INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO
CAMPUS RECIFE
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CURSOS SUPERIORES
CURSO DE LICENCIATURA EM GEOGRAFIA

OLGA BARBOSA ARAÚJO

ANÁLISE HIDROLÓGICA NA BACIA DO RIO TAPACURÁ:
correlação entre dados pluviométricos e avisos de alerta e inundação

Recife
2024

OLGA BARBOSA ARAÚJO

ANÁLISE HIDROLÓGICA NA BACIA DO RIO TAPACURÁ:
correlação entre dados pluviométricos e avisos de alerta e inundação

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Geografia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – *Campus* Recife, como requisito para obtenção do título de Licenciada em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Enildo Luiz Gouveia

Coorientador: Me. Kássio Kramer Moraes Pinto

Recife
2024

Catalogação na fonte: Danielle Castro da Silva CRB4/1457

A663a
2024 Araújo, Olga Barbosa

Análise hidrológica na bacia do rio Tapacurá: correlação entre dados pluviométricos e avisos de alerta e inundação. / Olga Barbosa Araújo. --- Recife: A autora, 2024.
69f. il. Color.

Trabalho de Conclusão (Curso Superior Licenciatura em Geografia) – Instituto Federal de Pernambuco, Recife, 2024.

Inclui Referências.

Orientadora: Prof. Dr. Enildo Luiz Gouveia.
Coorientador: Me. Kássio Kramer Moraes Pinto

1.Inundação. 2. Rio Tapacurá. 3. Vitória de Santo Antão. 4. Eventos extremos. I. Título. II. Gouveia, Enildo Luiz (orientador). III. Instituto Federal de Pernambuco.

CDD 910.7 (21ed.)

OLGA BARBOSA ARAÚJO

ANÁLISE HIDROLÓGICA NA BACIA DO RIO TAPACURÁ:
correlação entre dados pluviométricos e avisos de alerta e inundação

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Geografia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – *Campus* Recife, como requisito para a obtenção do título de Licenciada em Geografia.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e **APROVADO** em 11 de outubro de 2024 pela Banca Examinadora:

_____
Enildo Luiz Gouveia (IFPE/CGEO) – Orientador
Doutor em Geografia – UFPB

_____
Kássio Kramer Moraes Pinto (APAC) – Coorientador
Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - UFPE

_____
José Antonio Barbosa (UFPE/DGEO) – Examinador Externo
Doutor em Geociências – UFPE

_____
Marcelo Ricardo B. de Miranda (IFPE/CGEO) – Examinador Interno
Mestre em Geografia – UFPE

Recife – PE
2024

Dedico esta pesquisa ao meu avô, e geógrafo favorito, Fernando.
E às minhas avós, Socorro e Leudia, por sua fibra e tenacidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha filha, Olivia, que teve paciência com a mamãe durante todas as noites em que precisei ir à faculdade e não pudemos estar juntinhas para ler antes de dormir.

Sou muito grata a Enildo Gouveia e a Kássio Kramer pela orientação valiosa, pela leitura atenta e pelas sugestões generosas durante a realização desta pesquisa.

Agradeço aos meus pais e à minha família pelas trocas e pelos incentivos que recebi ao longo da vida. Em especial, gostaria de agradecer aos meus avós: Socorro, Fernando e Leudia. Cada um, a seu modo, me inspirou a trilhar o caminho acadêmico, me disse algo de bom quando eu estava em campo ou me sorriu confiante sempre que eu voltava para casa e contava das minhas alegrias com o curso de Geografia.

Ao meu companheiro Danilo, que me auxiliou em diversos momentos da construção desta pesquisa e também na vida que levamos juntos, agradeço especialmente pela parceria na elaboração dos mapas, pela leitura atenta do texto e pelos passeios de bicicleta para desbravar a cidade e alumiar o juízo. Muito obrigada, Dan.

Agradeço aos professores e funcionários do curso de Geografia do IFPE, em especial aos professores Mário Mélo e Adauto Gomes pelos ensinamentos preciosos em suas disciplinas e pela amizade, e à querida e prestativa Verônica, secretária do nosso curso.

Sou grata também ao professor Antônio Ferreira do Departamento de Oceanografia da UFPE, por sua amizade e pela generosidade de partilhar comigo suas aulas, e ao professor Antônio Barbosa, do Departamento de Geologia da UFPE, pelo apoio e pelos encontros ao longo de minha trajetória acadêmica.

Agradeço à APAC pela disponibilidade em relação a minha pesquisa, especialmente à Professora Suzana Maria Gico Lima Montenegro, aos meteorologistas Roberto Carlos e Cida, e aos meus companheiros da GMRH: Wagner, Gilberto e João Eduardo.

Sou grata também aos meus amigos Rhay, Nine, Lái, Rafa Ruiz, Lula, Daniel, Amanda e Will pelo apoio de sempre e pelas risadas que partilhamos.

"*Choveu durante quatro anos, onze meses e dois dias.*
Numa sexta-feira, às duas da tarde, o mundo alumbrou-se com um sol bobo…, e não tornou a chover em dez anos.
...Aureliano Segundo perguntou a eles com sua informalidade habitual de que recursos misteriosos tinham se valido para não naufragar na tormenta, como diabos tinham feito para não se afogar, e um atrás do outro, de porta em porta, devolveram a ele um sorriso ladino e um olhar sonhador, e todos deram, sem ter combinado, a mesma resposta:
- Nadando."

Gabriel García Márques, *Cien Años de Soledad.*

RESUMO

Diante das mudanças climáticas que vêm ocorrendo em nosso planeta, é imprescindível o aumento no número de pesquisas a respeito de situações de vulnerabilidade e risco ambiental. Pesquisas que objetivem aumentar a resiliência das cidades no enfrentamento a eventos extremos podem fornecer ao poder público uma base mais acurada de dados para subsidiar a tomada de decisão e a elaboração de planos de contingência. O município de Vitória de Santo Antão, localizado na Zona da Mata do estado de Pernambuco, vem sendo afetado rotineiramente por eventos de inundação que colocam sua população sob uma situação de risco iminente. Neste sentido, esta pesquisa analisou a série histórica de 2019-2023 dos avisos do Plantão Hidrológico da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) para o rio Tapacurá, com a intenção de cruzar os dados de elevação do nível do rio com dados de chuva para o município e seu vizinho a montante, Pombos. A presente pesquisa identificou fatores que colaboram com as inundações do município e, dentre eles, determinou qual a quantidade de chuva (em milímetros), que propicia um evento de inundação. Esta pesquisa espera contribuir para otimizar a eficiência da resposta do município de Vitória de Santo Antão e da Defesa Civil do estado de Pernambuco a subsequentes eventos climáticos extremos.

Palavras-chave: Vitória de Santo Antão; inundação; eventos extremos; rio Tapacurá.

ABSTRACT

In light of the climate changes occurring on our planet, it is essential to increase the number of studies focused on vulnerability and environmental risk. This research aimed at enhancing the resilience of cities in confronting extreme events that can provide public authorities with more accurate data to support decision-making and the development of contingency plans. The municipality of Vitória de Santo Antão, located in the Zona da Mata region of the state of Pernambuco, has been routinely affected by flooding events that place its population in a state of imminent risk. In this context, this study analyzed the historical data from 2019 to 2023 concerning alerts from the Hydrological Monitoring Service of the Pernambuco Agency for Water and Climate (APAC) for the Tapacurá River. The objective was to correlate river level elevation data with rainfall data for both the municipality and its upstream neighbor, Pombos. This research identified factors contributing to the municipality's flooding and determined the amount of rainfall (in millimeters) that leads to a flooding event. T. his research aims to enhance the efficiency of the responses from the municipality of Vitória de Santo Antão and the Civil Defense of the state of Pernambuco to subsequent extreme climatic events.

Keywords: Vitória de Santo Antão; flooding; extreme events; Tapacurá river.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Casas na margem do rio Tapacurá 17

Figura 2 - Mapa de localização da região do estudo com hidrografia - Vitória de Santo Antão e Pombos, 2024 18

Figura 3 - Mapa das estações pluviométricas utilizadas na calibração e validação do modelo hidrológico para a bacia do Capibaribe, PE - 2010 21

Figura 4 - Mapa da bacia hidrográfica do rio Tapacurá - PE - 2009 23

Figura 5 - Disposição espacial dos principais tipos de padrão de drenagem 24

Figura 6 - Ordem dos cursos de água da bacia Tapacurá - PE - 2007 24

Figura 7 - Mapa da distribuição do escoamento superficial médio na bacia do rio Tapacurá para o período de 1997 a 2004 26

Figura 8 - Mapa de perigo de inundação da bacia hidrográfica do rio Tapacurá - 2017 27

Figura 9 - Mapa da população exposta em áreas de risco Região Nordeste - 2010 30

Figura 10 - Mapa da análise de vulnerabilidade a inundações no leste de Pernambuco, 2014 31

Figura 11 - Mapa de localização das PCDs hidrológica e pluviométricas de Vitória de Santo Antão e Pombos - 2024 39

Figura 12 - Média mensal de anomalia de TSM 06/2022 - Referência: 1991-2020 46

Figura 13 - Média mensal da anomalia de TSM 06/2023 - Referência: 1991-2020 47

Figura 14 - Média mensal da anomalia de TSM 07/2023 - Referência: 1991-2020 48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Série histórica de avisos do Plantão Hidrológico APAC para Vitória de Santo Antão entre os anos de 2019-2023 37

Quadro 2 - Acumulado de chuva em Vitória de Santo Antão e o intervalo de tempo entre os avisos de alerta e inundação 44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de Chuva da Inundação I - Vitória de Santo Antão 2022 40

Tabela 2 - Dados de Chuva da Inundação I - Pombos 2022 40

Tabela 3 - Dados de Chuva da Inundação II - Vitória de Santo Antão 2023 41

Tabela 4 - Dados de Chuva da Inundação II - Pombos 2023 41

Tabela 5 - Dados de Chuva da Inundação III - Vitória de Santo Antão 2023 42

Tabela 6 - Dados de Chuva da Inundação III - Pombos 2023 42

Tabela 7 - Dados de Chuva da Inundação IV - Vitória de Santo Antão 2023 43

Tabela 8 - Dados de Chuva da Inundação IV - Pombos 2023 43

Tabela 9 - Histórico de episódios de *El Niño* e *La Niña* baseados no Índice de *Niño* Oceânico computado por meio do uso de ERSST.V5 45

Tabela 10 - Comparativo das Normais Climatológicas com os acumulados de chuva dos municípios de Vitória de Santo Antão e Pombos para os meses dos eventos de inundação em 2022 e 2023 50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Início da quadra chuvosa para o leste de Pernambuco 34

Gráfico 2 - Anomalia mensal da TSM (ºC) do Atlântico Tropical - Grad. Interhemisférico 48

Gráfico 3 - Índice Oceânico de Niño (ERSST.v5 ONI) de variação da anomalia da TSM dos últimos 30 anos 49

Gráfico 4 - Elevação do rio Tapacurá para o município de Vitória de Santo Antão durante o mês de junho de 2022 52

Gráfico 5 - Elevação do rio Tapacurá para o município de Vitória de Santo Antão durante o evento de Inundação I - 2022 53

Gráfico 6 - Dispersão da chuva para o município de Vitória de Santo Antão durante o evento de Inundação I - 2022 54

Gráfico 7 - Dispersão da chuva para o município de Pombos durante o evento de Inundação I - 2022 54

Gráfico 8 - Elevação do rio Tapacurá para o município de Vitória de Santo Antão durante o mês de junho de 2023 56

Gráfico 9 - Elevação do rio Tapacurá para o município de Vitória de Santo Antão durante o mês de julho de 2023 56

Gráfico 10 - Elevação do rio Tapacurá no município de Vitória de Santo Antão durante o evento de Inundação II - 2023 57

Gráfico 11 - Dispersão da chuva para o município de Vitória de Santo Antão durante o evento de Inundação II - 2023 58

Gráfico 12 - Dispersão da chuva para o município de Pombos durante o evento de Inundação II - 2023 58

Gráfico 13 - Elevação do rio Tapacurá no município de Vitória de Santo Antão durante o evento de Inundação III - 2023 59

Gráfico 14 - Dispersão da chuva para o município de Vitória de Santo Antão durante o evento de Inundação III - 2023 60

Gráfico 15 - Dispersão da chuva para o município de Pombos durante o evento de Inundação III - 2023 60

Gráfico 16 - Elevação do rio Tapacurá no município de Vitória de Santo Antão durante o evento de Inundação IV - 2023 61

Gráfico 17 - Dispersão da chuva para o município de Vitória de Santo Antão durante o evento de Inundação IV - 2023 62

Gráfico 18 - Dispersão da chuva para o município de Pombos durante o evento de Inundação IV - 2023 63

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14

1.1 Limites da Área de Estudo 16

2 REFERENCIAL TEÓRICO 19

2.1 Caracterização da Bacia Hidrográfica do rio Tapacurá 20

2. 1.1 Padrão de Drenagem e Sub-Divisões da Bacia Hidrográfica do Rio Tapacurá 22

2.2 Caracterização de Solos e da Morfologia da Região 26

2.3 Caracterização Climática da Região do Estudo 28

2.4 Contexto Sócio-Urbano da Região do Estudo 29

2.4.1 Município de Vitória de Santo Antão 29

2.4.2 Município de Pombos 32

3 MATERIAIS E MÉTODOS 33

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 37

4.1 Análise Hidrológica e Pluviométrica para o ano de 2022 51

4.1.1 Evento de Inundação I 53

4.2. Análise Hidrológica e Pluviométrica para o ano de 2023 55

4.2.1 Evento de Inundação II 57

4.2.3 Evento de Inundação III 59

4.2.4 Evento de Inundação IV 61

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 64

REFERÊNCIAS 66

1 INTRODUÇÃO

Estudos sobre recursos hídricos são ferramentas indispensáveis para assegurar sua disponibilidade, proteção e conservação. Sendo a água um elemento vital para a sobrevivência de todos os seres vivos no planeta, é fundamental, portanto, garantir o acesso a este bem natural através de uma gestão eficiente aliada a políticas públicas sólidas. Além das iniciativas do poder público, é necessário que o uso da água seja feito de forma consciente por todos os agentes que dependem de sua disponibilidade. Mas quando fala-se em gerenciar de maneira otimizada os recursos hídricos, é preciso pensar não apenas na água utilizada para higiene pessoal, ou na água empregada pela indústria e pela agropecuária. É importante compreender os recursos hídricos de forma integrada com os ciclos naturais do planeta.

Tão necessária à vida humana na Terra, a água quando se apresenta em forma de chuva torrencial pode causar graves problemas para populações humanas. Diante do aquecimento global e das interferências antrópicas, os eventos climáticos extremos apresentam-se cada vez mais frequentes, e cada vez mais intensos em diversas partes do planeta (IPCC, 2023, p.5). Para lidar com os futuros cenários de risco é preciso que a sociedade trabalhe não só em prol de ações de mitigação das questões relacionadas aos impactos climáticos, mas também que sejam criados planos de ação e contingência que aumentem a resistência das cidades diante de situações extremas (IPCC, 2023, p.30).

A análise de indicadores meteorológicos (acumulados de chuva e tempo da precipitação) aliada ao monitoramento hidrológico, pode ser peça chave para o poder público diminuir seu tempo de resposta perante inundações que afetam, em especial, as comunidades ribeirinhas. Diante do exposto, a pergunta norteadora desta pesquisa foi: como podemos otimizar a análise de dados, pluviométricos e fluviométricos, no intuito de salvaguardar populações ribeirinhas das tragédias que ocorrem todos os anos na porção leste do estado de Pernambuco, durante os meses da estação chuvosa, que vai de abril até agosto? (APAC, 2024)[1]

As ações de monitoramento hidrológico e meteorológico aliadas a análise dos avisos de alerta e de inundação emitidos pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), são

[1] Informações retiradas do site da APAC, disponíveis em: https://www.apac.pe.gov.br/noticias/23-noticias/meteorologia/632-1-de-abril-inicio-da-quadra-chuvosa-do-leste-de-pernambuco. Acesso em: 5 mar. 2024.

instrumentos imprescindíveis para o poder público do estado de Pernambuco diante do enfrentamento de eventos climáticos extremos. Em virtude disso, esta pesquisa buscou correlacionar os índices de acumulados de chuva dos municípios de Vitória de Santo Antão e Pombos, juntamente com os registros de elevação do nível do rio Tapacurá - afluente do rio Capibaribe, cuja bacia corresponde a Unidade de Planejamento Hídrico 2 (UP2) - com vistas de obter novas informações hidrometereológicas que possam subsidiar ações de mitigação das tragédias sócio-ambientais reincidentes que afetam este município. A governança e a gestão dos recursos hídricos muito se beneficia através desse tipo de pesquisa, porque a partir de análises dessa natureza, o poder público pode organizar, previamente, estratégias de enfrentamento a situações que envolvam risco para as populações ribeirinhas, tais como as medidas que foram adotadas no passado para conter os estragos provocados pelas cheias do rio Capibaribe.

> Em Pernambuco, até a década de 1970, o rio Capibaribe era responsável pelas rotineiras calamidades públicas em seus municípios ribeirinhos e alguns bairros de Recife. Com ajuda do Governo Federal foi possível controlar suas enchentes e reduzir os impactos indesejáveis às populações. Para solução do problema foram construídas as Barragens de Tapacurá, Goitá e do Carpina, como medidas estruturais para contenção das cheias. Nos períodos chuvosos as comportas da barragem do Carpina são parcialmente abertas para seus esvaziamentos e respectivos recebimento das chuvas prováveis (Salgueiro, Monteiro e Oliveira, 2011, p. 2).

O monitoramento hidrológico e pluviométrico, aliado aos avisos de alerta e de inundação emitidos pela APAC, especialmente em épocas de chuva, são de fundamental importância para órgãos do estado de Pernambuco, tais como a Secretaria Executiva de Proteção e de Defesa Civil de Pernambuco (SEPDEC)[2] na diminuição de seu tempo de resposta perante as inundações. O monitoramento realizado pela APAC para emitir os avisos, está baseado na observação de dados coletados pelas Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) - equipamentos eletrônicos que coletam, armazenam e a transmitem diversos tipos dados (de chuva, de rios, de temperatura, de umidade do ar…) em tempo real.

---

[2] Anteriormente chamada de Comissão de Defesa Civil do Estado de Pernambuco (CODECIPE). A CODECIPE foi criada no ano de 1971, após uma série de inundações que afetaram a cidade do Recife nas décadas de 1960 e 1970.

1.1 Limites da Área de Estudo

A UP2 localiza-se na porção norte-oriental do estado de Pernambuco e faz fronteira ao norte com o estado da Paraíba, com a Unidade de Planejamento Hídrico 1 - rio Goiana e com a Unidade de Planejamento Hídrico 14 - GL1; faz fronteira ao sul com a Unidade de Planejamento Hídrico 3 - rio Ipojuca e com a Unidade de Planejamento Hídrico 15 (UP15) - GL2; a leste faz fronteira com o oceano Atlântico e com a UP15 - GL2; e, por fim, a oeste, sua fronteira é o estado da Paraíba e a Unidade de Planejamento Hídrico 3 - rio Ipojuca (APAC, 2024)[3].

O rio Capibaribe nasce no município de Jataúba (na Serra de Jacarará) e sua origem no Agreste pernambucano o faz percorrer quase 270km até chegar em sua foz, na capital do estado. Ele se apresenta como sendo um rio de regime fluvial intermitente em seus alto e médio cursos e torna-se perene quando seu baixo curso alcança a cidade de Limoeiro, no Agreste pernambucano (APAC, 2024). Ao longo de seus caminhos pelo estado, o rio Capibaribe recebe muitos efluentes de natureza tanto doméstica quanto industrial, e isso prejudica a qualidade de suas águas.

Seus principais afluentes na margem direita são: o rio do Mimoso, o riacho Aldeia Velha, o rio Tabocas, o rio Fazenda Velha, o riacho Doce, o riacho Carrapatos, o rio Cachoeira, o riacho das Éguas, o riacho Caçatuba, o rio Batatã, o rio Catunguba, o rio Goitá e o rio Tapacurá (objeto central deste estudo).

Enquanto na margem esquerda, destacam-se: o rio Jataúba, o rio Caraibeira, o rio Mulungu, o rio Olho d'Água, o riacho Pará, o rio Tapera, o riacho Doce, o riacho Tapado, o riacho do Manso, o riacho Cajaí e o riacho Camaragibe (PERH, 2022).

