bandeira. Análise das inundações na bacia hidrográfica do rio Paratibe: o papel da urbanização e das intervenções no sistema de drenagem. 2021. 129 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/41367/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20Ariv%c3%a2nia%20Bandeira%20Rodrigues.pdf. Acesso em: 8 jan. 2025.

SILVEIRA, A. L. L. *Avaliação de risco e planejamento territorial em áreas sujeitas a desastres naturais*. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 2, n. 1, p. 5-15, 2007.

STRAHLER, A. N. *Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography*. Geological Society of America Bulletin, 1952.

STRAHLER, Arthur N. "Quantitative analysis of watershed geomorphology". Transactions of the American Geophysical Union, v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957.

TUCCI, C.E.M.; BERTONI J. C. (Org). Inundações urbanas na América do Sul. Porto Alegre: ABRH, 2003, 150 p.

WANDERLEY, Lucas Suassuna de Albuquerque; NÓBREGA, Ranyére Silva; MOREIRA, Ayobami Badiru; ANJOS, Rafael Silva dos; ALMEIDA, Caio Américo Pereira de. As chuvas na cidade do Recife: uma climatologia de extremos. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 22, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.5380/abclima.v22i0.56034. Acesso em: 02 nov. 2024.