Os reservatórios de água da bacia do rio Capibaribe são: Jucazinho, Carpina, Tapacurá, Goitá, Poço Fundo, Eng. Gercino de Pontes, Várzea do Una, Oitis, Santa Luzia, Matriz da Luz, Machado e Lagoa do Porco. A bacia do rio Capibaribe ocupa 7,64% de todo o estado de Pernambuco (PERH, 2022) e abrange um total de 42 municípios. Destacam-se entre eles os

---

[3] Informações retiradas do site da APAC, disponíveis em: https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas-rio-capibaribe/162-bacias-hidrograficas-rio-capibaribe/193-bacia-do-rio-capibaribe#:~:text=A%20Unidade%20de%20Planejamento%20H%C3%ADdrico,'%2058”%20de%20longitude%20oeste. Acesso em: 5 mar. 2024.

municípios de: Belo Jardim, Bezerros, Gravatá, Limoeiro, Moreno, Recife, Santa Cruz do Capibaribe, Surubim, Taquaritinga do Norte, Vitória de Santo Antão e Pombos.

Os dois últimos municípios citados anteriormente foram utilizados como recorte espacial para a realização desta pesquisa. Eles possuem, respectivamente, 61% e 62,4%, de toda a sua área municipal situada dentro da bacia do Capibaribe e são cortados pelo rio Tapacurá em suas respectivas sedes municipais. Na Figura 1 podemos observar um trecho do rio Tapacurá atravessando a zona rural da cidade de Vitória de Santo Antão.

Figura 1 - Casas na margem do rio Tapacurá

Fonte: Melo, 2004.

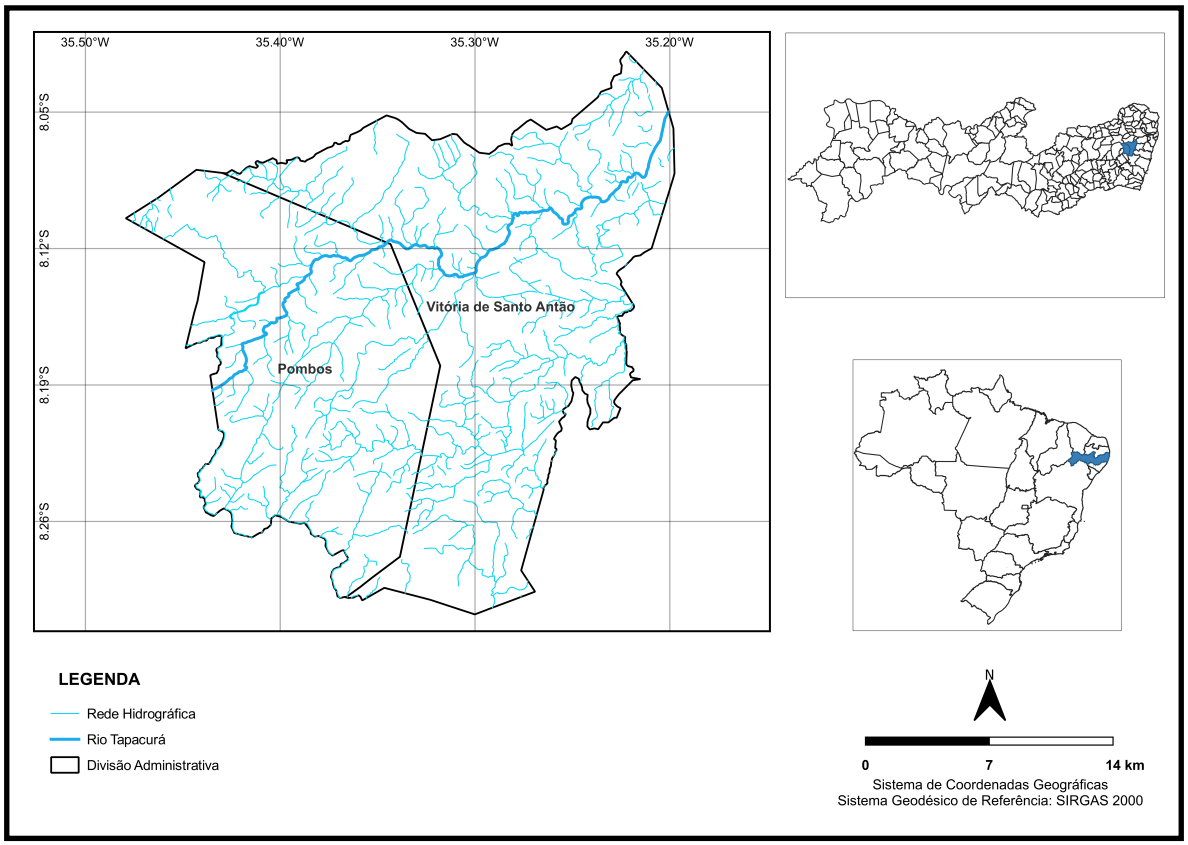
A opção de analisar os municípios em conjunto tinha como objetivo verificar se as chuvas que atingem o município de Pombos (à montante de Vitória de Santo Antão) contribuem ou não com as inundações registradas em Vitória de Santo Antão.

Investigar e definir uma correlação entre os índices pluviométricos e os índices fluviométricos, torna-se de grande valia para otimizar o tempo da resposta institucional diante dos avisos de alerta e inundação emitidos durante a estação chuvosa. Esta pesquisa almeja contribuir com a construção de uma sociedade mais resistente e preparada para as mudanças que o futuro reserva.

Para melhor compreender as características gerais do recorte da bacia hidrográfica do rio Tapacurá, convém analisar na Figura 2, um mapa de localização da região estudada,

elaborado no software livre QGis 3.28.7 Firenze, que traz o recorte dos dois municípios com suas respectivas redes hidrográficas, e com destaque para seu rio principal, o Tapacurá.

Figura 2 - Mapa de localização da região do estudo com hidrografia - Vitória de Santo Antão e Pombos, 2024



Fonte: IBGE/APAC. Elaboração: Danilo Marcelo Barros da Silva e Olga Barbosa Araújo.

A bacia hidrográfica serve aos estudos de recursos hídricos como a unidade básica de análise, posto que seu recorte auxilia em questões de planejamento ambiental e norteia boa parte da legislação ambiental brasileira (Machado; Torres, 2013). A partir disso, esta pesquisa esteve primeiramente voltada para a análise das características físicas da região estudada, e posteriormente contrapôs isso com as informações adquiridas através dos dados coletados junto à Gerência de Monitoramento de Recursos Hídricos (GMRH/APAC).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com Rodrigues (2019), verifica-se no Brasil cada vez mais casos de eventos extremos. Desta forma, pesquisas que objetivam monitorar e analisar dados relativos a eventos climáticos extremos (Aragão; Duarte, 2023, p. 818) apresentam grande importância para aumentar a eficiência do poder público diante da perspectiva do agravamento da situação climática mundial. Diante da aceleração constante das mudanças climáticas de ordem planetária (IPCC, 2023, p.15), e de seus impactos na vida cotidiana das pessoas, é preciso buscar compreender, através dos dados hidrofluviométricos disponíveis, como pode-se alcançar um nível de resistência que se antecipe às situações de desastres ambientais. Além, disso, pesquisas que desejem trabalhar com o conceito de risco (IBGE, 2018) precisam incluir em seu escopo investigações sobre condições gerais da atmosfera e dos oceanos, tais como: alterações na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e variações do Índice de *Niño* Oceânico (*Oceanic Niño Índex* - ONI), tendo em vista que alterações nessas condições naturais podem influenciar diretamente as dinâmicas regionais de chuvas e de secas (IPCC, 2023, p. 14).

Tratando-se especificamente de Pernambuco, Salgueiro *et al*. (2006) evidenciou nos padrões de comportamento pluviométrico do estado uma tendência a uma:

> "variabilidade espacial das precipitações máximas e seus padrões frontais, orográficos e convectivos em relação aos diversos patamares altimétricos, como a Baixada litorânea, o Planalto da Borborema e a Depressão sertaneja" (Salgueiro; Montenegro; Oliveira, 2011, p. 4).

Já Pfaltzgraff (2007), observou que os efeitos da combinação entre os padrões de comportamento pluviométrico da região com a baixa resiliência das estruturas urbanas, podem acarretar danos graves às vidas humanas e em suas habitações. O autor analisou especificamente a questão dos deslizamentos de morros na Região Metropolitana do Recife (RMR) durante as décadas de 1980 e 1990, e comprovou que o poder público precisa desenvolver e utilizar ferramentas para identificar as áreas de risco e fomentar ações de prevenção contra desastres nas mesmas. O autor, sugeriu ainda que fossem utilizadas técnicas de geoprocessamento e de sensoriamento remoto para identificar as regiões rotineiramente

afetadas pelos eventos climáticos, e a partir disso, que estratégias de prevenção aos danos fossem pensadas e executadas.

A sugestão de Pfaltzgraff (2007), encaixa-se perfeitamente com objetivos desta pesquisa, que visa, através do estudo de dados pluviométricos e fluviométricos para os municípios de Pombos e Vitória de Santo Antão, otimizar o tempo de resposta do poder público diante dos avisos de alerta e inundação do rio Tapacurá, emitidos para o município de Vitória de Santo Antão. Decerto que essa otimização do tempo de ação diminuiria o risco para as populações ribeirinhas e melhoraria a coordenação das ações da Defesa Civil local. Os avisos de alerta e de inundação valem para o município de modo geral, mas exigem uma especial atenção para áreas ribeirinhas, nas quais os riscos se apresentam maiores.

De acordo com Tucci (1993), a bacia hidrográfica seria o elemento central para desenvolver estudos dessa natureza, pois, é a partir da bacia hidrográfica que podemos compreender o ciclo hidrológico de uma determinada região. A bacia hidrográfica é o ponto do espaço onde acontece toda a captação da água precipitada e a sua consequente condução ao exutório. O autor sugere ainda que deve-se enxergar a bacia hidrográfica como sendo um conjunto de estruturas vertentes em direção a um único leito.

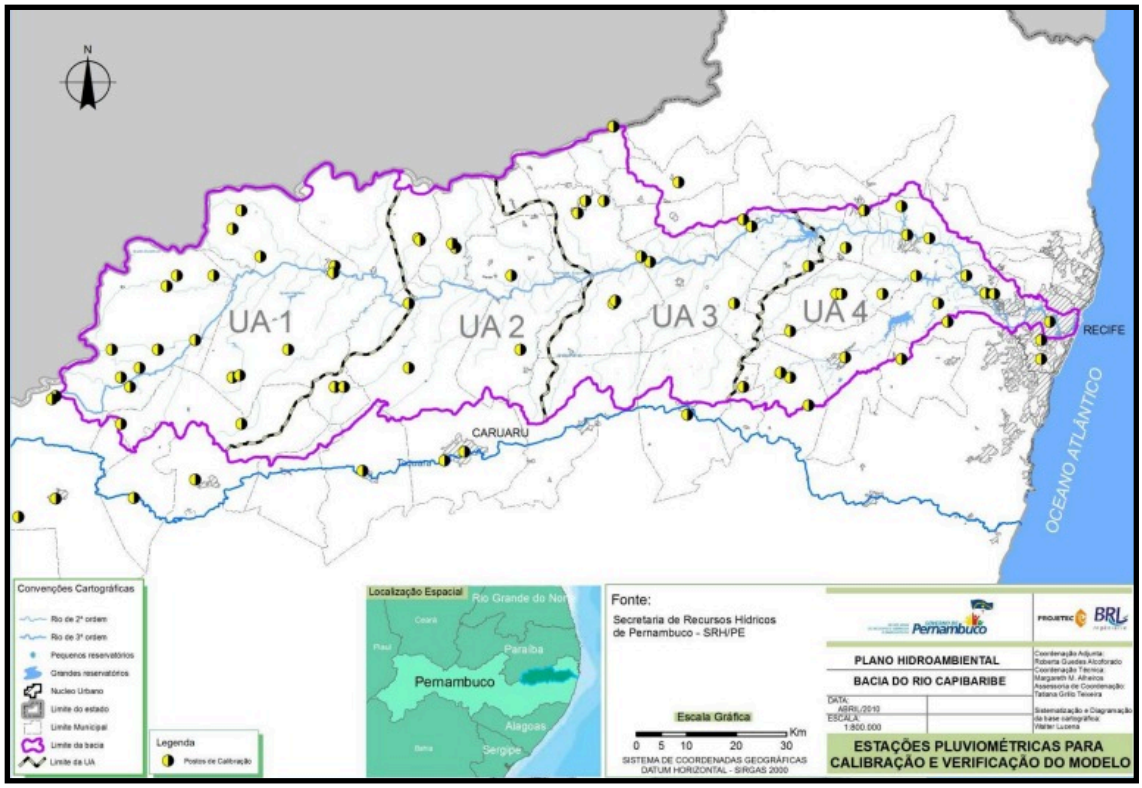
> É inegável a grande convergência de inúmeras áreas de pesquisa (ecologia, geografia, engenharia sanitária e ambiental etc) na definição da bacia hidrográfica como unidade de estudo, gerenciamento, pesquisa, análise, planejamento, intervenção, gestão, desenvolvimento, manejo e/ou banco de dados (Machado; Torres, 2013, p.39).

2.1 Caracterização da Bacia Hidrográfica do rio Tapacurá

A bacia do rio Tapacurá (que é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Capibaribe) possui uma área total de 471,33 km², fica localizada entre a Zona da Mata e o Agreste Pernambucano (35º30’00" e 35º5’00” O e 8º13’00” e 7º58’30” S) e abrange seis municípios: Vitória de Santo Antão, Pombos, São Lourenço da Mata, Gravatá, Moreno e Chã Grande (Duarte *et al*, 2007). Vitória de Santo Antão e Pombos, figuram como sendo os municípios de maior destaque dentro do recorte da bacia do Tapacurá, e possuem, respectivamente 38,6% e 31,2% de suas áreas ocupadas pela referida bacia (Miranda, 2015).

Dentro da divisão do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe (2010), os municípios de Pombos e Vitória de Santo Antão, objetos deste estudo, estão inseridos na Unidade de Análise 4 (UA4). Pode-se observar todas as divisões em Unidades de Análise da bacia do Capibaribe com destaque para a plotagem das estações pluviométricas que são utilizadas para validar o modelo hidrológico da bacia hidrográfica na Figura 3:

Figura 3 - Mapa das estações pluviométricas utilizadas na calibração e validação do modelo hidrológico para a bacia do Capibaribe, PE - 2010



Fonte: PHA, 2010. Adaptado pela autora.

A UA4 compõe a área de drenagem do terço inferior da bacia do rio Capibaribe (Plano Hidroambiental Bacia do Capibaribe, 2010) e abrange a área de estudo da bacia do rio Tapacurá que é objeto de pesquisa deste estudo.

De acordo com Braga (2001), a bacia do rio Tapacurá não apresenta boas condições geológicas para a formação de grandes aquíferos. A água subterrânea que pode ser explorada na região da referida bacia hidrográfica está concentrada em áreas de fraturas ou de aluviões em fundos de vales e sopés de serras, sendo os barramentos então, instrumentos de grande valia para armazenar água com fins de abastecimento. A bacia do rio Tapacurá possui duas

barragens que servem tanto para o abastecimento quanto para o controle de cheias (associadas aos eventos extremos durante a estação chuvosa), e são elas: a barragem de Tapacurá e a barragem de Várzea do Una.

O uso e da ocupação da terra na bacia do rio Tapacurá, não difere muito da realidade de outras bacias hidrográficas de países em semelhante situação de desenvolvimento (Duarte, 2009). A ocupação desordenada das margens, a retirada da cobertura vegetal original, a captação irregular de água para atividades agropecuárias e doméstica (e, até mesmo, por vezes, industriais) e o lançamento de efluentes sem o devido controle, tornam o desafio de manter os mananciais da bacia preservados um tarefa ainda mais complexa para o poder público. Todas essas características da bacia do rio Tapacurá, impactam diretamente na qualidade de vida das populações ribeirinhas que dela dependem para viver. O impacto dos fatores antrópicos, somados aos eventos de pluviosidade expressiva, acarretam consequências severas durante os períodos de crises.

2. 1.1 Padrão de Drenagem e Sub-Divisões da Bacia Hidrográfica do Rio Tapacurá

A bacia do rio Tapacurá, segundo Braga (2001), apresenta uma boa rede de drenagem e um formato naturalmente alongado que atua como um fator que reduz o potencial dos eventos de inundação. No entanto, essa descrição leva em consideração o estado natural da bacia, sem intervenções de ordem antrópica. O autor correlaciona as ações antrópicas com a piora nas condições de drenagem da região, argumentando que elas aumentam a incidência de inundações durante o período chuvoso.

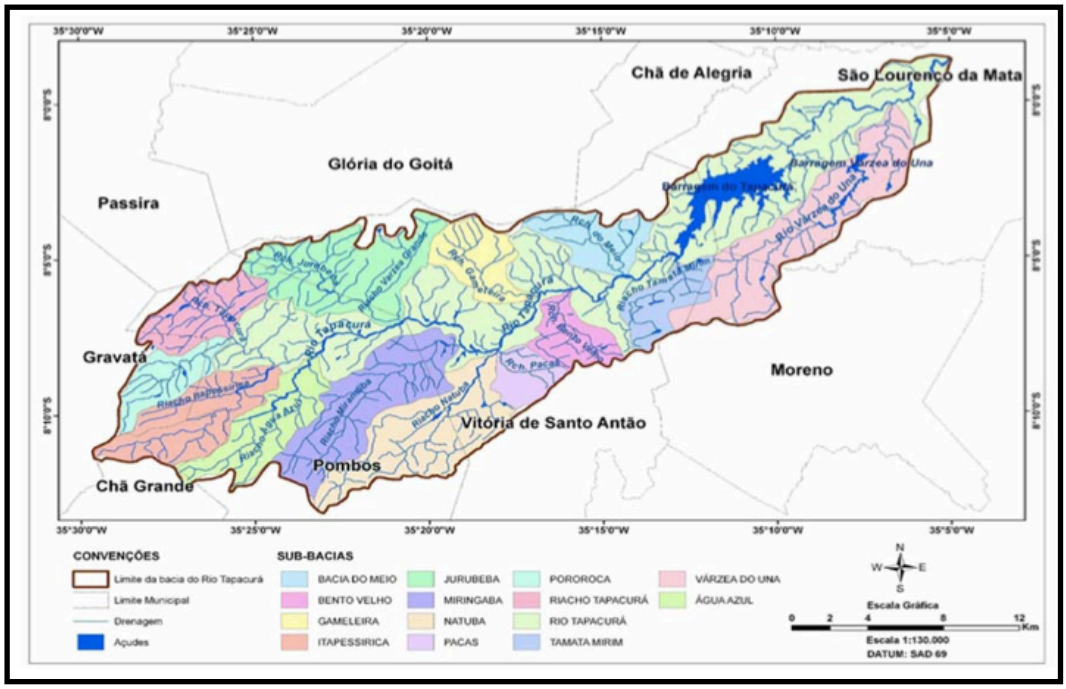
O rio Tapacurá perpassa a sede da municipalidade de Vitória de Santo Antão, e, nos momentos em que a chuva intensa encontra a zona urbana (fator que contribui para o aumento do grau de impermeabilização do solo), situações de extravasamento do rio ocorrem com frequência, causando perdas materiais e colocando em risco a vida dos habitantes da cidade.

Estudos acerca da drenagem fluvial da bacia do rio Tapacurá são de fundamental importância para que o poder público crie planos de contingência com vistas a aumentar a capacidade de resposta da cidade diante de eventos extremos. Para isso, é preciso analisar a geomorfologia da região, dada a importância que os cursos d’água de uma bacia possuem

enquanto agentes do processo de esculturação morfogenética da paisagem terrestre (Christofoletti, 1980).

Abaixo, na Figura 4, temos um mapa da bacia hidrográfica do rio Tapacurá, com destaque em cores para suas sub-bacias:

Figura 4 - Mapa da bacia hidrográfica do rio Tapacurá - PE

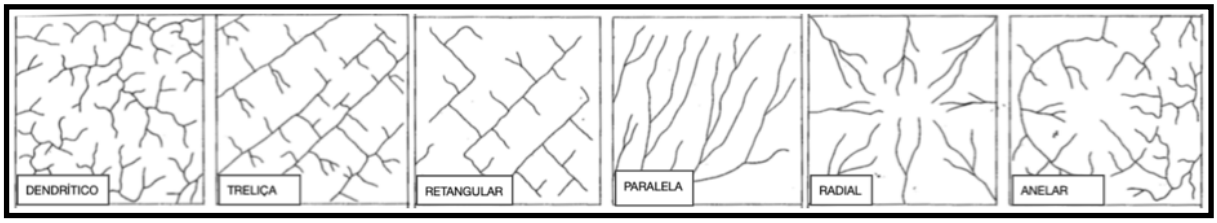


Fonte: Adaptado de Braga (2001) por Duarte (2009).

A bacia do rio Tapacurá possui 14 sub-bacias conforme podemos verificar na Figura 4. Quando observadas enquanto um conjunto, percebe-se que a grande quantidade de ramificações das sub-bacias formam uma boa rede de drenagem para o rio principal, em consonância com o que a literatura relata. A drenagem fluvial de uma bacia hidrográfica é sempre composta por um conjunto de canais de escoamento que se relacionam entre si, formando assim uma bacia de drenagem, que, por sua vez, é regida por um rio ou por um sistema fluvial (Duarte, 2009).

As bacias hidrográficas possuem algumas características que determinam se elas terão uma maior ou uma menor tendência a inundação. Na Figura 5 podemos observar alguns dos tipos mais comuns de padrões de drenagem fluvial:

Figura 5 - Disposição espacial dos principais tipos de padrão de drenagem

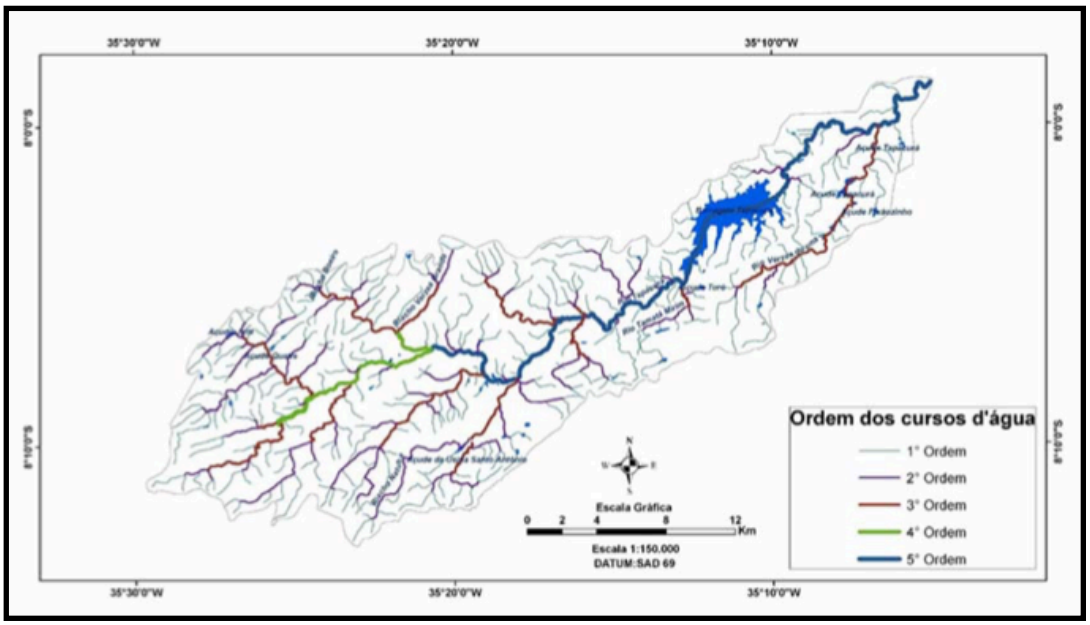


Fonte: Christofoletti, 1980. Adaptado pela autora.

A bacia do Tapacurá possui um padrão de drenagem que se assemelha bastante padrão dendrítico (Braga *et al*, 2021, p. 7) - também conhecido como arborescente, no qual o rio principal seria como o tronco de uma árvore e seus tributários os ramos. Em seu trecho mais a oeste, a bacia possui um regime temporário em muitos de seus cursos d'água.

De acordo com Duarte *et al* (2007), por se tratar de uma bacia de 5ª ordem (Figura 6), segundo a hierarquia de Strahler (escala de 1:100.000), possui uma boa ramificação e uma densidade de drenagem média.

Figura 6 - Ordem dos cursos de água da bacia Tapacurá - PE - 2007



Fonte: Duarte *et al*, 2007.

Pode-se observar também que a bacia do Tapacurá possui uma boa quantidade de tributários de primeira ordem, o que corrobora a afirmação de Braga (2001) a respeito da boa capacidade de drenagem da bacia.

As chuvas que caem numa determinada bacia hidrográfica, tendem a se acumular no leito de seu rio principal. As chuvas da bacia do Tapacurá, levam o rio Tapacurá a receber um volume grande de água, e ele, por sua vez, deságua nas águas do rio Capibaribe (Gunkel, 2003). Essa contribuição que o rio Tapacurá faz no rio Capibaribe, confere à bacia do Tapacurá a classificação de bacia com drenagem exorréica. O que significa dizer que ela possui um escoamento de suas águas de modo contínuo até o oceano Atlântico, através de sua conexão com a bacia do Capibaribe.

Além do padrão de disposição espacial da bacia, existem três índices que podem auxiliar um pesquisador a compreender se uma bacia terá maior ou menor propensão a eventos de inundações. São eles: o Coeficiente de Compacidade (Kc), o Fator Forma (Kf) e o Índice de Circularidade (Villela e Mattos, 1975; Duarte, 2007).

Duarte *et al* (2007), afirma em seu trabalho que a declividade e a altitude de também interferem na "intensidade do escoamento" de uma bacia. A bacia do rio Tapacurá apresenta baixas declividades e altitudes que ultrapassam os 500 metros em regiões próximas ao Planalto da Borborema

Ainda de acordo com Duarte *et al.* (2007), o Índice de Circularidade da bacia do Tapacurá é de 0,3034, correspondendo a uma bacia alongada, já que o valor encontrado está distante da unidade; já o seu Fator Forma é de 0,1818, indicando que os afluentes encontram o rio principal em diversos pontos de sua extensão e isso torna a bacia mais resiliente quanto a inundações; e o seu Coeficiente de Compacidade é de 1,8024, o que indica que nos anos em que as precipitações estejam em consonância com a Normal Climatológica, a bacia apresenta pouca sujeição às enchentes.

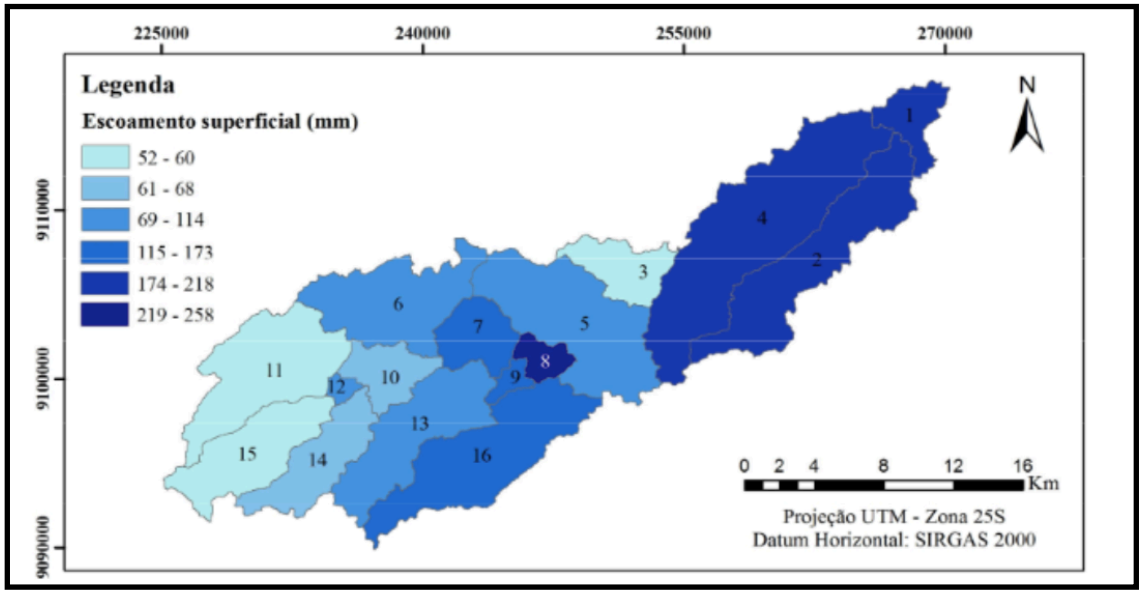
Nesta pesquisa, o fator que delimitou a análise temporal foi disponibilidade de dados da a série histórica de avisos de alerta e de inundação da APAC que compreende os anos de 2019 a 2023. Para os anos que apresentaram relevância sob o ponto de vista dos avisos (2022 e 2023), comparamos sempre os respectivos acumulados de chuva mensais com a Normal Climatológica.

2.2 Caracterização de Solos e da Morfologia da Região

De acordo com a Miranda (2015), a bacia do Tapacurá faz parte dos planaltos rebaixados e possui latossolos profundos e bem drenados em topos planos; argissolos medianamente profundos e bem drenados em vertentes íngremes e gleissolos de várzea em fundos de vales estreitos. Há uma predominância de argilossolos vermelho e amarelo na bacia, mas nela também podem ser encontrados: luviossolos, neossolos quartzarênicos e neossolos regolíticos (Duarte *et al.*, 2007).

Miranda (2015) cita ainda que as diferenças significativas entre os horizontes A e B (passando de um horizonte superficial mais arenoso para um horizonte subsuperficial mais argiloso) que podem implicar numa maior dificuldade quanto à infiltração da água ao longo do perfil supracitado. Essa maior impermeabilidade do solo, decorrente de ações antrópicas invasivas - tais como: a retirada da vegetação nativa, os plantios extensivos de monocultura de cana de açúcar e a instalação desordenada da zona urbana do município de Vitória de Santo Antão - conduz o sistema a realizar um maior escoamento superficial, o que contribui diretamente com os eventos de inundação. Na Figura 7 a seguir, podemos observar como se dá o escoamento superficial médio ao longo da bacia do rio Tapacurá.

Figura 7 - Mapa da distribuição do escoamento superficial médio na Bacia do Rio Tapacurá para o período de 1997 a 2004

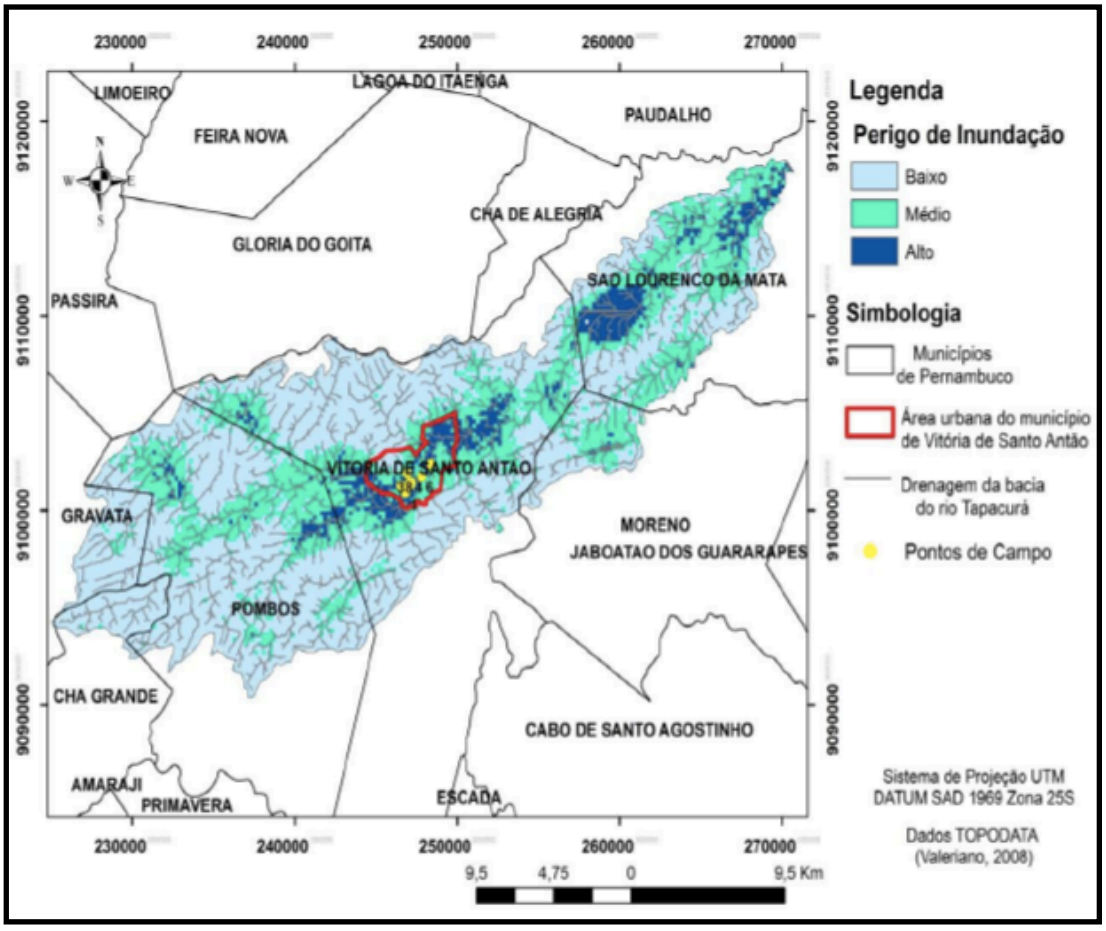


Fonte: Santos *et al.*, 2013.

A sub-bacia de número 8, que aparece bem no centro da Figura 7, corresponde exatamente a localização do município de Vitória de Santo Antão e figura como sendo o ponto com o maior índice de escoamento superficial da bacia. Santos *et al.* (2013), afirma em seu trabalho que a combinação entre "uma maior concentração da precipitação" e a "forte impermeabilização do solo pelas construções urbanas" foi responsável pelo valor alto atingido pela sub-bacia 8. Ele destaca ainda que, oposta à sub-bacia 8, está a sub-bacia 3. Nessa região há uma menor incidência de chuvas e uma boa cobertura vegetal do solo (pastagens e mata), fazendo com que a sub-bacia 3 apresente assim o menor índice de escoamento superficial médio de toda a bacia.

Já o trabalho de Miranda *et al.*, (2017), contribui com os estudos de riscos ambientais na região através da produção de um mapa que subdividiu a bacia do rio Tapacurá de acordo com o grau de Perigo de Inundação (Figura 8):

Figura 8 - Mapa de Perigo de Inundação da Bacia Hidrográfica do Rio Tapacurá - 2017



Fonte: Miranda *et al.*, 2017.

Os trabalhos de Miranda *et al.* (2017) e de Santos *et al.* (2013), destacam a mesma região da bacia do rio Tapacurá (o município de Vitória de Santo Antão) como sendo a área de maior vulnerabilidade às inundações. Cabe observar também que, mesmo diante da progressão temporal dos trabalhos utilizados nesta seção, a região da cidade Vitória de Santo Antão, sempre figura como sendo uma região que está muito sujeita ao risco (IBGE, 2018) e que carece do maior número de estudos possível para que possa criar políticas públicas que aumentem o grau de resistência do município diante de eventos de inundação.

2.3 Caracterização Climática da Região do Estudo

O clima que atua sobre bacia do Tapacurá é o Tropical Chuvoso com primavera seca, com o período chuvoso no outono-inverno, apresentando chuvas esparsas e isoladas em dezembro e janeiro. Na bacia podem ser encontradas áreas de mata úmida e agreste sub-úmido, com alguma presença, ainda que pequena, de mata atlântica e caatinga (Duarte *et al.*, 2007). A precipitação média anual no município de Vitória de Santo Antão é de 1.309,9 mm, podendo atingir os 1.600mm em anos de eventos extremos (Miranda, 2015). As maiores amplitudes térmicas acontecem entre os meses de novembro a fevereiro, com temperaturas máximas que podem atingir até 37ºC. As menores amplitudes térmicas estão concentradas nos meses de maio a agosto, atingindo temperaturas mínimas de 19ºC.

Em termos de umidade relativa do ar, a variação não é muito discrepante, sendo de 60% para os meses mais secos e de 70% para os meses mais chuvosos. Os ventos da região têm direção sudeste-noroeste e atingem uma velocidade média de 3,5 m/s (Braga, 2001).

As chuvas que atingem a bacia do rio Tapacurá estão diretamente ligadas a atuação de sistemas, tais como: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), as Frentes Frias e as Brisas Terrestres e Marítimas. A distribuição das chuvas ao longo da bacia está condicionada pela orientação morfoestrutural do relevo da região. A variação de aproximadamente 5ºC influencia diretamente no padrão de evaporação e evapotranspiração dos corpos d'água e da

vegetação da região, influenciando também, o padrão de chuvas da localidade estudada. (Miranda, 2015).

2.4 Contexto Sócio-Urbano da Região do Estudo

Os municípios desta pesquisa são fronteiriços e com isso compartilham muitas características comuns em termos de natureza, relevo, hidrografia e climatologia. Mas, em termos populacionais e urbanos, eles podem diferir bastante.

2.4.1 Município de Vitória de Santo Antão

O município está localizado na mesorregião da Mata Pernambucana, faz parte do arranjo populacional do Recife e possui uma área de 336,573km^2. Vitória de Santo Antão tem uma população residente de 134.084 habitantes, uma densidade demográfica de 398,38 hab/ km^2 e, em termos educacionais, apresenta uma taxa de escolarização para o intervalo etário dos 6 aos 14 anos de 96,9%. O índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) de Vitória de Santo Antão é de 0,640 (IBGE Cidades, 2024)[4].

Em termos de urbanização, 15,5km^2 de sua área total é urbanizada, 63,3% possui esgotamento sanitário adequado e 8,8% de suas vias públicas são urbanizadas. Ainda de acordo com panorama do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Cidades, o município de Vitória de Santo Antão possui 10.520 pessoas expostas ao risco[5]. O IBGE (2018) define como "população em área de risco" aquelas pessoas que vivem sujeitas à:

> condições hidrometeorológicas e climáticas adversas capazes de deflagrar processos (inundações, enxurradas e movimentos de massa) que produzam risco de ocorrência

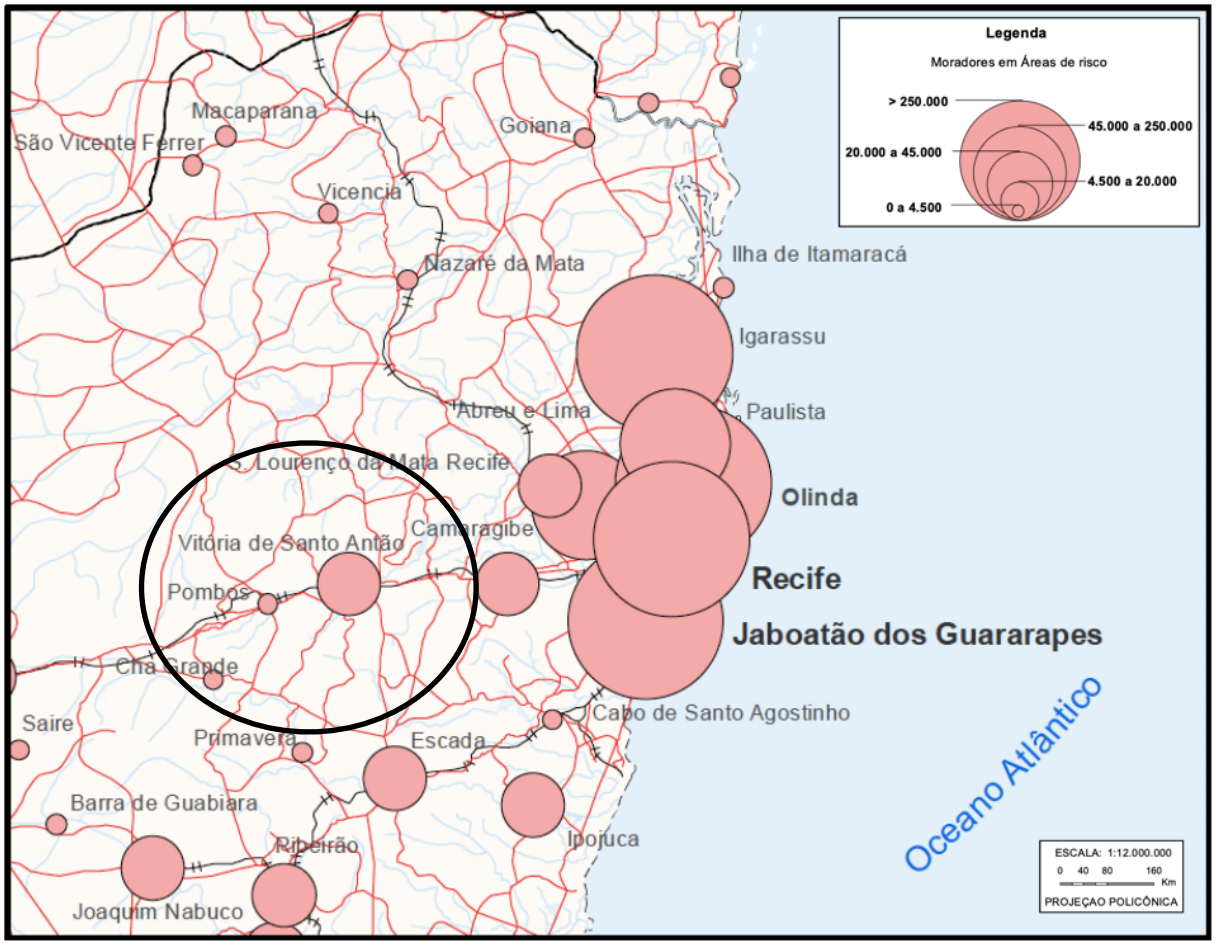
[4] Informações retiradas do site do IBGE, disponíveis em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/vitoria-de-santo-antao/panorama. Acesso em: 10 set. 2024.

[5] Informações retiradas do site do IBGE, disponíveis em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/21538-populacao-em-areas-de-risco-no-brasil.html. Acesso em: 10 set. 2024.

de desastres naturais, com impactos significativos para a sociedade e ambiente. (IBGE, 2018, p. 3).

Nos resultados desta pesquisa desenvolvida pelo IBGE, em parceria com o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), há um mapa (Figura 9) que se mostrou bastante significativo para a nossa pesquisa, posto que destaca tanto a cidade de Vitória de Santo Antão quanto a de Pombos, e as insere dentro do contexto de áreas de risco do nordeste.

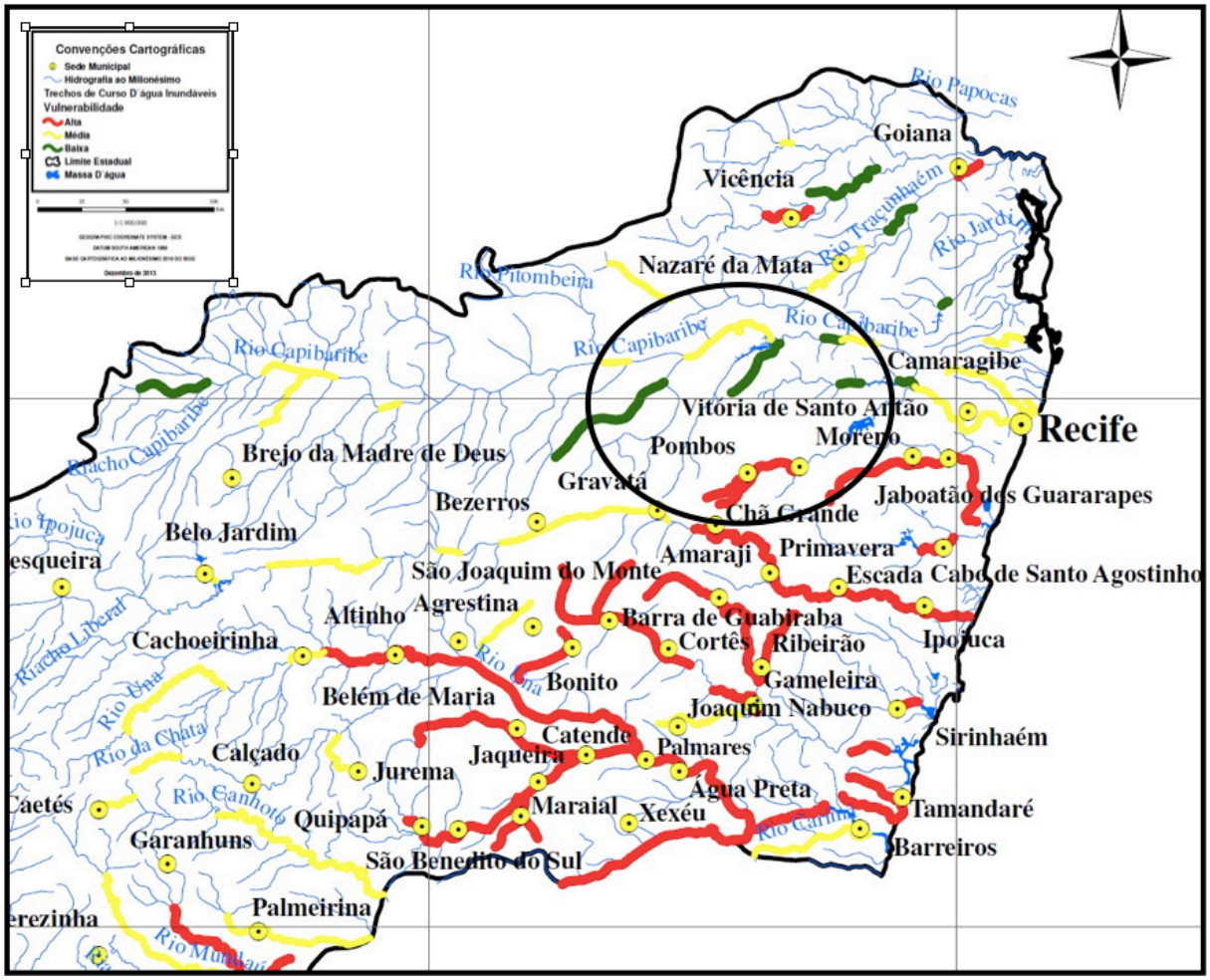
Figura 9 - Mapa da população exposta em áreas de risco Região Nordeste - 2010



Fonte: IBGE, Censo Demográfico 2010/CEMADEN. Adaptado pela autora.

Além do mapa apresentado pelo IBGE (2018), podemos verificar na Figura 10 o grau de vulnerabilidade da bacia do rio Tapacurá através dos resultados publicados no Atlas de Vulnerabilidade a Inundações da ANA (2014).

Figura 10 - Mapa da análise de vulnerabilidade a inundações no leste de Pernambuco, 2014



Fonte: ANA/APAC, 2014. Adaptado pela autora.

O Atlas traz um mapa para o estado de Pernambuco (Figura 10), que permite observar a bacia do rio Tapacurá destacada com mais de uma cor (verde e amarela). Dentro da escala do mapa, verde significa trechos de curso d'água inundáveis com baixa vulnerabilidade, enquanto que os trechos em amarelo destacam uma condição de vulnerabilidade média.

O referido trabalho identificou ao todo 397 trechos sucetíveis à inundações em 76 cursos d'água no estado. Dos 185 municípios do estado de Pernambuco, 134 deles possuem trechos que oferecem riscos de desastres naturais para seus habitantes.

Dentre os 397 trechos inundáveis, 157 deles foram classificados como sendo de alta vulnerabilidade, 164 como sendo de média e 76 como sendo de baixa. A parte leste do estado destaca-se como a região de maior suscetibilidade às inundações dentre todas.

2.4.2 Município de Pombos

Pombos também se localiza na mesorregião da Mata Pernambucana, fazendo parte da microrregião de Vitória de Santo Antão e possui 239,832 km² (IBGE, 2024)[6]. Sua população é de 27.552 pessoas, e possui uma densidade demográfica de 114,88 hab/km². Dentre esses habitantes, 1.519 pessoas são consideradas como população exposta ao risco, de acordo com o panorama do IBGE Cidades (2024). A taxa de escolarização do município é de 95% e o seu IDHM é igual a 0,598.

A cidade possui 3,80km² de área urbanizada e 66,1% de esgotamento sanitário adequado. Pombos tem uma vocação natural para agricultura, com destaque para cultivos de cana de açúcar e abacaxi. É visivelmente menor em termos numéricos e físicos, do que a vizinha, Vitória de Santo Antão, mas ambas estão diretamente conectadas pelo rio Tapacurá, que as atravessa.

Neste capítulo, evidencia-se a urgência e à importância do desenvolvimento de mais estudos sobre mudanças climáticas, impactos antrópicos nas condições ambientais e vulnerabilidades urbanas. É premente a necessidade do desenvolvimento de pesquisas e mapeamentos que detalhem ao máximo os níveis de risco a fim de evitar desastres, mortes e perdas econômicas nas localidades impactadas por fenômenos relacionados aos recursos hídricos.

---

[6] Informações retiradas do site do IBGE, disponíveis em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/pombos/panorama. Acesso em: 10 set. 2024.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Dentre as leitura que foram de fundamental importância durante o processo de coleta e análise de dados, destacamos as contribuições valiosas de documentos de instituições como a Agência Pernambucana de Águas e Clima; o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais; a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, a Agência Estadual de Meio Ambiente; a Agência Nacional de Água e Saneamento Básico; e a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Serviço Geológico Nacional). Foram utilizados também mapas sobre a região estudada, trabalhos acadêmicos sobre Vitória de Santo Antão, planos estaduais hidro-ambientais e artigos científicos.

O presente estudo buscou correlacionar dados pluviométricos e fluviométricos obtidos através de Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) instaladas na bacia do rio Tapacurá, no contexto dos municípios de Pombos e Vitória de Santo Antão. Analisamos a correlação que se estabelece entre o volume precipitado e os avisos de inundação emitidos pela APAC, no âmbito de um recorte temporal que foi estabelecido de acordo com a disponibilidade de dados provenientes do Relatório do Plantão Hidrológico da APAC.

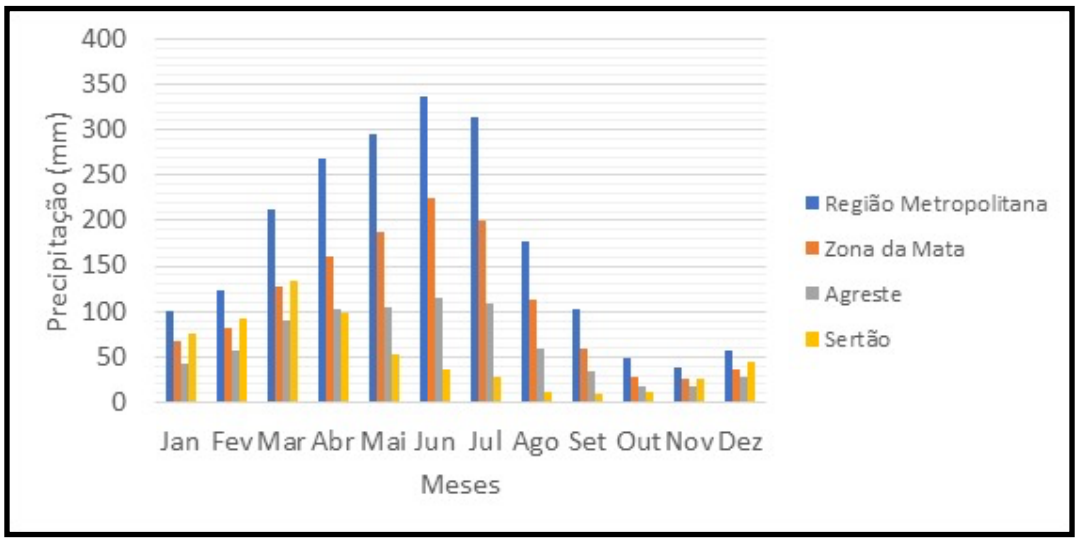
Nos registros dos documentos da referida instituição, foram coletados dados do plantão hidrológico para os anos de: 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023. A investigação se deu durante o período chuvoso, que vai de abril a agosto (APAC, 2024)[7]. O período chuvoso, ou quadra chuvosa, é o momento do ano em que há maior concentração de chuva para a região metropolitana, para a Zona da Mata e para o Agreste. Já o Sertão do estado funciona de modo oposto, entrando, durante esse mesmo período do ano, em sua estação seca, conforme pode-se verificar no Gráfico 1.

Neste período de quatro meses registram-se os maiores acumulados de chuva em decorrência dos sistemas meteorológicos que adentram o estado provenientes do oceano Atlântico (com predominância de DOLs, causadores de eventos extremos). Além do aumento de ocorrência de chuvas intensas, nesses meses do ano também se registram as diminuições de temperaturas e o aumento da umidade relativa do ar (APAC, 2024).

A base da análise deste estudo esteve de acordo com a ocorrência dos eventos de inundação nessa época do ano procurando identificar se houve atuação significativa de

[7] Informações retiradas do site da APAC, disponíveis em: https://www.apac.pe.gov.br/noticias/23-noticias/meteorologia/632-1-de-abril-inicio-da-quadra-chuvosa-do-leste-de-pernambuco. Acesso em: 14 set. 2024.

Gráfico 1 - Início da quadra chuvosa para o leste de Pernambuco



Fonte: APAC, 2024.

anomalias, tais como, variação da Temperatura da Superfície do Mar e alterações do Índice de *Niño* Oceânico. A Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (*National Oceanic and Atmospheric Administration* - NOAA) consegue fornecer dados globais a respeito de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) desde o ano de 1854 até os dias de hoje, num frequência mensal. O sistema de Reconstrução Estendida de Temperatura da Superfície do Mar (*Extended Reconstruction Sea Surface Temperature* - ERSST) é a base da NOAA para a realizar suas análises globais das variações de temperatura da superfície terrestre-oceânica. Essa base de dados recebe investimentos anuais para realizar maiores aperfeiçoamentos em seu sistema, com o intuito de eliminar as discrepâncias entre os dados, com vistas de gerar melhores resultados finais. Atualmente, o sistema ERSST está em sua quinta versão, recebe o nome de ERSST.v5 e baseia-se num método de análise estatística de interpolação do Conjunto Internacional Abrangente de Dados Oceano-Atmosfera (*International Comprehensive Ocean–Atmosphere Dataset* - ICOADS).

Para melhor compreender as inundações, o volume de chuva acumulado em cada um dos dias de eventos foi analisado detidamente. Observou-se, através de gráficos gerados no banco de dados da ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico)[8], como se deu a elevação do nível do rio Tapacurá diante dos eventos chuvosos extremos, com a intenção compreender de que forma se criaram as condições ambientais que resultaram nos episódios

Informações retiradas do site do SNIRH/ANA, disponíveis em: https://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/Mapa.aspx. Acesso em: 20 abr. 2024.

de inundação para o referido município. Observou-se ainda quais foram as características comuns aos eventos, bem como suas particularidades, para melhor compor uma avaliação de riscos para o município e para sua população.

Os dados levantados para esta pesquisa foram interpretados à luz da Normal Climatológica da região estudada, a fim de verificar se as médias pluviométricas do recorte temporal deste estudo, estavam em consonância com o que deve-se esperar para a região do estudo dentro do período chuvoso.

Para cada evento de inundação registrado dentro do recorte temporal deste estudo, foi feita uma análise a respeito do comportamento das chuvas tanto no município de Vitória de Santo Antão, quanto no município vizinho, Pombos, a fim de compreender se o padrão de chuvas do município a montante poderia ou não contribuir com a elevação do rio Tapacurá em Vitória de Santo Antão.

Optou-se, neste estudo, por analisar não apenas o dia do evento, mas também as 48h que o precederam, na intenção de verificar de que maneira, e com que velocidade, se correlacionam os dados de precipitação e a variação do nível do rio. Com o mesmo intuito, estendemos a coleta de dados para as 24h subsequentes ao evento de inundação, novamente na intenção de verificar e analisar o comportamento da chuva e do rio, mas agora com relação a velocidade de dissipação do evento de inundação.

Verificadas e estabelecidas essas correlações entre o volume de chuva e o nível do rio, esta pesquisa visa contribuir com a diminuição do tempo de resposta nas ações de enfrentamento a eventos extremos, no município de Vitória de Santo Antão, identificando através de uma quantidade em milímetros de chuva, quanto é necessário para que o rio Tapacurá extravasasse sua calha provocando uma inundação na cidade, e em que janela de tempo isso pode ocorrer.

Ou seja, buscou-se identificar para Vitória de Santo Antão, qual é o acumulado de chuvas que representa o ponto crítico para o início de um evento de inundação. A pesquisa objetivou definir, em milímetros, o que corresponderia a um evento extremo (Aragão; Duarte, 2023, p. 818) para a cidade de Vitória de Santo Antão.

A obtenção dos dados referentes aos avisos hidrológicos, tanto para os avisos de alertas quanto para os avisos de inundação, foi crucial para a realização desta pesquisa. Os referidos dados foram obtidos junto à Gerência de Monitoramento de Recursos Hídricos

(GMRH/APAC). A GMRH monitora a rede de alerta dos rios do estado de Pernambuco através de um sistema descentralizado de PCDs hidrológicas, telepluviômetros e pluviômetros convencionais. Algumas das informações meteorológicas são provenientes da Sala de Situação da APAC, que trabalha em parceria junto a GMRH e a Gerência de Meteorologia e Mudanças Climáticas (GMMC), enquanto outras foram coletadas diretamente no banco de dados do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN)[9].

Para esta pesquisa, foram utilizadas as PCDs hidrológicas tanto para chuva quanto para rio. As PCDs de rio registram informações das cotas dos rios de quinze em quinze minutos e as transmitem para o Sistema de Informação de Recursos Hídricos (SIRH) da APAC a cada hora. As PCDs de chuva forneceram dados de registro automático ao banco de dados do CEMADEN, o que garantiu a esta pesquisa uma maior confiabilidade em seus resultados, haja vista que, inicialmente, quando coletados todos os dados disponíveis, verificou-se discrepâncias muito acentuadas entre os registros que demandavam um observador em campo (equipamentos de leitura manual) e os automáticos.

As informações de chuva que os observadores enviam para a APAC, por exemplo, nem sempre são diárias em razão da dificuldade de deslocamento do observador até o equipamento em dias de eventos extremos. Optou-se então por utilizar nesta pesquisa apenas os dados automáticos.

Os dados provenientes de pluviômetros convencionais, como os do Instituto de Pesquisas Agronômico de Pernambuco (IPA), por exemplo, foram desconsiderados por apresentarem inconsistências severas, como a ausência completa de dados de chuva para um dia de um evento de inundação. Os pluviômetros convencionais necessitam que um observador os manipulem a fim de obter-se a leitura dos dados diários armazenados em suas provetas. Portanto, diante de certas conjunturas climáticas e/ou hidrológicas, torna-se inviável para o observador manter a assiduidade dos dados. Com isso, a qualidade desses de dados fica comprometida, inviabilizando seu uso como uma fonte consistente para pesquisa.

Neste estudo foram utilizadas também tabelas, quadros e mapas, produzidos ao longo da coleta de dados, e/ou, consultados em documentos oficiais para fundamentar a análise e alcançar os objetivos de pesquisa.

Informações retiradas do site do CEMADEN, disponíveis em: https://mapainterativo.cemaden.gov.br. Acesso em: 10 jun. 2024.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo pode-se observar como se deu a relação entre o índice de pluviosidade e a elevação do nível do rio Tapacurá dentro do recorte de tempo estabelecido por esta pesquisa para realizar a observação dos eventos de inundação.

No Quadro 1, observam-se todos os avisos emitidos durante o plantão hidrológico da APAC para os anos de 2019-2023:

Quadro 1 - Série histórica de avisos do Plantão Hidrológico APAC para Vitória de Santo Antão entre os anos de 2019-2023

Ano	Data	Tipo do Aviso	Horário do Aviso
2023	14/06/23	Alerta	13:25
	14/06/23	**Inundação**	16:11
	27/06/23	Alerta	2:13
	30/06/23	Alerta	9:31
	30/06/23	**Inundação**	13:12
	07/07/23	Alerta	12:17
	07/07/23	**Inundação**	14:16
2022	03/06/22	**Inundação**	16:30
2021	Dos 11 avisos emitidos durante o plantão hidrológico da APAC em 2021, nenhum foi emitido para o município de Vitória de Santo Antão.		
2020	Dos 14 avisos emitidos durante o plantão hidrológico da APAC em 2020, nenhum foi emitido para o município de Vitória de Santo Antão.		
2019	Dos 22 avisos emitidos durante o plantão hidrológico da APAC em 2019, nenhum foi emitido para o município de Vitória de Santo Antão.		

Fonte: APAC, 2024. Organização: Olga Barbosa Araújo.

Dentro da série histórica de 2019-2023, apenas os anos de 2022 e 2023 mostraram-se relevantes para esta pesquisa por apresentarem dias de inundação. Além de identificar os anos e os tipos de aviso (se de alerta ou inundação), foi possível observar ainda, no Quadro 1, que o tempo entre um aviso de alerta e um aviso de inundação costuma ser muito exíguo ou, até mesmo, não existe o aviso de alerta, como é o caso do evento de inundação I, que aconteceu no ano de 2022.

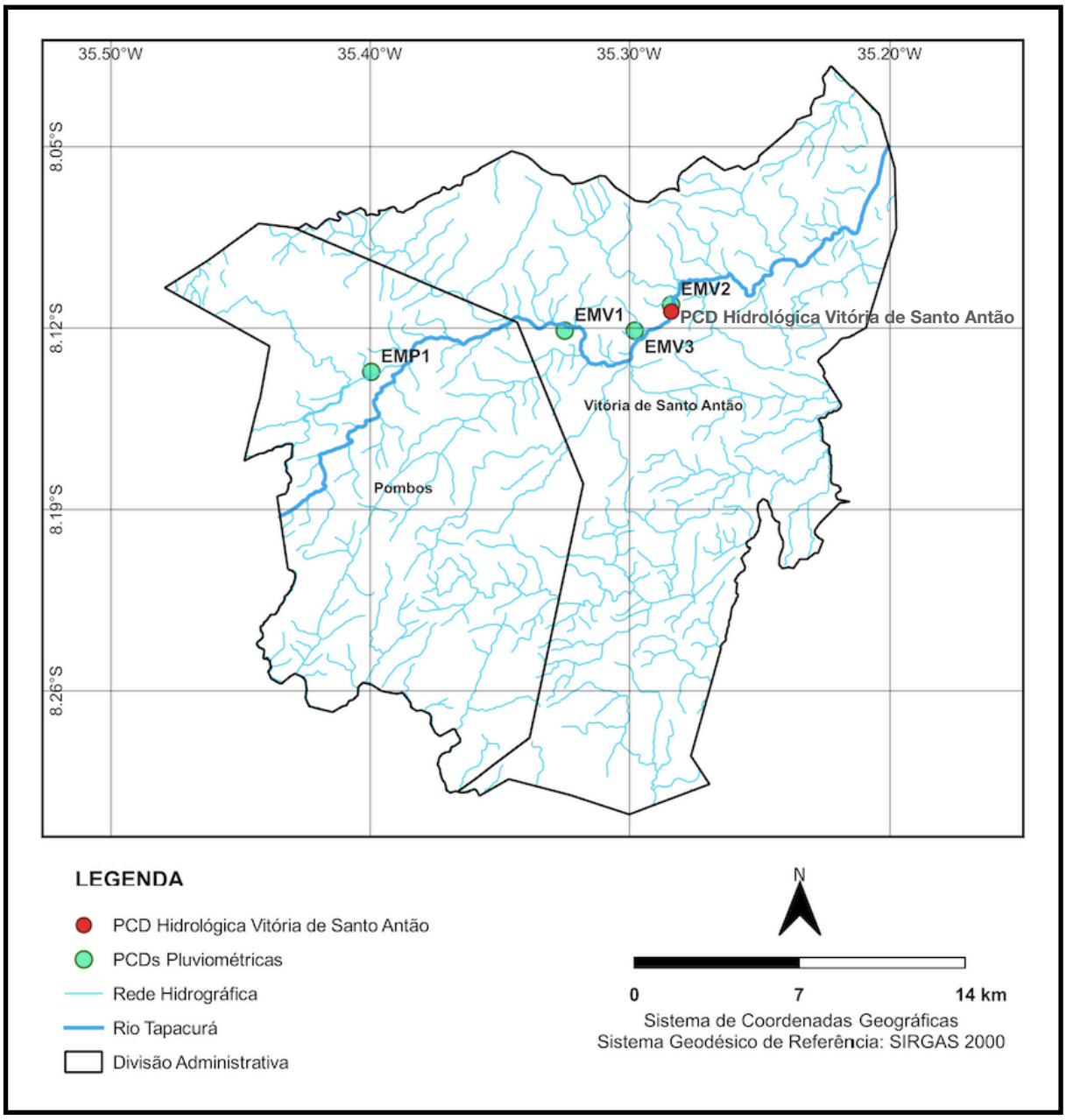
A partir da identificação destes dados, foi possível avaliar cada um dos eventos hidrológicos de inundação que ocorreram nos últimos cinco anos para o município de Vitória de Santo Antão. As PCDs instaladas nos dois municípios, foram base elementar para a coleta de dados desta pesquisa.

Nomenclaturas próprias para as PCDs foram adotadas para facilitar a compreensão geral da pesquisa. As PCDs de chuva do município de Vitória de Santo Antão foram chamadas de Estação de Monitoramento Vitória (EMV) e receberam uma numeração de acordo com a quantidade de PCDs instaladas no município, por exemplo: EMV1, EMV2, EMV3…

A mesma lógica foi aplicada ao município de Pombos e às suas respectivas PCDs de chuva, que foram nomeadas como Estação de Monitoramento Pombos, sob a sigla de EMP, acrescidas de uma numeração correspondente, tal como foi feito para Vitória de Santo Antão.

Na Figura 11 a seguir, temos um mapa de localização elaborado através software livre QGis 3.28.7 Firenze, que destaca as PCDs de chuva e a PCD de rio, identificadas por suas respectivas siglas:

Figura 11 - Mapa de localização das PCDs hidrológica e pluviométricas de Vitória de Santo Antão e Pombos - 2024



Fonte: IBGE/APAC. Elaboração: Danilo Marcelo Barros da Silva e Olga Barbosa Araújo.

Como o rio Tapacurá recebe também contribuições das chuvas que ocorrem no município de Pombos, localizado à montante de Vitória de Santo Antão, optou-se por investigar, se os eventos chuvosos registrados em Pombos contribuíam com as inundações à jusante, em Vitória de Santo Antão. Foram compilados então, os dados de chuva registrados pelo CEMADEN para o município de Pombos durante os períodos chuvosos de 2022 e 2023. O recorte da análise pluviométrica de Pombos foi similar ao aplicado para Vitória de Santo

Então: os dados de Pombos foram coletados nas 48h que antecedem o evento de inundação, nas 24h do dia do evento de inundação e nas 24h subsequentes ao dia do evento de inundação.

A partir desta análise, foram montadas oito tabelas-base abaixo, que unem os dados das chuvas na bacia do rio Tapacurá com cada um dos eventos de inundação.

Tabelas-base para a primeira inundação:

Tabela 1 - Dados de Chuva da Inundação I - Vitória de Santo Antão 2022

	Data	**EMV 1 (mm)**	**EMV 2 (mm)**	**EMV 3 (mm)**	**Média dos pontos/dia (mm)**	**Média dos dias (mm)**
INUNDAÇÃO I	01/06/22	22,85	25,29	25,65	24,60	29,20
	02/06/22	3,94	4,15	1,79	3,29	
	03/06/22	**63,27**	**85,43**	**83,98**	**77,56**	
	04/06/22	10,44	11,88	11,68	11,33	

Fonte: CEMADEN. Organização: Olga Barbosa Araújo.

Obs.: o dia e a média do evento de inundação estão destacados em negrito.

Tabela 2 - Dados de Chuva da Inundação I - Pombos 2022

	Data	**EMP 1 (mm)**	**Média dos dias (mm)**
INUNDAÇÃO I	01/06/22	28,4	23,4
	02/06/22	5,6	
	03/06/22	**53,2**	
	04/06/22	6,4	

Fonte: CEMADEN. Organização: Olga Barbosa Araújo.

Obs.: o dia e a média do evento de inundação estão destacados em negrito.

Tabelas-base para a segunda inundação:

Tabela 3 - Dados de Chuva da Inundação II - Vitória de Santo Antão 2023

	Data	EMV 1 (mm)	Média dos dias (mm)
INUNDAÇÃO II	12/06/23	1	36,94
	13/06/23	1,58	
	14/06/23	**130**	
	15/06/23	15,18	

Fonte: CEMADEN. Organização: Olga Barbosa Araújo.

Obs.: o dia e a média do evento de inundação estão destacados em negrito.

Tabela 4 - Dados de Chuva da Inundação II - Pombos 2023

	Data	EMP 1 (mm)	Média dos dias (mm)
INUNDAÇÃO II	12/06/23	0,8	29,8
	13/06/23	0,6	
	14/06/23	**104,8**	
	15/06/23	13	

Fonte: CEMADEN. Organização: Olga Barbosa Araújo.

Obs.: o dia e a média do evento de inundação estão destacados em negrito.

Tabelas-base para a terceira inundação:

Tabela 5 - Dados de Chuva da Inundação III - Vitória de Santo Antão 2023

	DATA	EMV 1 (mm)	MÉDIA DOS DIAS (mm)
INUNDAÇÃO III	28/06/23	6,53	14,2475
	29/06/23	7,67	
	30/06/23	**41,6**	
	01/07/23	1,19	

Fonte: CEMADEN. Organização: Olga Barbosa Araújo.

Obs.: o dia e a média do evento de inundação estão destacados em negrito.

Tabela 6 - Dados de Chuva da Inundação III - Pombos 2023

	DATA	EMP 1 (mm)	MÉDIA DOS DIAS (mm)
INUNDAÇÃO III	28/06/23	1	10,95
	29/06/23	9	
	30/06/23	**33,4**	
	01/07/23	0,4	

Fonte: CEMADEN. Organização: Olga Barbosa Araújo.

Obs.: o dia e a média do evento de inundação estão destacados em negrito.

Tabelas-base para a quarta inundação:

Tabela 7 - Dados de Chuva da Inundação IV - Vitória de Santo Antão 2023

	DATA	EMV 1 (mm)	MÉDIA DOS DIAS (mm)
INUNDAÇÃO IV	05/07/23	0,4	17,2375
	06/07/23	1,59	
	07/07/23	**66,14**	
	08/07/23	0,82	

Fonte: CEMADEN. Organização: Olga Barbosa Araújo.
Obs.: o dia e a média do evento de inundação estão destacados em negrito.

Tabela 8 - Dados de Chuva da Inundação IV - Pombos 2023

	DATA	EMP 1 (mm)	MÉDIA DOS DIAS (mm)
INUNDAÇÃO IV	05/07/23	0	15,7
	06/07/23	6,6	
	07/07/23	**55,8**	
	08/07/23	0,4	

Fonte: CEMADEN. Organização: Olga Barbosa Araújo.
Obs.: o dia e a média do evento de inundação estão destacados em negrito.

A partir destas tabelas, foram gerados os gráficos de dispersão da chuva de cada um dos eventos de inundação, tanto para a cidade de Vitória de Santo Antão, quanto para o município vizinho, Pombos.

Os gráficos de dispersão forneceram linhas de tendência que facilitaram a compreensão de como o padrão de chuvas que ocorre nos municípios estudados afeta o comportamento do rio Tapacurá em dias de inundação.

A análise foi realizada nas 48h antes do dia da inundação, nas 24h do dia da inundação e nas 24h subsequentes ao dia da inundação. A intenção com isso foi de verificar o evento em três etapas: a primeira etapa consistiu na observação do comportamento da chuva antes da inundação (na janela de 48h pré-evento); a segunda etapa consistiu no acompanhamento da progressão do aviso de alerta para o de inundação, de acordo com o acumulado de chuvas ao longo de 24h no dia do evento; e na terceira etapa, verificou-se como se comportou o nível do rio e da chuva nas 24h após o evento de inundação.

A mesma análise foi feita para o município de Pombos com o objetivo de verificar se a chuva que o atingiu poderia ter contribuído com as enchentes de Vitória de Santo Antão através das águas carreadas à jusante através do rio Tapacurá.

Conforme podemos observar no Quadro 2 abaixo, para os dias de eventos de inundação, o município de Vitória de Santo Antão apresentou os seguintes acumulados:

Quadro 2 - Acumulado de chuva em Vitória de Santo Antão e o intervalo de tempo entre os avisos de alerta e inundação

Evento	**Data**	**Acumulado de Chuva**	**Aviso de Alerta**	**Aviso de Inundação**	**Tempo de Elevação do Nível do Rio**
Inundação I	03/06/2022	77,56mm	…	16h30	…
Inundação II	14/06/2023	130mm	13h25	16h11	2h46
Inundação III	30/06/2023	41,6mm	09h31	13h12	3h41
Inundação IV	07/07/2023	66,14mm	12h17	14h16	01h59

Fonte: APAC. Organização: Olga Barbosa Araújo.

Nos eventos de inundação I, II e IV, a chuva que atingiu o município de Vitória de Santo Antão se comportou de modo que permite classificá-la como tendo sido moderada-forte, de acordo com a classificação da APAC para gradações de intensidade de chuva. Para o evento de inundação III, foram registrados 41,6mm, o que corresponde a uma chuva moderada de acordo com o documento de tendência de precipitação da APAC[10].

[10] Informações retiradas do site da APAC, disponíveis em: https://sites.google.com/view/tendenciadeprecipitacao/paginainicial. Acesso em: 10 set. 2024.

Mas o mais interessante que pode-se observar no Quadro 2 é o pequeno intervalo de tempo entre um aviso de alerta e um aviso de inundação. Observa-se que, em média, as inundações no município de Vitória de Santo Antão acontecem dentro de um espaço de tempo que varia entre 2h a 4h, apenas. Em termos de uma resposta governamental a um evento extremo, esse tempo é bastante curto para montar uma ação de enfrentamento que evite ao máximo estragos causados pelas águas do rio quando de seu extravasamento.

Levou-se em consideração o histórico do Índice de *Niño* (*Oceanic Niño Index* - ONI) para os meses de junho e julho dos anos em que foram registrados os eventos de inundação. O objetivo era verificar se o ONI do período poderia ter estado associado aos altos volumes de acumulados de chuva (acima dos 50mm) - e até mesmo para sua diminuição, nos dias em que a chuva se manteve abaixo dos 50mm.

Dentro do recorte temporal desta pesquisa, de acordo com a Tabela 9, foram encontrados os seguintes ONIs:

Tabela 9 - Histórico de episódios de El Niño e La Niña baseados no Índice de Niño Oceânico computado por meio do uso de ERSST.V5

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2012	-0.9	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.2
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7
2015	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5	1.9	2.2	2.4	2.6	2.6
2016	2.5	2.1	1.6	0.9	0.4	-0.1	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-0.8	-1.0
2018	-0.9	-0.9	-0.7	-0.5	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.8
2019	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2
2021	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.7	-0.8	-1.0	-1.0
2022	-1.0	-0.9	-1.0	-1.1	-1.0	-0.9	-0.8	-0.9	-1.0	-1.0	-0.9	-0.8
2023	-0.7	-0.4	-0.1	0.2	0.5	0.8	1.1	1.3	1.6	1.8	1.9	2.0
2024	1.8	1.5	1.1	0.7	0.4	0.2	0.1					

Fonte: NOAA, 2024.
Legenda: DJF (Dezembro, Janeiro, Fevereiro), JFM (Janeiro, Fevereiro, Março), FMA (Fevereiro, Março, Abril), MAM (Março, Abril, Maio), AMJ (Abril, Maio, Junho), MJJ (Maio, Junho, Julho), JJA (Junho, Julho, Agosto), JAS (Julho, Agosto, Setembro), ASO (Agosto, Setembro, Outubro), SON (Setembro, Outubro, Novembro), OND (Outubro, Novembro, Dezembro), NDJ (Novembro, Dezembro, Janeiro).

A Tabela 9 apresenta um compilado extenso de dados a respeito da incidência de *El Niño* e de *La Niña* na temperatura da superfície do mar nos últimos 13 anos. Os dados foram

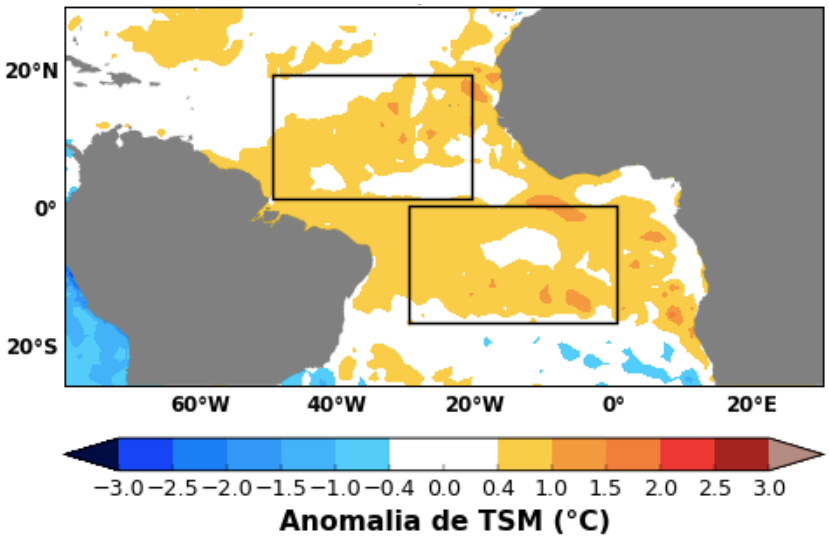
compilados pela NOAA através do sistema de Reconstrução Estendida de Temperatura da Superfície do Mar (*Extended Reconstruction Sea Surface Temperature* - ERSST).

De acordo com a NOAA, para caracterizar um trimestre de incidência de *El Niño*, é preciso que o valor do Índice Oceânico de *Niño* atinja um valor positivo igual ou superior a +0.5ºC. Já para caracterizar um trimestre de incidência de *La Niña*, é preciso que o valor do ONI negativo seja igual ou menor que -0.5ºC.

Para o ano de 2022, portanto, como pode-se observar na Tabela 9, ocorreu a incidência de uma *La Niña.* A *La Niña* é um fenômeno que gera o resfriamento das águas do Oceano Pacífico Equatorial, fortalecendo assim a célula de Walker que influencia episódios de enchentes na região do Nordeste do Brasil (NEB) (Freire; Lima; Cavalcanti, 2011, p. 430).

Especificamente quando relacionamos as oscilações da TSM com o recorte temporal desta pesquisa, encontramos os seguintes ONIs para o ano de 2022: -1ºC referente ao trimestre de abril, maio e junho (AMJ); -0.9ºC para o trimestre de maio, junho e julho (MJJ); e -0.8ºC para o trimestre de junho, julho e agosto (JJA). Na Figura 12, podemos observar como a anomalia da TSM atuou na costa do NEB durante o mês de junho de 2022:

Figura 12 - Média mensal de anomalia de TSM 06/2022
Referência: 1991-2020



Fonte: NOAA/OAR/ESRL PSD. Elaboração: FUNCEME, 2022.
Adaptado pela autora.

Esses três valores de ONIs correspondem exatamente aos meses do período chuvoso da região leste do estado de Pernambuco (que vai de abril a agosto) e contemplam a data do

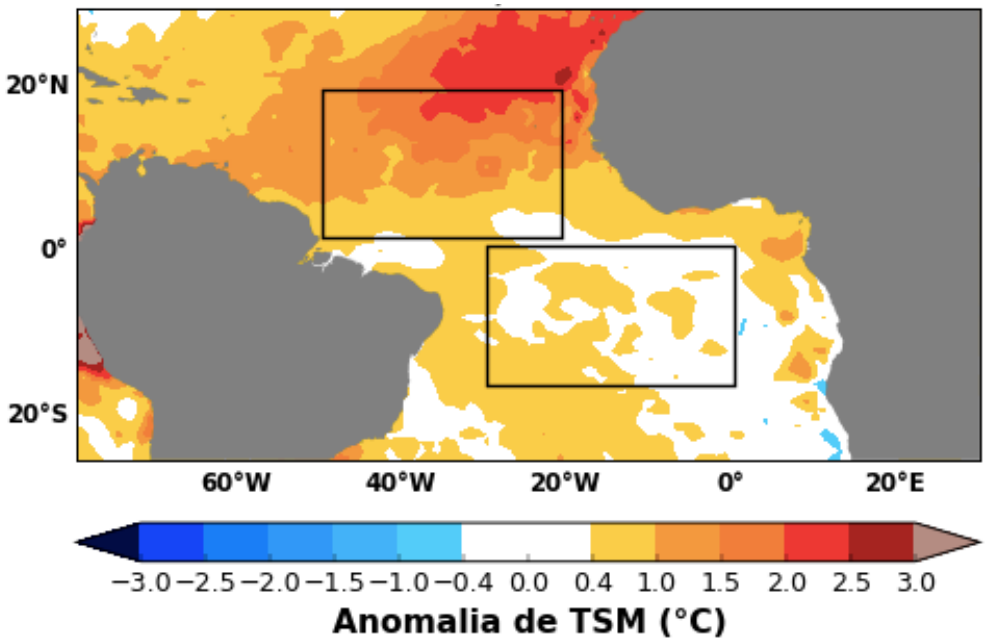
evento de Inundação I, que ocorreu no dia 03 de junho de 2022. No entanto, cabe ressaltar que 2022 não foi um ano de *La Niña* forte, o que decerto diminui a incidência de eventos de inundação no NEB.

Para o ano de 2023, temos na Tabela 9 os seguintes ONIs para os meses do período chuvoso: 0.5ºC para o trimestre de abril, maio e junho; 0.8ºC para o trimestre de maio, junho e julho; e 1.1ºC para o trimestre de junho, julho, agosto. Neste ano, a anomalia da TSM já indica uma reversão do quadro anterior de *La Niña*, e evidencia a presença de um *El Niño*.

Os eventos de *El Niño* são responsáveis por períodos de maiores secas no NEB, mas, assim como aconteceu com a *La Niña* do ano anterior de não ser muito forte, a anomalia da TSM referente ao ano de 2023 para os meses de junho e julho, não foi significativa, o que indica a presença de um *El Niño* fraco. Em todo caso, este fenômeno está ligado ao período chuvoso e às inundações dos dias 14 e 30 de junho e 07 de julho, na cidade de Vitória de Santo Antão.

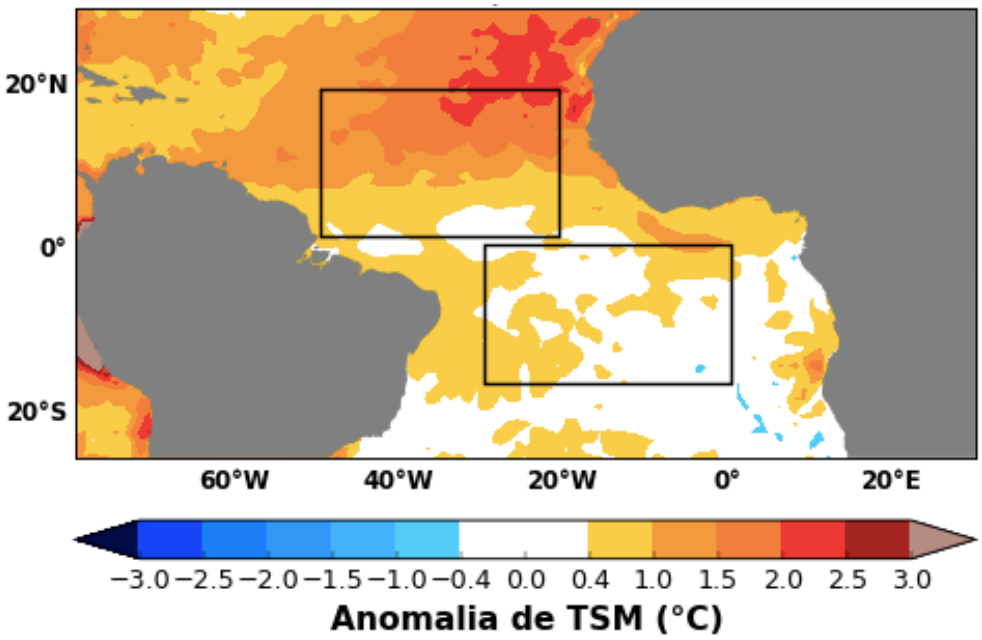
Abaixo, nas Figuras 13 e 14, temos imagens da anomalia da TSM para os meses de junho e julho de 2023. Ambas corroboram com as informações retiradas da Tabela 9.

Figura 13 - Média mensal da anomalia de TSM 06/2023
Referência: 1991-2020



Fonte: NOAA/OAR/ESRL PSD. Elaboração: FUNCEME, 2023.
Adaptado pela autora.

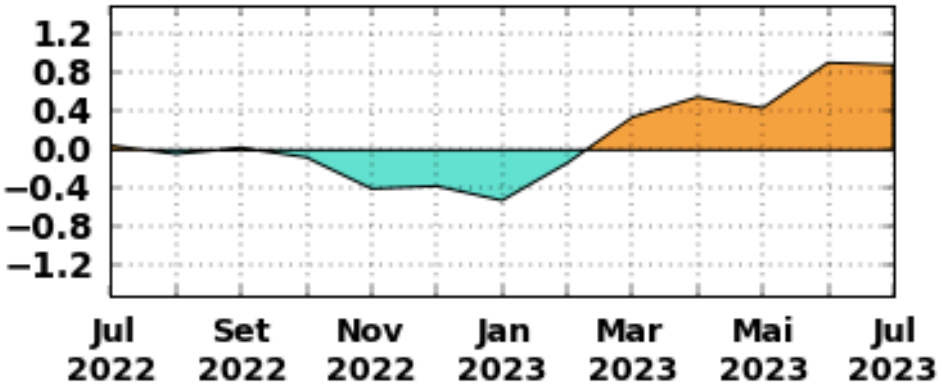
Figura 14 - Média mensal da anomalia de TSM 07/2023
Referência: 1991-2020



Fonte: NOAA/OAR/ESRL PSD. Elaboração: FUNCEME, 2023.
Adaptado pela autora.

A transição de um ano de *La Niña* para um ano de *El Niño* pode ser bem observada no Gráfico 2, através de um modelo que exprime a oscilação da TSM para o período analisado:

Gráfico 2 - Anomalia mensal da TSM (ºC) do Atlântico Tropical
Grad. Interhemisférico

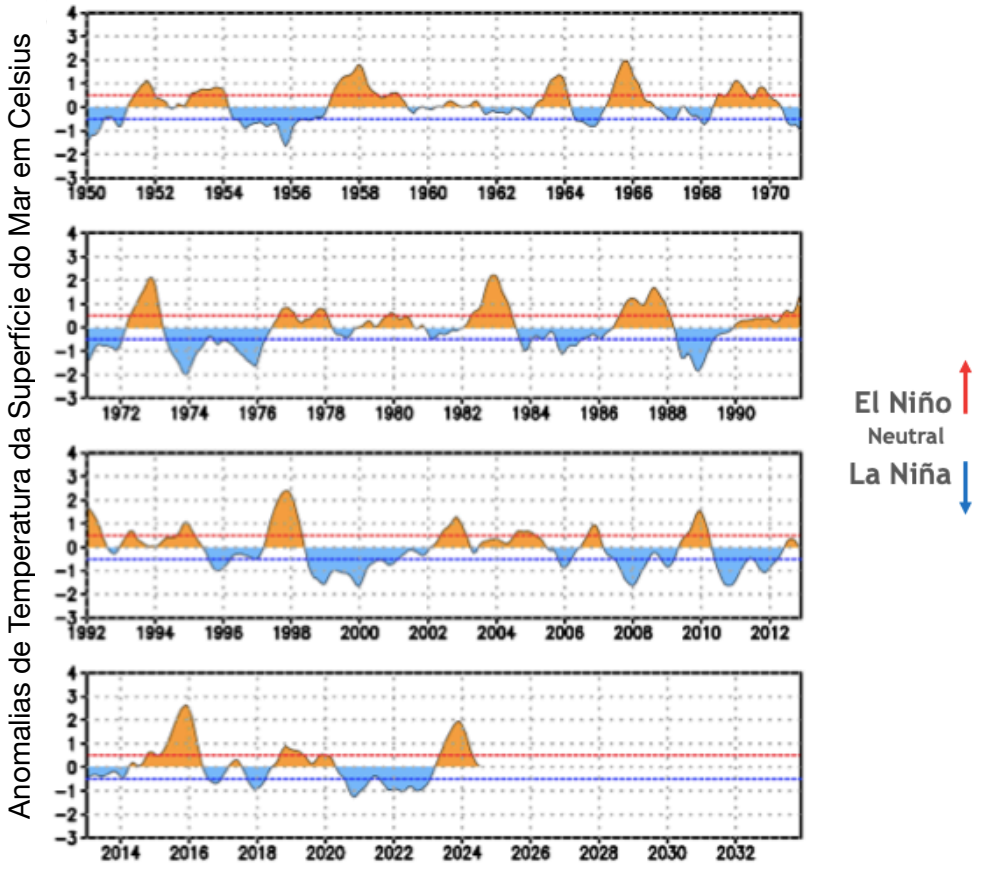


Fonte: NOAA/OAR/ESRL PSD. Elaboração: FUNCEME, 2023.
Adaptado pela autora.

Os eventos de *El Niño* e de *La Niña*, geralmente, ocorrem de maneira alternada com uma média de duração de 2 a 7 anos cada, influenciando diretamente no regime de chuvas do Atlântico Sul. De acordo com Freire; Lima; Cavalcanti (2011), existem evidências científicas de que os episódios de *La Niña* têm ocorrido em uma menor quantidade nas últimas décadas. A intensidade e a forma como os eventos vão afetar o regime de chuvas do continente varia bastante. Um *El Niño* típico dura algo entorno de 12 a 18 meses, enquanto a *La Niña* costuma durar um período um pouco menor, variando entre 9 a 12 meses. Essas oscilações são intercaladas por períodos nos quais as condições atmosféricas permanecem normais.

No Gráfico 3 é possível observar como se comportou o ONI dos últimos 30 anos, quais foram os momentos de anomalias e quais foram os momentos em que as condições se mantiveram normais ou sem alterações. É possível identificar no Gráfico 3 também, o momento de virada de uma *La Niña* para um *El Niño*, que se iniciou em 2023 e segue perdurando até o presente momento.

Gráfico 3 - Índice Oceânico de Niño (ERSST.v5 ONI) de variação da anomalia da TSM dos últimos 30 anos



Fonte: NOAA, 2024. Adaptado pela autora.

Depois de verificada a TSM e o Índice de ONI para o período da pesquisa (e de observar que seus impactos foram mínimos para as chuvas e inundações do período), foi realizada a comparação entre os volumes de chuva registrados e as Normais Climatológicas da região. Utilizando o Atlas Climatológico do Estado de Pernambuco: normais climatológicas 1991-2020 (APAC, 2023), foram observadas quais são as Normais Climatológicas para cada um dos meses do estudo (junho e julho) e para ambos os municípios.

A Normal Climatológica representa um estudo sobre o regime de chuvas de uma determinada região por períodos de 30 anos. Ao verificar os acumulados mensais de chuva para Vitória de Santo Antão e Pombos nos meses deste estudo, foram comparados os achados com a Normal Climatológica prevista para cada uma das duas cidades conforme pode-se observar na Tabela 10:

Tabela 10 - Comparativo das Normais Climatológicas com os acumulados de chuva dos municípios de Vitória de Santo Antão e Pombos para os meses dos eventos de inundação em 2022 e 2023

		Jun-22 (mm)	**%**	**Média em % das EM**	**Jun-23 (mm)**	**%**	**Jul-23 (mm)**	**%**
Vitória de Santo Antão	**Normal Climatógica**	**164**			**164**		**135**	
	EMV1	370,3	225,79		333,09	203,10	100,68	74,58
	EMV2	369	225,00	224,52	…		…	
	EMV3	365,32	222,76		…		…	
Pombos	**Normal Climatógica**	**146**			**146**		**125**	
	EMP1	273,8	187,53	…	278,4	190,68	99	79,20

Fonte: APAC/CEMADEN. Elaboração: Olga Barbosa Araújo, 2024.

Para Vitória de Santo Antão a Normal Climatológica do mês de junho é de 164mm e em 2022 choveu 368,20mm (dado referente à média dos valores encontrados para as três estações de monitoramento ativas no ano de 2022). Esse valor corresponde a um número bastante acima do que é esperado para o período. Já para Pombos, no mês de junho, a Normal Climatológica é de 146mm, mas na realidade choveu um total de 273,8mm em 2022.

No mesmo mês de junho, no ano de 2023, Vitória de Santo Antão registrou 333,09mm de chuva e Pombos 278,4mm. Ambos os valores foram muito parecidos com os registrados no ano anterior e ambos foram muito acima dos valores de suas respectivas Normais Climatológicas.

Para mês de julho de 2023, Vitória de Santo Antão apresentou uma Normal Climatológica de 135mm. Já para Pombos a Normal Climatológica foi de 125mm. No entanto, os valores acumulados que foram registrados em 2023 para os dois municípios, respectivamente, foram de 100,68mm e 99mm. Ambos abaixo do esperado.

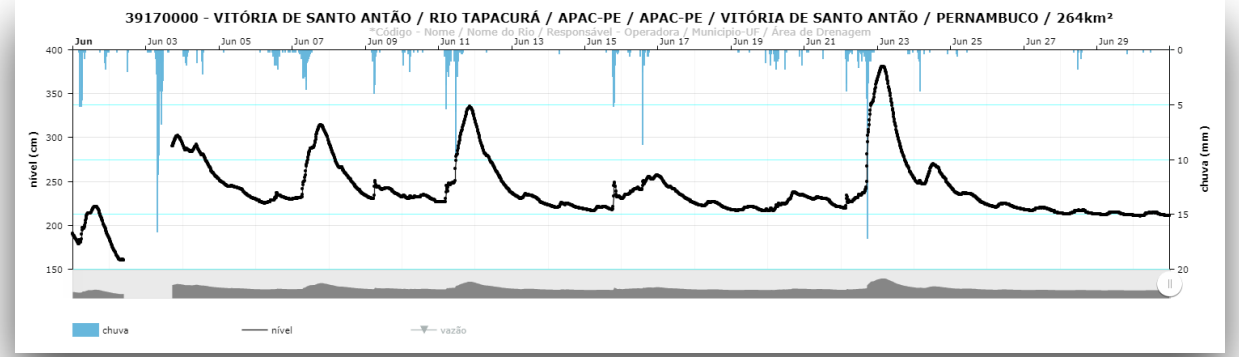
Correlacionando, então as informações do ONI para os anos de 2022 e 2023, com as informações do comparativo entre o acumulado e a Normal Climatológica de cada município em ambos os meses de ocorrência de inundações, pudemos concluir que: independente dos da presença de fatores como o ONI e a TSM, não é possível observar uma interferência direta dos de seus valores nos achados pluviométricos para Vitória de Santo Antão e Pombos.

4.1 Análise Hidrológica e Pluviométrica para o ano de 2022

Em 2022, o rio Tapacurá apresentou alguns eventos de alerta e de inundação com relação a seu nível normal. É possível observar no Gráfico 4 toda a variação do nível do rio durante o mês de junho que, tradicionalmente, para esta região do estado de Pernambuco, se apresenta como sendo um mês bastante chuvoso e que, para ano de 2022, registrou uma média acumulada bastante acima da Normal Climatológica.

A cota de alerta do rio Tapacurá para o município de Vitória de Santo Antão, é de 3,20m, enquanto sua cota de inundação é de 4,20m. No Gráfico 4 podemos ver alguns episódios de elevação brusca do nível do rio (linha de tendência em preto) em consonância com os registros de chuva que estão indicados no Gráfico 4 através de barras azuis verticais.

Gráfico 4 – Elevação do rio Tapacurá para o município de Vitória de Santo Antão durante o mês de junho de 2022



Fonte: HidroWeb (ANA), 2024.

Observa-se também que justo no dia do evento de Inundação I, em 03 de junho, o sistema da ANA apresentou uma falha no sensor de nível do rio que inviabilizou a transmissão dos dados durante um dia crítico para o município de Vitória de Santo Antão. Ao longo do mês, o gráfico registrou alguns pontos de elevação do rio, mas que não ultrapassaram sua cota de inundação, mantendo-o dentro de sua cota de alerta (mesmo que de modo bastante elevado). De forma geral, ao longo dos outros dias do mês, a linha de tendência voltou a se apresentar de maneira contínua no que diz respeito a transmissão de informações.

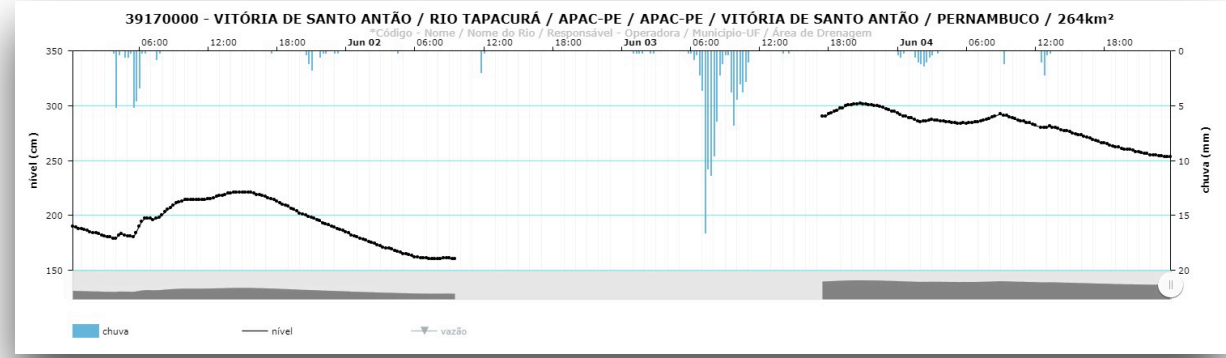
Nos dias 11 e 22 de junho, o rio Tapacurá atingiu as cotas de 3,35m e de 3,81m, respectivamente. Essas são cotas altas dentro da curva de elevação do nível do rio, mas ainda abaixo de sua cota de inundação que é de 4,20m.

O Gráfico 4 evidencia ainda que o comportamento do rio Tapacurá oscilou bastante durante o mês de junho de 2022 e que esse foi um mês de elevada pluviosidade para a região da cidade de Vitória de Santo Antão.

4.1.1 Evento de Inundação I

Em seguida, realizou-se a análise de um período do Gráfico 4 que se refere ao evento de Inundação I, em 03 de junho de 2022 através do Gráfico 5.

Gráfico 5 - Elevação do rio Tapacurá para o município de Vitória de Santo Antão durante o evento de Inundação I - 2022



Fonte: HidroWeb (ANA), 2024.

No período que se estende desde às 09h30 do dia 02 de junho até às 17h30 do dia 03 de junho, a PCD da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) parou de transmitir informações a respeito da cota do rio Tapacurá devido a alguma falha técnica no equipamento. No entanto, durante a mesma janela de tempo, o equipamento pôde registrar e enviar os dados de uma chuva bastante intensa que atingiu o município de Vitória de Santo Antão (e que caiu entre às 05h45 da madrugada e às 11h da manhã do dia 03 de junho).

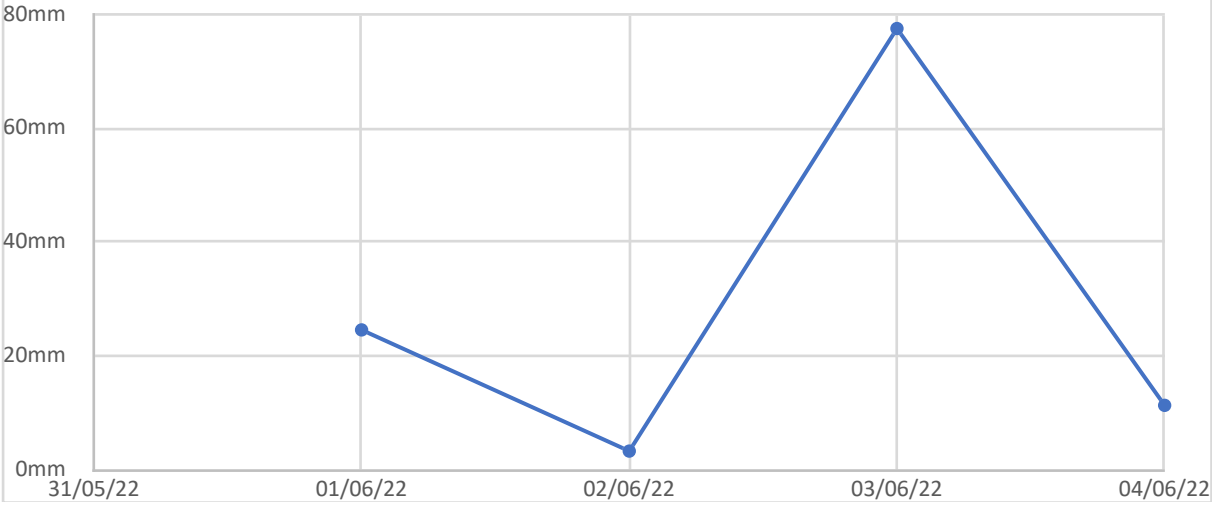
Conforme os registros da APAC para o dia 03 de junho, o rio ultrapassou sua cota limítrofe às 16h30, quando da emissão do aviso de inundação pela equipe da APAC. Mas dada a falha na transmissão dos dados, o gráfico apresentou um espaço em branco neste dia e a equipe da APAC não pôde, portanto, emitir, adequadamente, um aviso de alerta antes de liberar o aviso de inundação.

Num caso como este, a equipe da Gerência de Monitoramento de Recursos Hídricos, precisa permanecer em contato direto com um agente em campo da Defesa Civil que possa observar o comportamento de elevação do rio Tapacurá de acordo com o sistema de

monitoramento convencional. O monitoramento convencional se dá através de réguas linimétricas fixadas na margem do rio. O agente então, registrará a cota do nível do rio e informará à GMRH o valor da cota para que os funcionários da APAC possam emitir o aviso adequado.

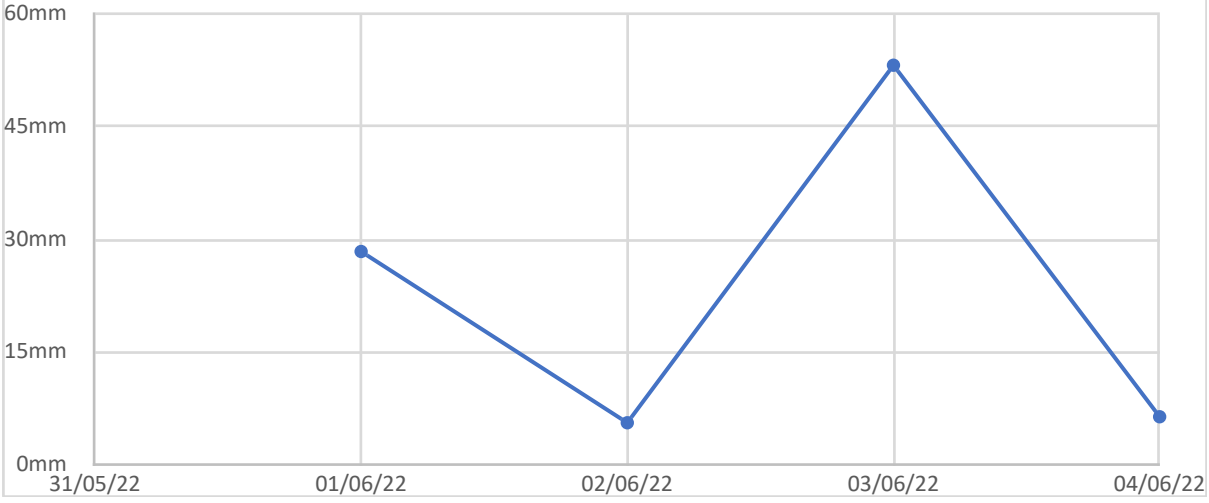
Abaixo os gráficos de dispersão 6 e 7 evidenciam o alto índice de pluviosidade no dia do evento de Inundação I. Percebe-se que para ambas as cidades, a chuva ocorreu de maneira muito intensa no dia 03 de junho, mas logo se dissipou.

Gráfico 6 - Dispersão da chuva para o município de Vitória de Santo Antão durante o evento de Inundação I - 2022.



Fonte: CEMADEN, 2024. Organização: Olga Barbosa Araújo.

Gráfico 7 - Dispersão da chuva para o município de Pombos durante o evento de Inundação I - 2022



Fonte: CEMADEN, 2024. Organização: Olga Barbosa Araújo.

Ao observar a janela das 48h prévias ao evento de inundação, uma coisa que fica evidente em ambos os gráficos é de que a chuva anterior ao evento de inundação I é fraca e espaçada, de modo que pouco influenciou na elevação do nível do rio. Já a chuva das 24h do evento, é forte e rápida, fazendo com que a linha de tendência do gráfico se eleve de forma também rápida. Nas 24h posteriores ao evento, a tendência de precipitação diminui bastante e também de maneira veloz o sistema voltou a apresentar valores normais.

Constata-se através dos gráficos de dispersão, que a chuva que gerou uma inundação em 03 de junho de 2022 em Vitória de Santo Antão, caiu de forma concentrada e intensa numa janela menor que 24h. Compreende-se também que a contribuição de Pombos é pouco relevante para a inundação de Vitória de Santo Antão. O próprio evento extremo de Vitória de Santo Antão terminou sendo o principal fator para que a inundação ocorresse.

Em consonância com o que diz Duarte *et al* (2007), foi possível verificar que a linha de tendência da elevação do nível do rio retorna a um estado de normalidade de forma rápida, já que a bacia do rio Tapacurá têm um formato retangular com significativa ramificação e que, naturalmente, não possui vocação para ser palco de grandes eventos de inundação.

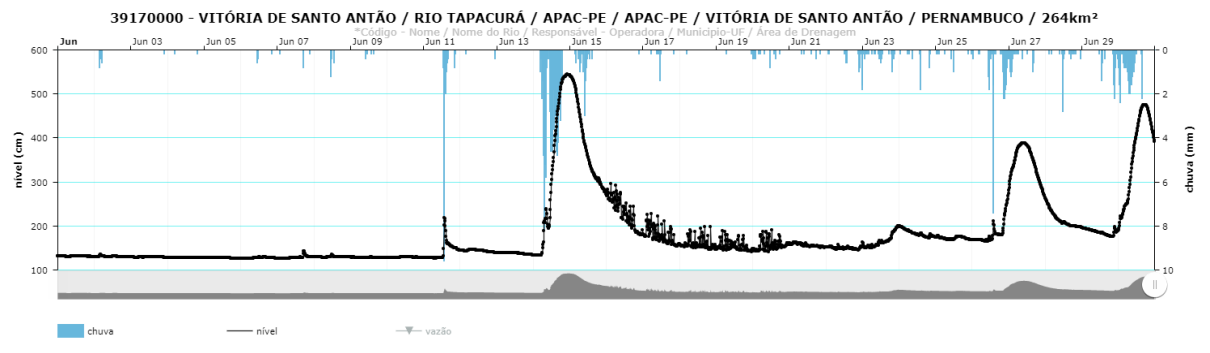
Outra observação que foi possível fazer ainda, foi sobre o formato dos dois gráficos de chuva. Na comparação observamos que o padrão da chuva é o mesmo para os dois municípios, tanto o é que suas linhas de tendência possuem o mesmo formato. A única diferença entre eles é a quantidade registrada em milímetros de chuva. Enquanto Vitória de Santo Antão chega aos 80mm de chuva acumulada no dia do evento, Pombos não atinge nem 60mm.

4.2. Análise Hidrológica e Pluviométrica para o ano de 2023

Para o ano de 2023 existem registros de eventos de inundação em dois dos meses do período chuvoso: junho e julho. Abaixo os Gráficos 8 e 9 correspondem aos meses citados. No Gráfico 8, é possível observar que a linha de tendência do rio Tapacurá se altera em junho de 2023 de modo bastante similar ao ano anterior. A diferença é que para 2023, o Gráfico 8 apresentou uma quantidade maior de elevações por inundação do que por alerta, em oposição ao que foi registrado para o ano de 2022. Além disso, podemos observar também que os

eventos de inundação se concentram entre os dias 14 e 30 de junho. Enquanto no ano anterior, o único evento de inundação de todo o período chuvoso concentrou-se logo nos primeiros dias do mês de junho.

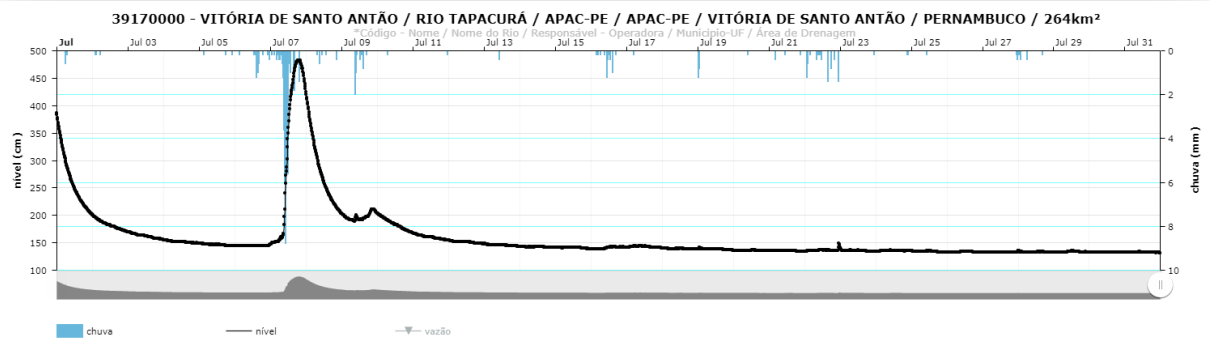
Gráfico 8 – Elevação do rio Tapacurá para o município de Vitória de Santo Antão durante o mês de junho de 2023



Fonte: HidroWeb (ANA), 2024.

Já o mês de julho de 2023 (Gráfico 9) apresentou uma linha de tendência muito mais moderada do que junho, com apenas duas elevações bruscas, que representam, respectivamente: o fim do evento de inundação III (01/07/2023) e o evento de inundação IV (07/07/2023).

Gráfico 9 – Elevação do rio Tapacurá para o município de Vitória de Santo Antão durante o mês de julho de 2023



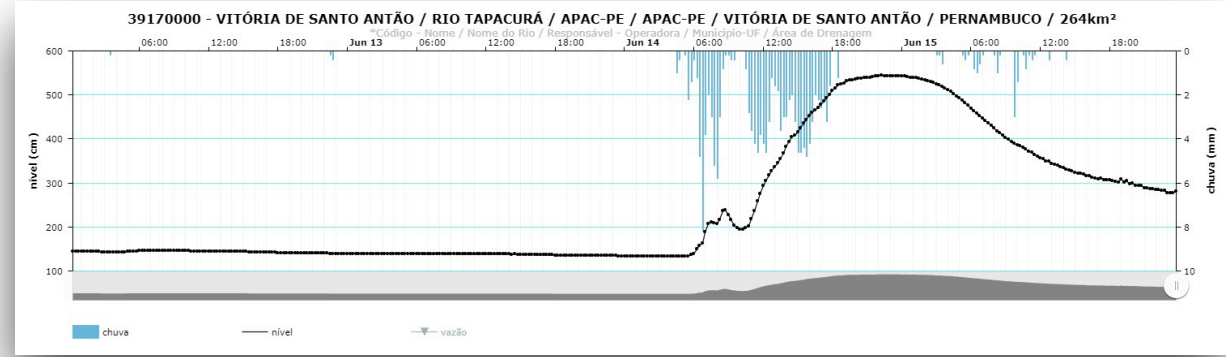
Fonte: HidroWeb (ANA), 2024.

Em julho, para além do dia do evento de Inundação IV, a linha de tendência do rio Tapacurá não apresentou nenhum outro risco de entrar em alerta, mantendo-se bastante abaixo da cota limítrofe. A chuva também se apresentou de maneira pontual e fraca, contribuindo com a estabilidade do resto do mês.

4.2.1 Evento de Inundação II

O segundo evento de inundação registrado pelos Avisos do Plantão Hidrológico da GMRH/APAC, foi de longe o mais intenso em termos de acumulado de chuva dentre os outros quatro analisados nesta pesquisa. Durante este evento foi registrada uma chuva de 130mm em menos de 24h (entre os dias 14 e 15 de junho) conforme pode-se verificar no Gráfico 10. As linhas de tendência desse evento, tanto para o rio quanto para a chuva, seguiram o mesmo padrão da Inundação I, elevando-se e dissipando-se de maneira veloz .

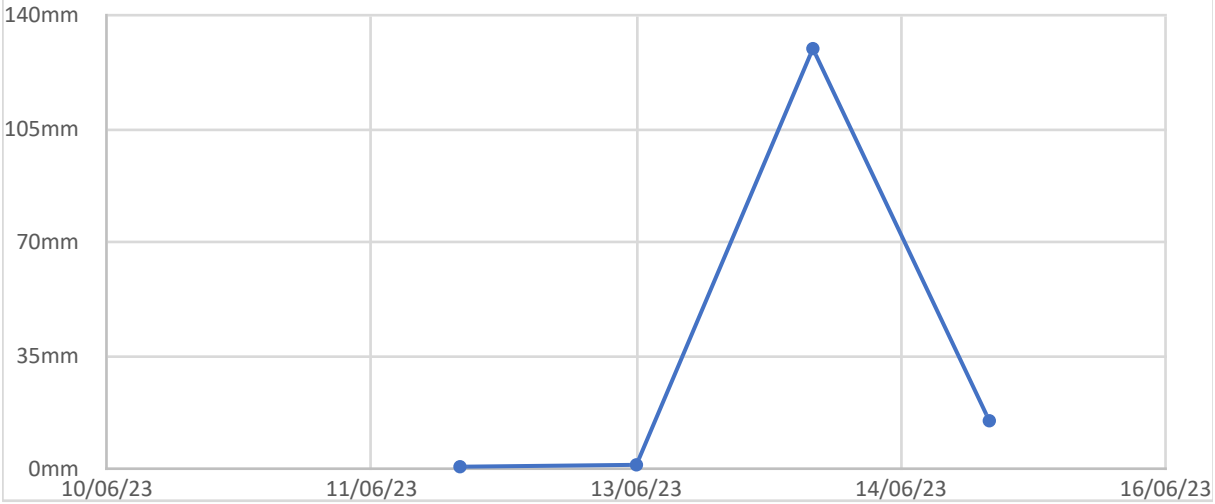
Gráfico 10 - Elevação do rio Tapacurá no município de Vitória de Santo Antão durante o evento de Inundação II - 2023



Fonte: HidroWeb (ANA), 2024.

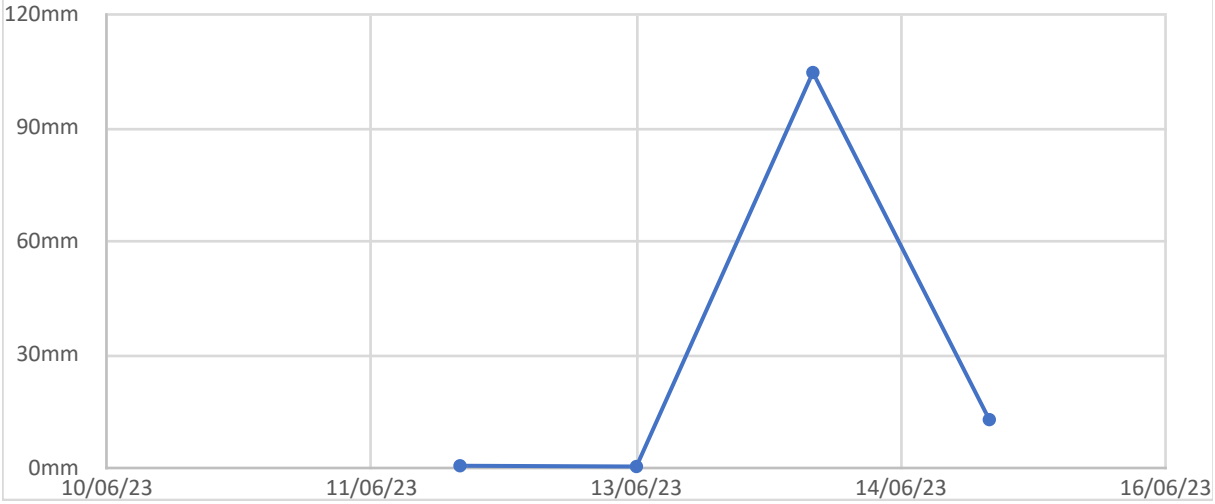
Podemos observar nos Gráficos de dispersão 11 e 12 que, assim como na Inundação I, durante a Inundação II, a linha de tendência de chuva para Pombos é similar em termos de formato a linha de tendência de Vitória de Santo Antão.

Gráfico 11 - Dispersão da chuva para o município de Vitória de Santo Antão durante o evento de Inundação II - 2023



Fonte: CEMADEN, 2024. Organização: Olga Barbosa Araújo.

Gráfico 12 - Dispersão da chuva para o município de Pombos durante o evento de Inundação II - 2023



Fonte: CEMADEN, 2024. Organização: Olga Barbosa Araújo.

Como as chuvas dos referidos municípios ocorreram simultaneamente, é fato que o acumulado de Pombos teve sua parcela de contribuição para o evento de inundação que ocorreu em Vitória de Santo Antão (localizada à jusante do rio Tapacurá com relação a Pombos), mas não foi um fator determinante para que o extravasamento acontecesse. O que de fato propiciou a inundação do Tapacurá no município de Vitória de Santo Antão neste dia foram as chuvas intensas e não-espaçadas que atingiram o município.

Neste segundo evento, por exemplo, o aviso de que o rio havia atingido sua cota de alerta foi emitido às 13h25. Às 16h11 um novo aviso, dessa vez referente à inundação, foi

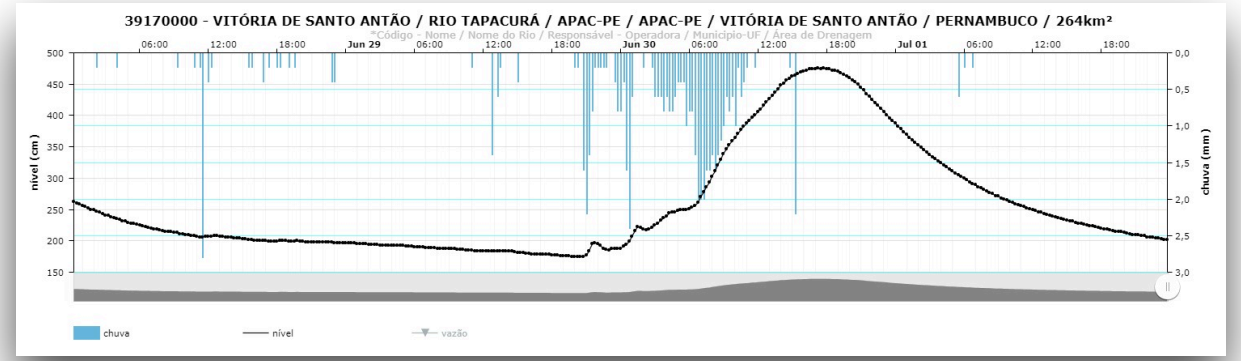
emitido. A diferença de tempo entre os dois avisos foi de apenas 2h46. Em termos de alteração da cota do rio, isso significa que ele subiu de 320cm (cota de alerta) para mais de 420cm (cota de inundação) em menos de 3 horas.

Por fim, evidencia-se novamente a boa capacidade de drenagem da bacia, que encerrou o ciclo da inundação dentro da marca das 24h subsequentes ao evento extremo.

4.2.3 Evento de Inundação III

O terceiro evento de inundação ocorreu no dia 30 de junho de 2023 e registrou um volume de chuva de 41,6 mm, o menor valor dentre todos os acumulados desta pesquisa. O tempo entre os avisos de alerta e inundação deste evento, foi de 3h41, figurando como sendo o maior espaço de tempo entre avisos dentre as quatro inundações. De acordo com o Gráfico 13, podemos verificar que a chuva se comportou de maneira menos intensa nesta inundação, tendo seu início ainda no dia 29 de junho e mantendo-se constante até aproximadamente o meio dia do dia 30 de junho.

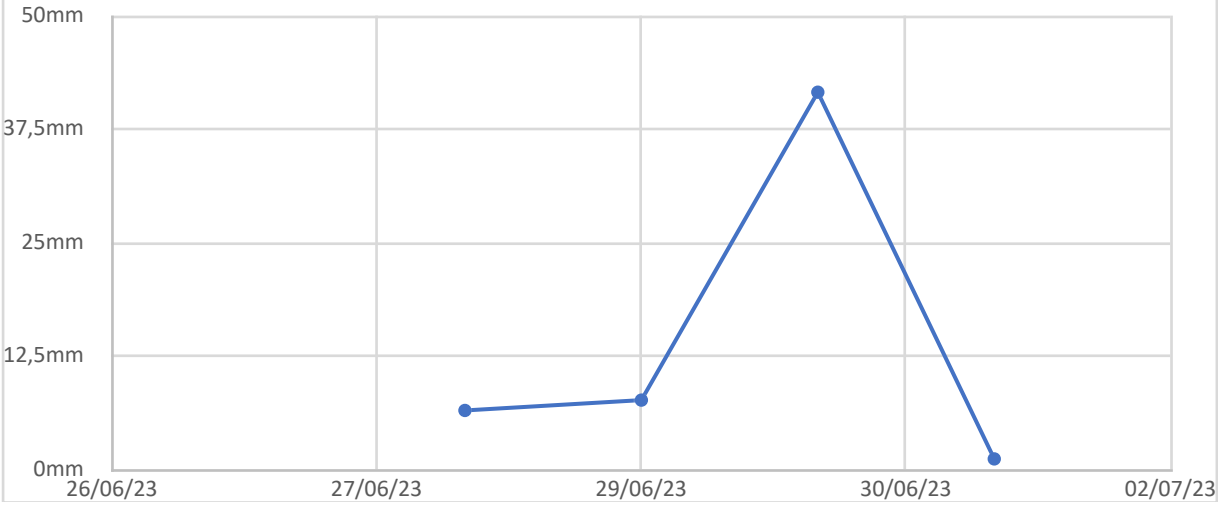
Gráfico 13 - Elevação do rio Tapacurá no município de Vitória de Santo Antão durante o evento de Inundação III - 2023



Fonte: HidroWeb (ANA), 2024.

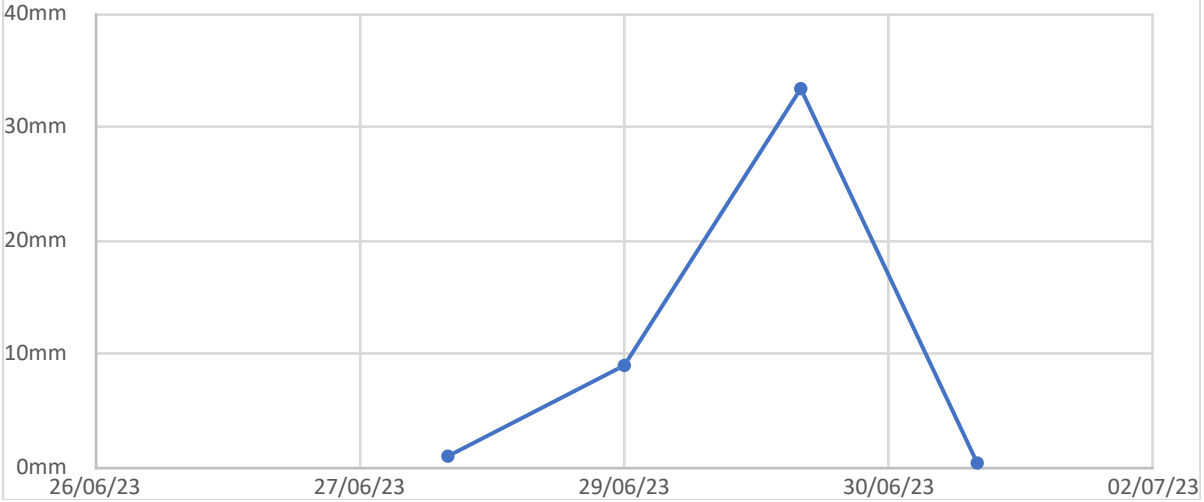
Para este evento, como o tempo entre o início das chuvas na região e a hora do aviso de inundação foi maior, é possível de constatar que para além do volume de precipitação em Vitória de Santo Antão (Gráfico 14), o acumulado de Pombos (Gráfico 15), carreado pelo rio Tapacurá, pode ter auxiliado em seu extravasamento.

Gráfico 14 - Dispersão da chuva para o município de Vitória de Santo Antão durante o evento de Inundação III - 2023



Fonte: CEMADEN, 2024. Organização: Olga Barbosa Araújo.

Gráfico 15 - Dispersão da chuva para o município de Pombos durante o evento de Inundação III - 2023



Fonte: CEMADEN, 2024. Organização: Olga Barbosa Araújo.

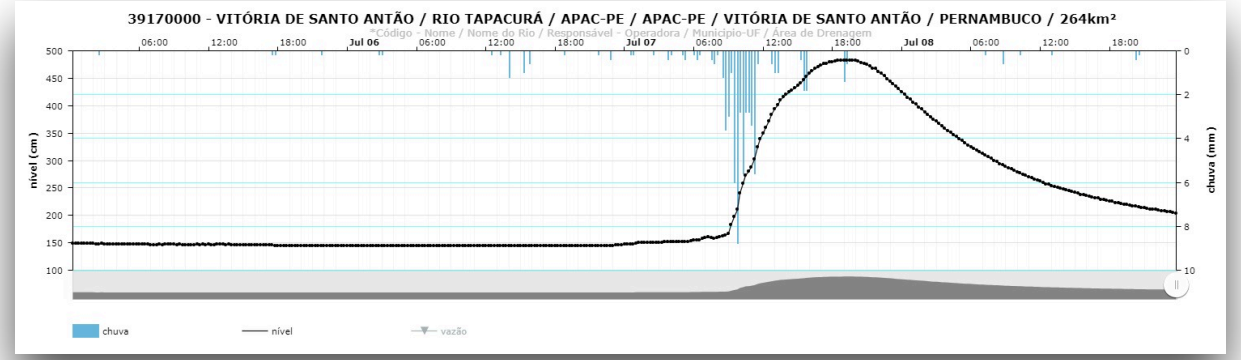
Cabe ressaltar que, durante o mês de junho de 2023, a climatologia da região apresentou uma TSM do Atlântico Tropical positiva de aproximadamente 0.8ºC, e que, no referido mês, num intervalo de apenas 15 dias, a cidade de Vitória de Santo Antão registrou dois eventos de inundação muito diferentes em termos de acumulado. O primeiro (Inundação II) foi um evento de chuva forte, enquanto que o segundo (Inundação III) foi um evento de chuva moderada.

No entanto, nos dias entre as duas inundações, ocorreram chuvas praticamente diárias para as cidades de Vitória de Santo Antão e Pombos, o que contribuiu com o aumento da saturação do solo da região, propiciando assim que um novo evento de inundação ocorresse mesmo que com um volume de chuva menor do que o que se apresentou para os eventos anteriores.

4.2.4 Evento de Inundação IV

Para o quarto e último evento de inundação desta pesquisa, o Gráfico 16, apresenta um panorama da linha de tendência do rio Tapacurá.:

Gráfico 16 - Elevação do rio Tapacurá no município de Vitória de Santo Antão durante o evento de Inundação IV - 2023



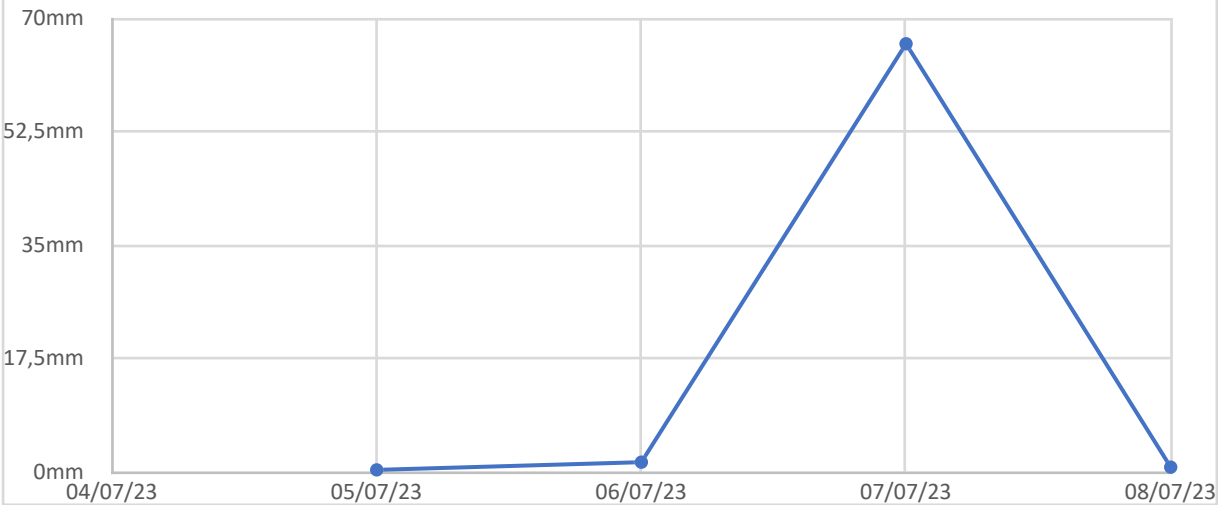
Fonte: HidroWeb (ANA), 2024.

Julho foi um mês relativamente tranquilo com relação à linha de tendência do rio Tapacurá, tendo apresentado poucas alterações (conforme vistas anteriormente no Gráfico 9, por exemplo) e poucos eventos de chuvas (com acumulados muito pequenos). Mas, o quarto e último evento de inundação analisado nesta pesquisa representou um recorde: este foi o evento em que o tempo de elevação da cota do rio (de alerta para inundação) ocorreu de forma mais rápida, dentre todos os outros analisados anteriormente.

Na inundação do dia 07 de julho, foi registrado um acumulado de 66,14mm, que atingiu a cidade de Vitória de Santo Antão numa janela de tempo de aproximadamente 12h, com início da chuva por volta das 6h da manhã e com o pico da precipitação perto do meio dia. O primeiro aviso, o de alerta, foi emitido pela APAC às 12h17. Já o de inundação foi emitido às 14h16, perfazendo um total de apenas 01h59 de diferença entre os dois eventos.

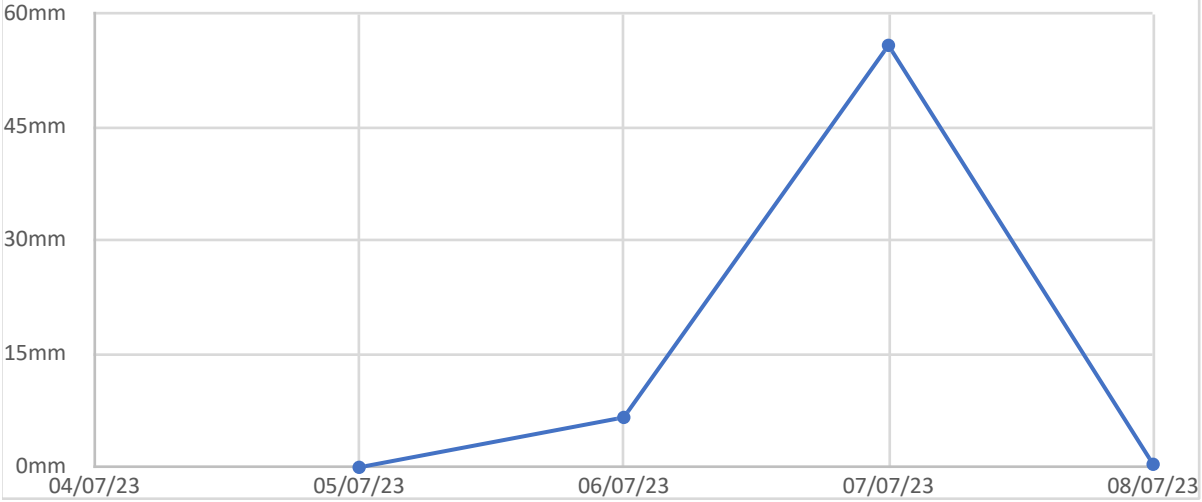
De acordo com os Gráficos 17 e 18 podemos verificar que o padrão dessas chuvas foi bastante abrupto, especialmente quando o comparamos com o comportamento da chuva nas 48h que precederam o dia da inundação.

Gráfico 17 - Dispersão da chuva para o município de Vitória de Santo Antão durante o evento de Inundação IV - 2023



Fonte: CEMADEN, 2024. Organização: Olga Barbosa Araújo.

Gráfico 18 - Dispersão da chuva para o município de Pombos durante o evento de Inundação IV - 2023



Fonte: CEMADEN, 2024. Organização: Olga Barbosa Araújo.

Dessa forma, assim como nos outros eventos, é possível verificar novamente que o padrão da linha de tendência, para ambos os gráficos de chuva, manteve-se muito parecido, reforçando a ideia de que Pombos pode sim contribuir para um extravasamento do rio Tapacurá em Vitória de Santo Antão, mas que não é, necessariamente, o fator determinante para estes eventos.

Na realidade, observa-se que o fator determinante para os episódios de inundação na cidade de Vitória de Santo Antão, é a chuva que cai no próprio município de modo muito intenso e concentrado.

Verificou-se que, após o pico do evento, a linha de tendência do rio voltou a descer muito rapidamente, assim como ocorreu em todos os outros eventos de inundação. Isso demonstra e comprova a vocação natural da bacia para drenar a água e não permanecer alagada por um tempo que vá muito além da duração do evento chuvoso.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos sobre situações de risco ambiental são cada vez mais necessários para gerar dados que auxiliem o poder público a cumprir suas metas nacionais e agendas globais. Identificar os espaços urbanos sucetíveis ao risco é de fundamental importância para aumentar a segurança das pessoas e a resiliência das cidades diante das mudanças ambientais do planeta, que se apresentam cada dia mais extremas.

O presente estudo foi desenvolvido com a finalidade de identificar qual o valor do acumulado de chuva que poderia ser classificado como evento extremo para o município de Vitória de Santo Antão, acarretando com isso um risco iminente de inundação do rio Tapacurá. Ao analisar os dados referentes as inundações na cidade de Vitória de Santo Antão, destacaram-se os anos de 2022 e 2023 como relevantes dentro da série histórica de 2019-2023, dado que estes possuíam registros de eventos dessa natureza. A partir desse período, foram estudados cada um dos eventos de inundação registrados pela APAC através de dados de chuva e de rio.

Com base nos resultados das análises dos dados de cada uma das inundações registradas para o município de Vitória de Santo Antão, identificou-se que uma chuva moderada que apresente um acumulado acima dos 40mm, e que caia dentro de um intervalo de tempo de 24h, representa um risco de inundação do rio Tapacurá.

Ficou evidente também que a questão da curta duração dos eventos extremos e a intensidade com a qual a chuva se apresenta são os fatores que mais determinam a ocorrência de inundações na cidade. Outros fatores que incrementam as chances de inundações são: dias consecutivos que apresentem chuvas de nível fraca a moderada, propiciando uma saturação excessiva das coberturas sedimentares rasas da região; e chuvas moderadas no município à montante (Pombos). Esses dois fatores, de maneira isolada, não condicionam sozinhos um evento de inundação, mas, a partir do contexto de um evento extremo, eles certamente contribuem para a amplificação dos efeitos prejudiciais das inundações.

Outro achado importante desta pesquisa, que reforça a necessidade de monitoramento e de estudos constantes acerca do tema dos recursos hídricos, é a falha de dados na transmissão da PCD hidrológica do rio Tapacurá durante o evento de Inundação I. Equipamentos eletrônicos podem falhar, e nestes casos, as áreas sob risco não podem

prescindir de uma boa rede de dados e de informações para lidar com eventos extremos. Conhecimentos a cerca da relação entre chuvas moderadas e a elevação do nível do rio, aumentam as chances do poder público de enfrentar situações complexas com uma maior capacidade de resposta. Essas falhas do sistema de monitoramento automático terminam por evidenciar, na realidade, o quão importantes são as pesquisas e o monitoramento contínuo de condições ambientais e atmosféricas de uma região ou cidade, em face de situações de risco.

O investimento em educação ambiental e formação de profissionais preparados para criar e atuar em planos de contingência também parece ser de fundamental importância para aumentar a eficiência da resposta e a capacidade de resiliência do município.

Este estudo espera poder colaborar com o trabalho prático de salvaguarda das populações ribeirinhas e que seus dados possam auxiliar as equipes técnicas da APAC, da Prefeitura de Vitória de Santo Antão e da Defesa Civil do estado de Pernambuco no enfrentamento aos eventos extremos e às inundações.

REFERÊNCIAS

ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas de Vulnerabilidade a Inundações.** Brasília: ANA, 2014

APAC, Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Atlas Climatológico do Estado de Pernambuco - Normais Climatológicas 1991-2020** (2023). Disponível em: https://www.apac.pe.gov.br/images/webAtlas-Climatologico-do-Estado-de-Pernambuco-APAC.pdf. Acesso em: 11 set. 2024.

APAC, Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.** Disponível em: https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas-rio-capibaribe/162-bacias-hidrograficas-rio-capibaribe/193-bacia-do-rio-capibaribe. Acesso em: 30 out. 2023.

APAC, Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Relatório do Plantão Hidrológico 2019-2023**. Recife, 2024.

ARAGÃO, L, M; DUARTE, C. C. **Dinâmica climática, eventos extremos e impactos associados no município do Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, Brasil.** *In*: Revista Brasileira de Geografia Física, 2023, Recife., V.16, n. 02, pág. 818-836.

ARAÚJO, M. H. De.; NUNES, R. F. P. **Tapacurá: uma descrição das suas condições sanitárias e ambientais voltadas para o abastecimento de populações urbanas.** Trabalho de conclusão *lato sensu* em nível de especialização. Fundação Oswaldo Cruz, Recife. 2003. Disponível em: https://www.cpqam.fiocruz.br/bibpdf/2003araujo-mh.pdf. Acesso em: 22 nov. 2023.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

BRAGA, S. E; CALDAS, A. M.; RIZZI NETO, E.; SILVA, L. J. de S.; PERÔNICO, A. M. B. L.; WANDERLEY, R. A.; FREITAS, P. M. L. de.; LIMA, J. R. de.; CUNHA, C. R. R. O. da.; ABREU, B. S. **Conflito Ambiental de Uso do Solo na Bacia Hidrográfica do Tapacurá - PE**. *In*: Research, Society and Development, *[S. l.]*, v. 10, n. 2, p. e52310212833, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i2.12833. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/12833. Acesso em: 4 ago. 2024.

BRAGA, R. A. P. (Cod.). **Gestão ambiental da bacia do Tapacurá: Plano de ação.** UFPE/CTG/DECIVIL/GRH; Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2001.

CPRH, Agencia Estadual do Meio Ambiente. **Representação Gráfica dos Corpos d'Água da Bacia do Rio Capibaribe** (1996). Disponível em: https://www2.cprh.pe.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/mcapibaribe05.pdf. Acesso em: 30 out. 2023.

CPRH, Agência Estadual do Meio Ambiente. **Relatório Bacia Hidrográfica Capibaribe** (2018). Disponível em: https://www2.cprh.pe.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/relatorio_cb_18_3.3.pdf. Acesso em: 30 out. 2023.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo, SP Editora Edgard Blucher, 1980.

DEFESA CIVIL. **Histórico Institucional**, 2024. Disponível em: https://www.defesacivil.pe.gov.br/institucional/historico. Acesso em: 24 set. 2024.

DUARTE, C. C. **Análise dos impactos das mudanças climáticas no escoamento superficial da Bacia Hidrográfica do rio Tapacurá – PE, a partir da utilização do modelo de balanço hídrico mensal semi-distribuído.** Dissertação de mestrado (Pós Graduação de Geografia), PPGEO, Recife, UFPE, 2009.

DUARTE, C. C.; GALVÍNCIO, J. D.; CORRÊA, A. C. de B.; ARAÚJO, M. do S. B. de. **Análise Fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Tapacurá-PE.** *In*: Revista de Geografia, 2007, Recife. UFPE DCG/NAPA, V.24, n. 2, mai/ago.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FREIRE, J. L. M.; LIMA, J. R. A.; CAVALCANTI, E. P. **Análise de Aspectos Meteorológicos sobre o Nordeste do Brasil em Anos de El Niño e La Niña**. *In*: Revista Brasileira de Geografia Física 4(3), 429-444, 2011, UFPE. Disponível em: https://doi.org/10.26848/rbgf.v4i3.232719. Acesso em: 25 jun. 2023.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Monitoramento Oceânico** (2024). Disponível em: http://www.funceme.br/dashboard/ocean_monit. Acesso em: 10 set. 2024.

GUNKEL, G.; RUETER, K.; CASALLAS, J.; SOBRAL, M. do. C. **Estudos da Limnologia do Reservatório de Tapacurá em Pernambuco: Problemas da Gestão de Reservatórios no Semi-Árido Brasileiro**. *In*: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003, Curitiba. Disponível em: https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/154/531.pdf. Acessado em: 10 jul. 2024.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População em Áreas de Risco no Brasil** (2018). Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/21538-populacao-em-areas-de-risco-no-brasil.html. Acesso em: 25 ago 2024.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil** (2022). Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/uploads/normais/NORMAISCLIMATOLOGICAS.pdf. Acesso em 11 set. 2024.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2023 - Synthesis Report - A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf. Acesso em 16 set. 2024.

MIRANDA, M. R. B. de. **Análise da vulnerabilidade a inundações no médio curso do Rio Tapacurá Cidade de Vitória de Santo Antão - PE.** Dissertação de mestrado (Pós Graduação de Geografia), PPGEO, Recife, UFPE, 2015.

MIRANDA, M. R. B. de.; NETO, M. V. B.; JÚNIOR, E. M. M.; GIRÃO, O. **Análise do Perigo de Inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Tapacurá - PE**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2017, Campinas. Anais eletrônicos. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/323297477_Analise_do_perigo_de_inundacao_na_bacia_hidrografica_do_Rio_Tapacura_-PE#fullTextFileContent. Acesso em: 01 set. 2024.

MACHADO, P. J. de O.; TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira. **Introdução à Hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

MELO, C. de A. **População Ribeirinha do Tapacurá Sobre o Espaço Urbano de Vitória de Santo Antão - PE: qualidade de vida.** Dissertação de Mestrado (Gestão e Políticas Ambientais), MGPA, Recife, UFPE, 2006.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions** (2024). Disponível em: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf. Acesso em 10 set. 2024.

PERNAMBUCO. **Plano Hidroambiental da bacia Hidrográfica do rio Capibaribe**. Recife: Governo de Pernambuco, 2010.

PERNAMBUCO. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco**. Recife: Governo de Pernambuco/SECTMA, 1998.

PERNAMBUCO. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco**. Recife: Governo de Pernambuco, 2022. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1V_ygK3etpZ5-pH438e4Bw58YUfEwXfH8/view. Acesso em: 02 jan. 2024.

PFALTZGRAFF, P. A. S. **Mapa de Suscetibilidade a deslizamento na Região Metropolitana do Recife**. Tese de Doutorado em Geociências - UFPE, Recife, 2007.

PINTO, N. de S. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 2007.

RODRIGUES, D. T. **Análise de Eventos Extremos de Precipitação no Nordeste do Brasil**. Tese de Doutorado em Ciências Climáticas - UFRN, Natal, 2019.

SALGUEIRO, J. H. P de B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; OLIVEIRA, L. M. M. de. **Distribuição espacial das precipitações máximas diárias anuais como suporte às medidas estruturais de contenção de enchentes: estudo de caso da bacia do rio Una em Pernambuco.** *In*: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió. Anais eletrônicos. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/81/4bc2c474f5890010a720e8de851dbb43_7f3d6c5d1f08f695e0e0d70c6f4a4db5.pdf. Acesso em: 26/07/2023.

SALGUEIRO, J. H. P. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L. & MOURA, G. B. A. **As Precipitações Máximas e seus Tipos de Ocorrências Sobre as Diversas Altitudes de Pernambuco: uma abordagem Geoestatística do atual conhecimento em Pernambuco**. *In:* Anais do VIII Simpósio de Recursos hídricos do Nordeste, 2006, Gravatá, CD-ROM.

SANTOS, J. Y. G. dos.; NETO, J. G. de C.; SILVA, R. M. da S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, C. A. G. **Aplicação do modelo SWAT para a simulação chuva-vazão na bacia do rio Tapacurá, Estado de Pernambuco**. *In:* XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. Anais eletrônicos. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/305983377_Aplicacao_do_modelo_SWAT_para_a_simulacao_chuva-vazao_na_bacia_do_rio_Tapacura_Estado_de_Pernambuco#fullTextFileContent. Acesso em: 25 ago. 2024.

SRHS, Secretaria de Recursos Hídricos e Saneamento. **Plano Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.** Recife: Governo de Pernambuco - Secretaria de Recursos Hídricos, 2010.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS - ABRH, 2 ed., 1993.

VIEGAS, E. C. **Gestão da água e princípios ambientais**. Caxias do Sul: Educs, 2008.

VILELLA, S.M.; MATTOS, A. 1975. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill.