

ANÁLISE DOS CONDICIONANTES SINÓTICOS E DOS IMPACTOS RELATIVOS A EVENTOS PLUVIAIS EXTREMOS EM JUNHO DE 2019 E MAIO DE 2022 NA CIDADE DE RECIFE(PE)

Lillian Souza dos Anjos

Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Geografia, Recife, PE, Brasil
lillian.anjos@ufpe.br

Rafael Silva dos Anjos

Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Geografia, Recife, PE, Brasil
anjos.rsa@gmail.com

Lucas Suassuna de Albuquerque Wanderley

Instituto Federal de Alagoas, Campus Coruripe, AL, Brasil
lucas.wanderley@ifal.edu.br

Rodrigo Cesar Bezerra Bispo

Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Energia Nuclear, Recife, PE, Brasil
rodrigo.rcbb@gmail.com

Ranyére Silva Nóbrega

Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Geografia, Campina Grande, PB, Brasil
ranyere.silva@professor.ufcg.edu.br

RESUMO

Os eventos pluviais extremos são uma ameaça crescente para as áreas urbanas, pois estão relacionados a episódios de inundações e deslizamentos de terra. No município de Recife, localizado no estado de Pernambuco, fatores como as transformações urbanas e vulnerabilidades socioambientais agravam esses impactos. Assim, este estudo analisou os padrões, a gênese e os condicionantes de dois episódios críticos de precipitação extrema: o evento de maior intensidade da série histórica do CEMADEN e o episódio severo ocorrido em 2022. Foram utilizados dados de precipitação de postos distribuídos por toda a área de estudo para a classificação dos limiares diários de chuva e dos padrões espaciais dos episódios de chuvas extremas. A partir da análise de cartas sinóticas, foram identificados os sistemas atmosféricos atuantes em dias com ocorrência de eventos pluviais extremos. Os resultados apontam para uma maior influência dos Distúrbios Ondulatórios de Leste em episódios com maiores magnitudes, além da influência da topografia na distribuição espacial das chuvas, com maior concentração nas áreas de encostas. Observa-se que o entendimento dos padrões da precipitação é fundamental para o aprimoramento da gestão de riscos, e ações de adaptação às mudanças climáticas.

Palavras-chave: Clima urbano. Chuvas. Distúrbio Ondulatório de Leste. Direção dos ventos.

SYNOPTIC DRIVERS AND IMPACTS OF EXTREME RAINFALL EVENTS IN JUNE 2019 AND MAY 2022 IN RECIFE (PE), BRAZIL

ABSTRACT

Extreme rainfall events pose a growing threat to urban areas, as they are associated with flooding and landslides. In the municipality of Recife, in the state of Pernambuco, factors such as urban transformations and socio-environmental vulnerabilities exacerbate these impacts. This study analyzed the patterns, genesis, and driving factors of two critical extreme precipitation episodes: the most intense event in the historical CEMADEN records and the severe episode that occurred in 2022. Precipitation data from stations distributed across the study area were used to classify daily precipitation thresholds and spatial patterns of extreme rainfall episodes. Based on the analysis of synoptic charts, the atmospheric systems active on days with extreme rainfall events were identified. The results highlight the significant influence of Easterly Wave Disturbances on higher-magnitude episodes, as well as the role of topography in the spatial distribution of rainfall, with higher concentrations over hillside areas. Understanding precipitation patterns is essential for improving risk management and implementing climate change adaptation measures.

Keywords: Urban climate. Rainfall. Easterly Wave Disturbance. Wind direction.

INTRODUÇÃO

Os eventos climáticos extremos são vistos como uma das principais ameaças das mudanças climáticas (Castelhano, 2020). No que diz respeito ao clima urbano, os impactos desses eventos estão relacionados à ocorrência de fenômenos hidrometeorológicos ou termodinâmicos. No campo hidrometeorológico, eventos pluviais e alterações nos padrões de precipitação causam alagamentos, enchentes e inundações (Monteiro, 2003). Os impactos termodinâmicos estão associados a alterações no balanço de calor entre as superfícies e a atmosfera, causando fenômenos como ilhas de calor urbanas (Monteiro; Lima, 2024).

No contexto atual de mudanças climáticas, algumas grandes cidades no mundo e no Brasil estão expostas a diversas ameaças, e os impactos associados variam de acordo com suas características físicas e socioambientais (Fraga, 2024). Estudos de Rakuasa, Ria Karuna e Christi Latue (2024), Thaweeprawadej e Evans (2023) e Li et al. (2024) evidenciam que, nas últimas décadas, as transformações nas paisagens urbanas — como o aumento da impermeabilização, a verticalização do ambiente construído, a substituição de áreas verdes por edificações e a expansão desordenada — ampliaram a suscetibilidade das cidades, contribuindo, conseqüentemente, para o aumento da frequência de eventos climáticos extremos.

Os eventos pluviométricos extremos agravam os problemas urbanos, sobretudo em áreas com infraestrutura precária e ocupação irregular (Wanderley et al., 2021). No município do Recife, localizado no estado de Pernambuco, esses impactos se intensificam devido a um conjunto de fatores que envolvem aspectos físicos, como variações topográficas e densidade de corpos hídricos, questões de desigualdade social e ocupação de áreas ambientalmente frágeis (SANTOS, 2019; ANJOS, 2021; MENDES, 2021; MOREIRA, 2022). A combinação dessas condições com um território amplamente urbanizado, canais fluviais aterrados e a redução de áreas permeáveis faz com que o município enfrente inundações severas e deslizamentos de terra, principalmente no período chuvoso. Embora as chuvas intensas façam parte do regime climático da região, é a configuração atual da paisagem urbana que amplifica a severidade e os danos associados a esses eventos (Anjos, 2023).

As características físicas e socioespaciais do Recife, como variações topográficas, densidade de corpos hídricos, alta taxa de urbanização e impermeabilização do solo, associadas a desigualdades na ocupação do território, tornam sua população especialmente suscetível aos impactos das mudanças climáticas. De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), o Recife é a 16ª cidade mais exposta do mundo aos efeitos das mudanças climáticas, o que confirma a vulnerabilidade socioambiental de seus habitantes frente à desigualdade social, à ocorrência de eventos extremos e à elevação do nível do mar.

Os eventos pluviais extremos que ocorrem em Recife têm sua origem frequentemente relacionada a sistemas atmosféricos, como os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) e os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) (Vasconcelos et al., 2024). Os VCANs atuam principalmente no verão e produzem tempestades severas, com grande potencial de acumulação de chuva (Lyra et al., 2024). Já os DOLs atuam principalmente nas estações da primavera e do verão e são responsáveis por cerca de 60% da precipitação anual na costa leste do Nordeste brasileiro (Gomes et al., 2019). Nas últimas décadas, as chuvas extremas ocasionadas por esses sistemas atmosféricos têm representado um componente importante dos desastres geohidrológicos (deslizamentos de terra, enxurradas, alagamentos e inundações) na área urbana do Recife (Marengo et al., 2023).

Destaca-se a importância do desenvolvimento de estudos que analisem como distintos sistemas atmosféricos influenciam a intensidade e a distribuição espacial das chuvas extremas no Recife. Além disso, ressaltam-se as aplicabilidades de metodologias integradas que considerem tanto os fatores atmosféricos quanto os sociais envolvidos nos impactos desses eventos nos territórios afetados e na gestão de riscos.

Diante dos impactos relacionados, é necessário analisar quais condicionantes intensificam a magnitude e as consequências dos eventos pluviométricos extremos no Recife. A relação entre a ação dos sistemas atmosféricos, a urbanização e as características físicas, como a topografia e a proximidade com o oceano Atlântico, é importante para a compreensão da distribuição e da intensidade das chuvas. Estudos que aprofundem essas diferentes escalas e fatores são importantes para identificar padrões atmosféricos e espaciais que possam aprimorar as previsões e as ações de adaptação e mitigação dos riscos e impactos provocados por esses eventos.

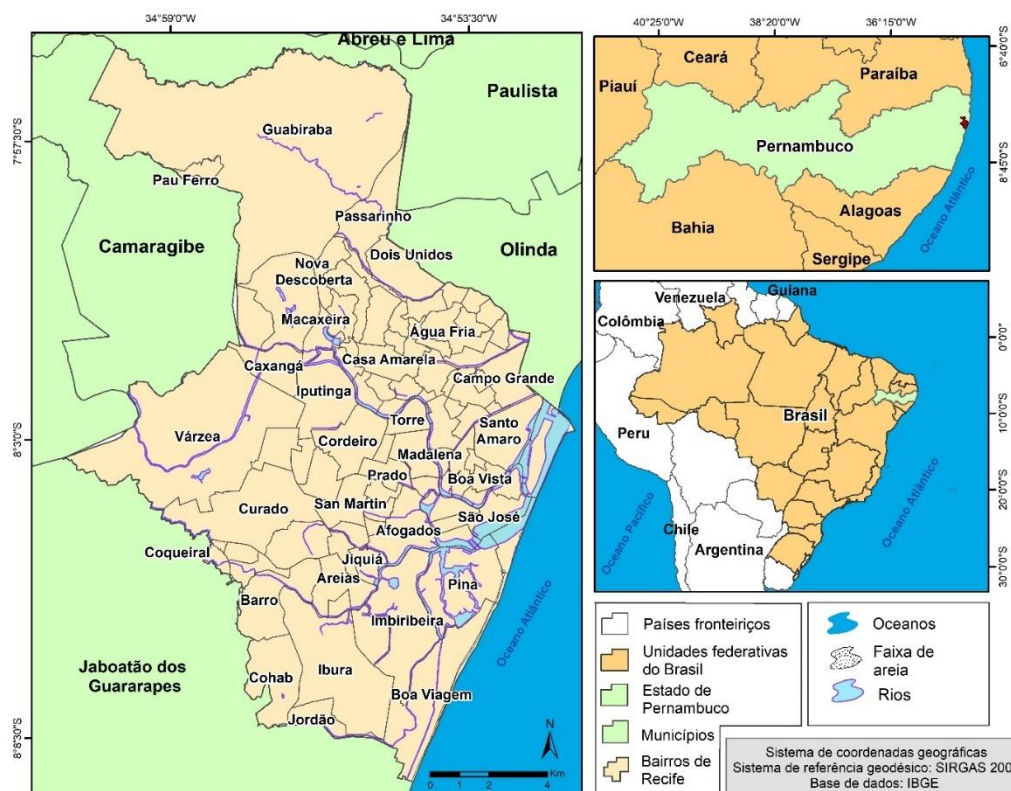
Assim, este estudo buscou analisar a gênese e os fatores condicionantes dos eventos de precipitação extrema no município de Recife, com o objetivo de identificar os sistemas atmosféricos que influenciam tais ocorrências e suas implicações socioespaciais. Para isso, adotou-se uma abordagem integrativa, no intuito de subsidiar o aprimoramento das políticas de gestão de riscos, adaptação urbana e resiliência climática. Neste artigo, optou-se por aprofundar a análise de dois episódios representativos: o evento de maior intensidade da série histórica do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN) e o episódio crítico de 2022. Essa seleção permite explorar tanto a magnitude quanto a atualidade dos impactos urbanos associados à intensificação dos extremos pluviométricos no contexto das mudanças climáticas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O município de Recife (Figura 1), capital do estado de Pernambuco, localiza-se no Nordeste do Brasil. De acordo com dados do censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), a população do Recife é de 1.488.920 habitantes. Sua densidade populacional é de aproximadamente 6.803,60 hab./km², distribuídos em 94 bairros e 1.954 setores censitários. Grande parte dos bairros do Recife está assentada sobre planícies fluviomarinhas, onde a ocupação urbana ocorreu sobre aterros de manguezais, alagados e restingas, o que contribui para uma maior vulnerabilidade a eventos hidro meteorológicos extremos.

Figura 1 - Localização do município do Recife, de acordo com estado e país



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Os rios atravessam todo o seu território (SILVA; MELO, 2017), fazendo com que a população tenha uma convivência inevitável com as águas. Essa convivência se torna desafiadora principalmente nas áreas em que as populações são socioeconomicamente vulneráveis e em que faltam sistemas eficientes de drenagem e infraestrutura adequada para lidar com volumes elevados de chuva,

especialmente durante o período chuvoso, que ocorre de abril a julho, com médias mensais de precipitação variando entre 250 e 380 mm. Com uma extensa rede hidrográfica, o município é banhado pelo Oceano Atlântico e possui manguezais e riachos, muitos dos quais foram progressivamente aterrados e canalizados durante o processo de urbanização.

O intenso processo de urbanização dos últimos anos agravou os problemas de ocupação e uso do solo, dificultando a drenagem das águas pluviais na área urbana. A alta taxa de impermeabilização impede a infiltração da precipitação, alterando seu volume e vazão, o que facilita a ocorrência de alagamentos e inundações (SOUZA; CORRÊA; SILVA, 2017). Dessa forma, o município apresenta uma estrutura urbana e ambiental vulnerável a grandes volumes de chuva.

Algumas características geomorfológicas e do solo de Recife favorecem a ocorrência de impactos socioambientais associados a eventos de chuvas intensas. Grande parte de seu terreno está situada em uma planície fluviomarinha, que é circundada por colinas e tabuleiros, com processos complexos de gênese e morfologia. Os problemas relacionados ao transporte de sedimentos, ao escoamento superficial das águas e à erosão costeira são bastante evidentes, e estão atrelados à dificuldade de se desenvolver soluções técnicas para uma infraestrutura adequada.

A historicidade da urbanização e da ocupação do solo são fatores importantes que delinearam uma paisagem socioeconômica marcada por intensos contrastes entre áreas valorizadas e periferias vulneráveis. A lógica do capital, como a atribuição de valor à terra, reforçada pelas condições ambientais e naturais do sítio urbano, influenciou as desigualdades sociais e os contrastes existentes hoje (Castro, 2013). Fatores socioeconômicos influenciam os padrões espaciais de cobertura e uso da terra no Recife, com maior valorização econômica de algumas áreas, como os bairros próximos ao mar — a exemplo de Boa Viagem e Pina —, e da parte da planície da zona norte. Em contraste, alguns bairros apresentam alta densidade habitacional e pouca infraestrutura urbana, principalmente os localizados nas colinas e tabuleiros da zona norte do Recife (Anjos, 2021).

Coleta de dados

A série de precipitação utilizada para a análise da distribuição espacial da chuva foi composta por dados horários coletados em 14 postos do CEMADEN no município do Recife, com registros consistentes a partir de 2018. Essa escolha se deve à maior cobertura espacial da rede e à disponibilidade de dados atualizados em tempo real. Embora os dados estejam disponíveis desde 2015, apenas a partir de 2018 foi possível observar uma estabilidade suficiente para garantir a confiabilidade das séries temporais.

A seleção dos episódios levou em consideração a intensidade e os impactos severos, incluindo o evento de maio de 2022, um dos mais extremos já registrados na cidade.

Para compreender os padrões atmosféricos relacionados à ocorrência de eventos pluviométricos extremos, foram utilizadas cartas sinóticas dos dias dos eventos, da plataforma web do Centro de Hidrografia da Marinha, às 0h e às 12h, bem como imagens do satélite Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES) 16, do canal 11 e da banda de infravermelho de 8,5 μm , para os mesmos horários, retiradas da plataforma web do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC).

Para complementar a análise espacial dos eventos extremos de precipitação e investigar a relação do elemento climático vento com a gênese e o desenvolvimento desses eventos, foram utilizados os dados horários de direção e velocidade do vento da estação do aeroporto internacional Gilberto Freyre, localizado no bairro da Imbiribeira, concedidos pelo instituto de controle do espaço aéreo (ICEA).

Para extrair informações das feições mapeadas e da representação altimétrica das encostas e das áreas verticalizadas, utilizou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) e o Modelo Digital de Superfície (MDS), pois permitiram uma análise detalhada das variáveis do relevo. Os dados foram obtidos no programa Pernambuco Tridimensional (PE3D), uma base de dados espaciais que subsidia análises precisas, principalmente quando o assunto é o detalhamento do terreno.

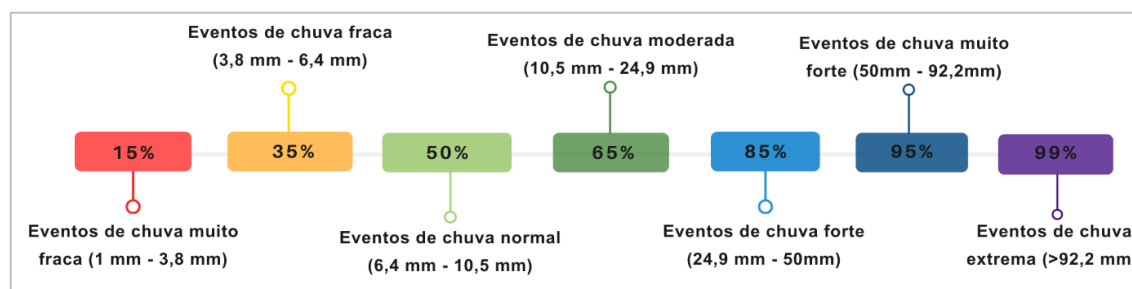
Para compreender como o município do Recife e sua população são impactados por eventos de chuva extrema, dois episódios representativos foram selecionados para análise espacial e qualitativa, com foco na distribuição dos volumes de precipitação e nas áreas mais afetadas. Esses episódios foram os de 13 de junho de 2019 e 28 de maio de 2022, ambos registrados pelo CEMADEN. Para investigar e

descrever os impactos, foram coletadas informações nos dias dos eventos por meio de jornais locais, como o Diário de Pernambuco e o Jornal do Comércio. No caso do evento de 28 de maio de 2022, também foram utilizados dados da Defesa Civil do Recife, que forneceu o número de óbitos decorrentes das chuvas e os bairros correspondentes. A inclusão desse segundo evento, mesmo fora do intervalo principal da série histórica analisada (2018-2021), justifica-se por sua magnitude excepcional e pelos danos significativos registrados, permitindo aprofundar a leitura espacial da suscetibilidade urbana frente a eventos extremos.

Metodologia

A definição de “chuva extrema” utilizada neste artigo foi baseada na aplicação da Técnica dos Quantis à série histórica de precipitação diária do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com dados de 1962 a 2021, totalizando 60 anos para o município do Recife. A partir dessa série, foram estabelecidos limiares estatísticos específicos para as categorias de intensidade de chuva (Xavier; Xavier, 1974; Xavier, 2007). Os eventos classificados como “extremos” correspondem aos dias com precipitação igual ou superior ao percentil 99 ($p \geq 0,99$), conforme detalhado na Figura 2.

Figura 2 - Limiares de precipitação definidos para série histórica através da Técnica dos Quantis



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Inicialmente, foram analisados os dados de precipitação dos postos do CEMADEN para o município do Recife considerando os períodos anuais, mensais, diários e horários entre 2018 e 2021. Esse recorte recente foi utilizado para identificar os horários de maior frequência e intensidade das chuvas, com o objetivo de subsidiar a compreensão dos padrões intradiários de precipitação na cidade.

Em seguida, dois eventos foram selecionados para análise espacial: o maior registro diário de precipitação da série do CEMADEN entre 2018 e 2021, ocorrido em 13 de junho de 2019, e o evento de 28 de maio de 2022, incluído por sua expressiva magnitude e pelos impactos significativos no município do Recife. Embora esse segundo episódio não integre a série histórica originalmente delimitada, sua incorporação justifica-se pelo valor analítico na compreensão da distribuição espacial de eventos extremos recentes. Ambos os episódios foram espacializados para investigar os padrões de acumulação pluviométrica e os setores urbanos mais afetados.

Essa espacialização foi feita utilizando o software ArcGis PRO, com licença do grupo de pesquisa TROPOCLIMA UFPE, por meio do método do Inverso da Distância Ponderada (IDW), uma das técnicas geoestatísticas de interpolação mais utilizadas para pontos bem distribuídos espacialmente. A interpolação por meio do IDW utiliza uma combinação linear ponderada dos pontos amostrados para determinar os valores de cada ponto (Anjos, 2017), a partir do princípio da dependência espacial. Segundo Anjos, Candeias e Nóbrega (2017), o método IDW é comumente mais assertivo na distribuição da precipitação, pois mostra diferenciações locais sem levar em conta tendências gerais. Esse método é usado em análises espaciais para estimar valores em locais desconhecidos com base em medições conhecidas em locais próximos.

Os mapas interpolados dos dias dos eventos extremos de precipitação diária foram utilizados para identificar os locais mais impactados, que concentraram os maiores totais de chuva. Além disso, foi feita a caracterização climática e a análise sinótica a partir das cartas sinóticas da Marinha do Brasil e

das imagens do satélite GOES às 0h e às 12h do dia do evento, com base nos boletins do CPTEC/INPE e na revisão bibliográfica sobre os principais sistemas atmosféricos atuantes em Recife. O objetivo da análise foi averiguar a existência de possíveis padrões sinóticos responsáveis pela gênese e intensidade dos eventos pluviométricos de grande magnitude em Recife. A revisão bibliográfica auxiliou na identificação e na relação dos condicionantes que influenciam a intensificação dos eventos extremos no sítio urbano de Recife e suas distribuições espaciais.

Por meio da linguagem de programação R, os dados de vento foram tratados e organizados. Isso possibilita o uso de uma série de técnicas estatísticas, de modelagem e de tratamento de dados de séries temporais de maneira facilitada a partir de softwares livres que utilizam pacotes com a linguagem R (BITTENCOURT; BARROS; ALBINO, 2019). Com isso, foi possível confeccionar a rosa dos ventos no software livre WRplot View, mostrando a direção e a velocidade do vento para o evento do dia 13 de junho de 2019. A rosa dos ventos para o evento do dia 28 de maio de 2022 não pôde ser confeccionada devido à indisponibilidade de dados.

Para cada evento, foi realizada uma análise horária (madrugada, manhã, tarde e noite), no intuito de entender a distribuição horária das chuvas e sua relação com a atuação dos sistemas e da intensidade dos impactos. Além disso, através dos jornais locais como o Diário de Pernambuco e Jornal do Comércio, constatou-se se houve impactos associados a tais eventos, e quais foram esses impactos. Para o evento de maio de 2022, foram comparados os dados sobre o número de óbitos decorrentes de chuvas extremas no município e os bairros correspondentes, sendo estes espacializados.

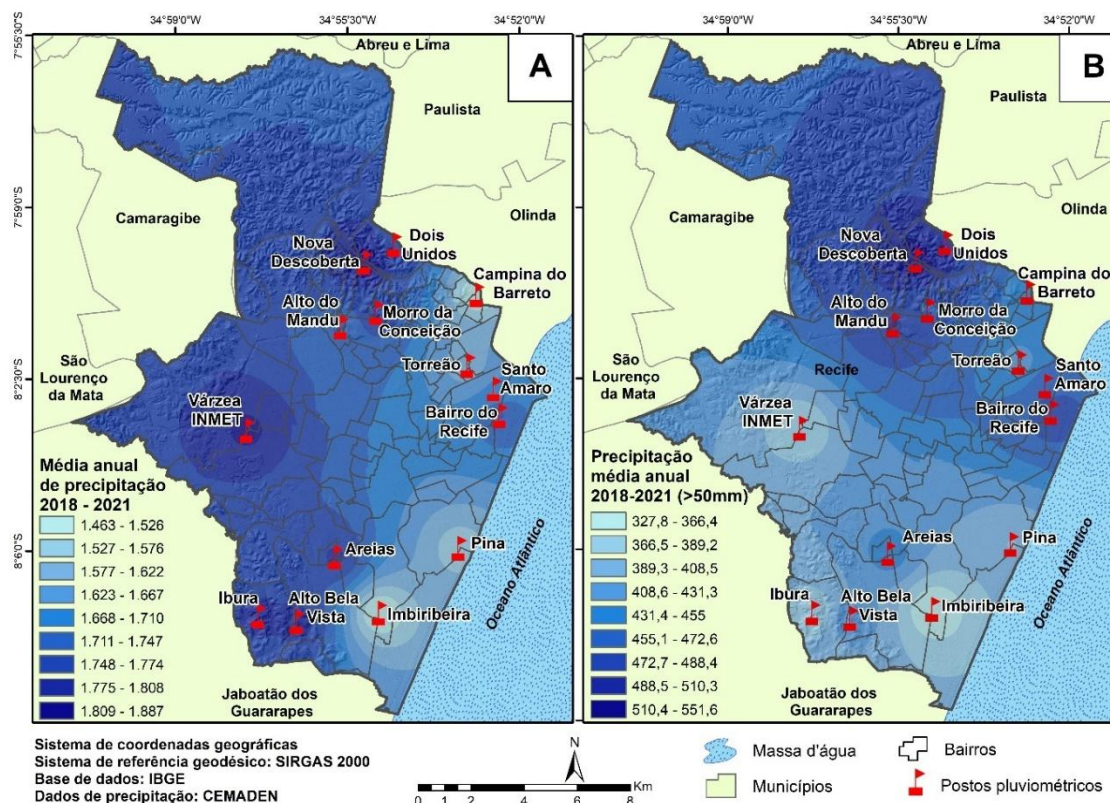
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Distribuição anual e mensal da precipitação entre 2018 e 2021

As médias anuais da precipitação foram espacializadas para os postos distribuídos no município do Recife (Figura 3). Os valores médios de precipitação anual variaram entre 1.463 mm e 1.887 mm, com variações médias de 100 mm e 300 mm. É possível notar variações espaciais na média anual de precipitação entre 2018 e 2021. Os postos da Várzea (INMET) apresentaram um dos maiores totais de chuva nesse período. Entre os postos do CEMADEN, o de Nova Descoberta se destaca, seguido pelos postos de Ibura, Alto da Bela Vista, Areias, Dois Unidos, Morro da Conceição e Bairro do Recife (Figura 3). A distribuição dos valores médios anuais mostra que os maiores volumes de chuva se concentram na zona norte, oeste e sudoeste do município.

Já na Figura 3B, são apresentados os totais médios anuais apenas dos eventos diários de chuva iguais ou superiores ao quantil 95% (chuvas > 50 mm). A partir da média espacial desses eventos, observa-se que os maiores acumulados se concentram predominantemente na zona norte e em parte da zona leste do município do Recife.

Figura 3 - Distribuição espacial da precipitação média anual (A) e (B) Somatório médio anual de eventos diários de chuva iguais ou superiores a 50 mm entre 2018 e 2021, no município de Recife, Pernambuco, Brasil



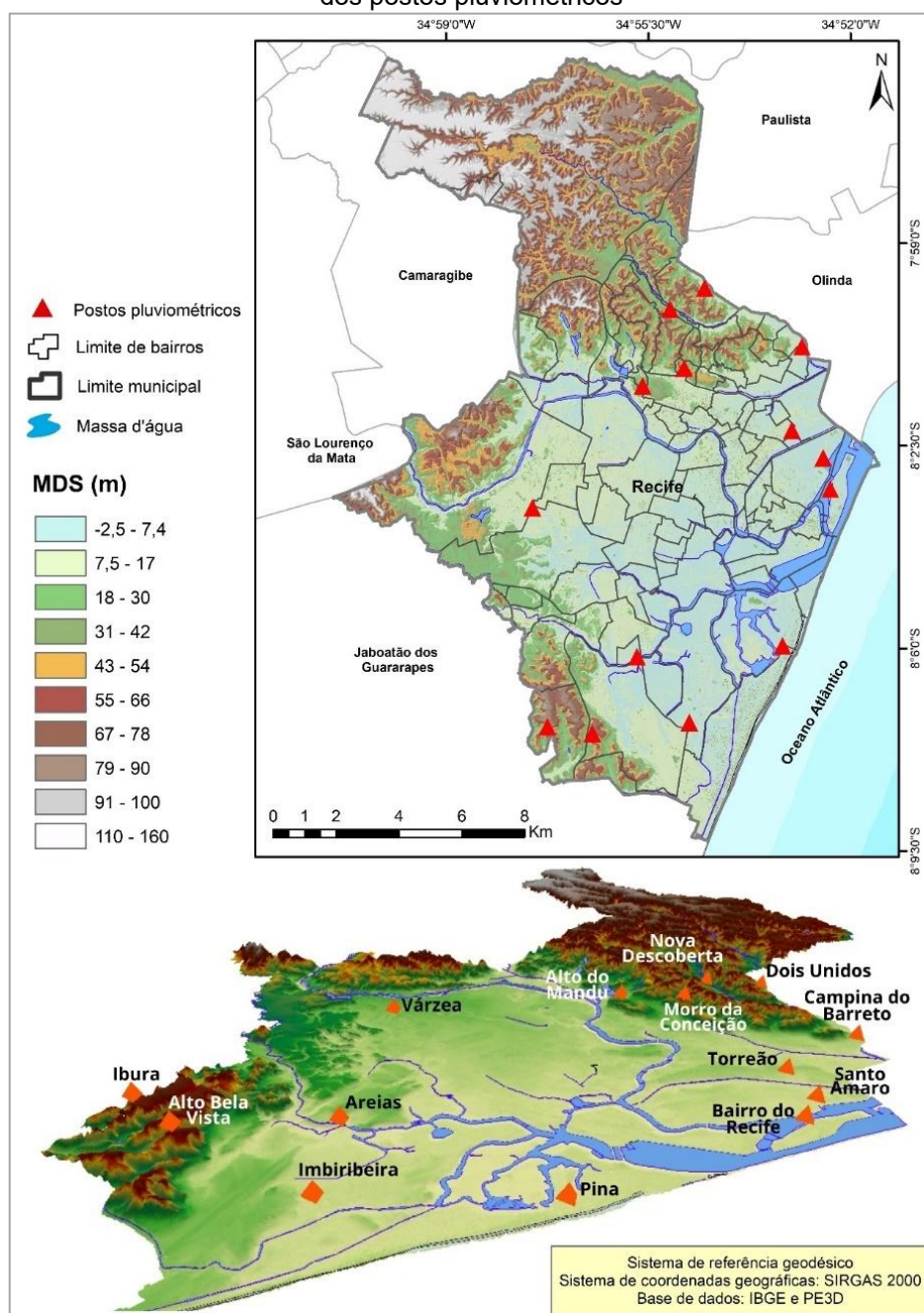
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Os postos de Nova Descoberta, Dois Unidos, Alto do Mandu e do Bairro do Recife, foram os que registraram os maiores volumes de média anual das chuvas acima de 50 mm. Isso é um sinal de alerta de que essas áreas merecem ainda maior atenção no que diz respeito aos possíveis impactos de eventos extremos de precipitação.

Essa variabilidade das chuvas no município está associada às suas características físicas e ambientais, como evidenciaram Anjos et al. (2020). Os autores identificaram que o relevo, a direção predominante dos ventos, a orientação das encostas e os tipos de chuva são responsáveis por influenciar a distribuição espacial da precipitação. Eles também identificaram um aumento da precipitação no sentido SE-NO entre 2018 e 2021. Anjos et al. (2020) encontraram padrões semelhantes entre 2015 e 2018.

O mapa hipsométrico do Recife (Figura 4) permite observar a relação entre o relevo e a localização dos postos pluviométricos monitorados no município com auxílio da visão tridimensional. Destacam-se os postos localizados em Nova Descoberta, Dois Unidos, Alto do Mandu e Bairro do Recife, que apresentaram os maiores volumes de precipitação média anual, com valores superiores a 50 mm. Esse padrão pluviométrico é um sinal de alerta para essas regiões, pois sugere maior vulnerabilidade à ocorrência de eventos extremos de chuva, que podem desencadear impactos socioambientais significativos, como inundações, alagamentos e deslizamentos de encostas.

Figura 4 - Mapa hipsométrico do município do Recife, com destaque para visão em 3D e localização dos postos pluviométricos

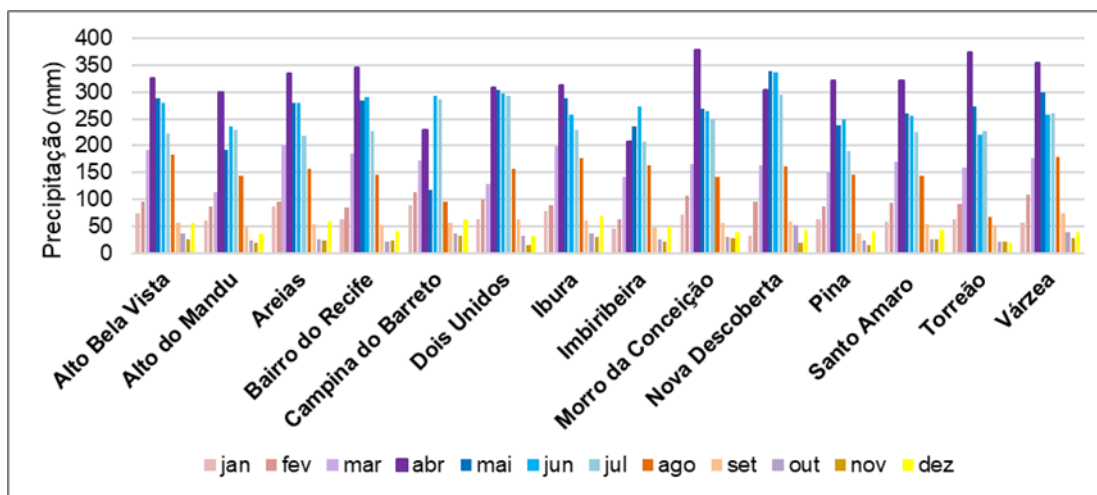


Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Quanto à concentração de precipitação superior a 50 mm em áreas próximas às encostas e de maior altitude, alguns autores, como Correa e Galvani (2016), afirmam que a precipitação tende a aumentar à medida que a altitude também aumenta. Em Recife, no entanto, essas características podem ser influenciadas pelo sistema atmosférico atuante, o que pode ocasionar diferentes tipos de chuva. Os DOLs estão frequentemente associados a um maior percentual de chuvas convectivas, enquanto as brisas marítimas podem favorecer a formação de chuvas estratiformes. Entretanto, segundo Anjos (2016), os tipos de chuva podem ocorrer simultaneamente, especialmente quando há uma combinação de sistemas atmosféricos. Nesse sentido, as brisas marítimas funcionam como um sistema intensificador no desenvolvimento e na atuação dos DOLs, aumentando as chances de ocorrência de chuvas mais intensas e amplamente distribuídas no município.

Entre 2018 e 2021, os meses mais chuvosos, na média, foram abril, maio, junho e julho, com destaque para abril em quase todos os postos, exceto em Campina do Barreto, Imbiribeira e Nova Descoberta, em que as médias foram maiores de abril a julho (Figura 5).

Figura 5 - Média mensal de precipitação dos postos pluviométricos entre 2018 e 2021



Fonte: CEMADEN (2021). Elaborado pelos autores (2023).

Os postos com as maiores médias mensais foram os de Morro da Conceição, Torreão e Várzea, todos no mês de abril. Já os meses com as menores médias foram outubro e novembro, com destaque para as médias de novembro dos postos do Pina e Dois Unidos. Quanto aos totais mensais, alguns meses se destacaram por apresentarem precipitação muito acima da média para o mês. Por exemplo, em junho de 2020, foram registrados 1.055,3 mm no posto do Alto do Mandu e 659,54 mm no posto de Nova Descoberta, enquanto a média climatológica de junho, segundo dados do INMET, é de 388,3 mm (Tabela 1).

Tabela 1 - Maiores totais mensais entre 2018 e 2021 em comparativo com as médias mensais históricas

Ano	Posto	Mês	Precipitação (mm)	Climatologia (mm)
2020	Alto do Mandu	junho	1055,3	388,3
2018	Nova Descoberta	Abril	661,48	299,6
2020	Nova Descoberta	junho	659,54	388,3
2018	Alto Mandu	Abril	637,62	299,6
2018	Dois Unidos	Maio	627,99	330,4
2018	Torreão	Junho	610,55	388,3

Fonte: CEMADEN e INMET (2021). Elaborado pelos autores (2023).

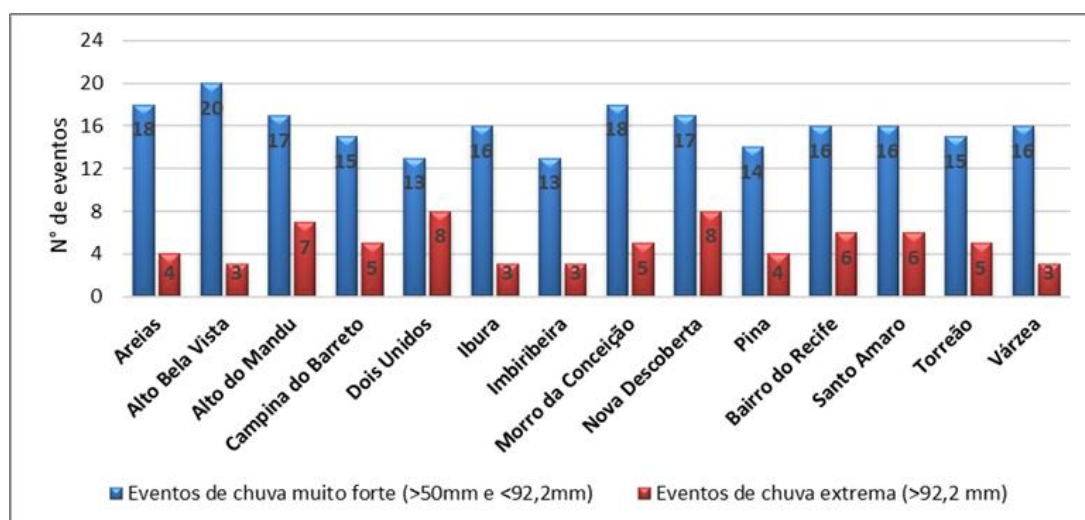
Outros meses de destaque com precipitações mensais acima da média histórica em todos os postos durante o período, foram abril de 2018, junho e julho de 2019 e junho de 2020. O mês de julho de 2020 apresentou um total mensal acima da média apenas no posto de Nova Descoberta, com 454,41 mm, evidenciando, mais uma vez, a variação das chuvas em Recife em suas diferentes escalas temporais.

Quantificação por posto pluviométrico dos eventos extremos de precipitação diária e caracterização horária associada aos tipos de chuva em Recife

A partir da definição dos limiares de chuva, foi possível identificar a quantidade de eventos de chuva muito forte e de chuva extrema diária em postos pluviométricos entre 2018 e 2021. O posto com a maior quantidade de eventos diários de chuva muito forte (entre 50 mm e 92,2 mm) foi o do Alto da Bela Vista, com um total de 20 eventos. Já os postos com a maior quantidade de eventos de chuva extrema (> 92,2 mm) foram os de Dois Unidos e Nova Descoberta, com 8 eventos cada.

É importante destacar que esses postos pluviométricos estão próximos a uma grande quantidade de áreas de risco, com declividades acentuadas e proximidade aos sopés das encostas. Além disso, são bairros em que grande parte da população vive em condição socioeconomicamente vulnerável, com pouca infraestrutura urbana. Ademais, todos os postos registraram eventos de chuva extrema (acima de 92,2 mm) durante o período, o que evidencia a recorrência de tais fenômenos e a necessidade de repensar a cidade, principalmente em relação aos elementos que podem estar em inconformidade com os impactos associados a eventos climáticos desse porte.

Figura 6 - Quantidade de eventos de chuva muito forte e extrema nos postos pluviométricos do município de Recife entre 2018 e 2021



Fonte: CEMADEN (2022). Organizado pelos autores (2023).

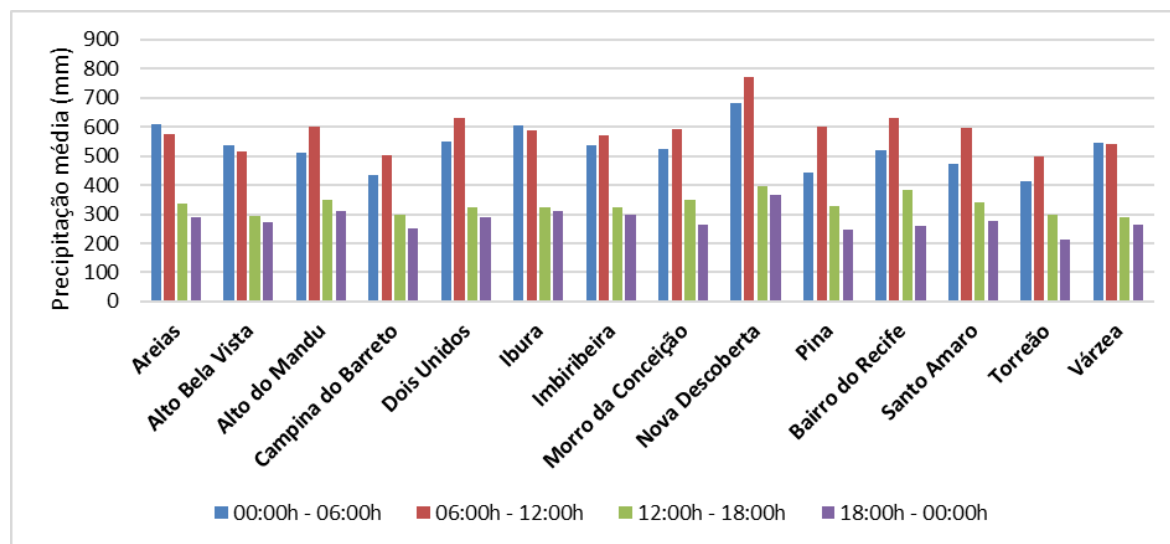
A diferenciação na distribuição espacial das chuvas e na quantidade de eventos por postos pluviométricos está associada também aos sistemas atmosféricos atuantes e à sua combinação com os fatores geográficos e climáticos locais. Estudos sobre os tipos de chuva em Recife podem explicar por que a maior quantidade de precipitação média horária no município ocorre durante a madrugada, entre 00h e 6h, e pela manhã, entre 6h e 12h (Figura 7).

Essa condição está associada à quantidade de chuvas estratiformes que ocorrem no litoral, influenciadas pela brisa marítima. Isso contribui para um delineamento mais acentuado das chuvas nas áreas próximas às encostas e regiões de maior altitude, devido ao maior desenvolvimento horizontal característico desse tipo de chuva. No entanto, quando atuam isoladamente, as brisas marítimas geralmente não geram instabilidade atmosférica suficiente para romper a resistência da camada de inversão térmica e produzir convecção profunda. Para isso, é necessária a interação com outros sistemas atmosféricos, como os DOLs. Ainda assim, por atuarem durante a madrugada e o início da manhã, especialmente nos meses mais úmidos, mas durante todo o ano em Recife, as brisas marítimas podem exercer influência significativa na concentração média horária das chuvas. Isso ocorre porque, à noite, a superfície terrestre esfria mais rapidamente do que o oceano, criando um gradiente térmico que favorece a penetração da brisa em direção ao continente. Ao encontrar o ar mais frio e úmido próximo à superfície, a brisa pode induzir a formação de nuvens do tipo estratiforme, mais comuns

nesse período. Isso ajuda a explicar por que há maior frequência de chuvas nas primeiras horas do dia e uma predominância de chuvas estratiformes no município.

Anjos et al. (2016).

Figura 7 - Distribuição da média horária da precipitação entre 2018 e 2021 no município do Recife



Fonte: CEMADEN (2021). Elaborado pelos autores (2023).

Outro fator determinante para a intensificação dos eventos extremos no Recife é a presença de sistemas atmosféricos, como os DOLs, durante todo o dia. Contudo, é durante a madrugada e a manhã que, em combinação com o sistema das brisas marítimas, esses distúrbios tendem a ocasionar volumes ainda mais significativos de precipitação. Ao realizarem um estudo sobre a distribuição espaço-temporal dos tipos de chuva em Pernambuco, Anjos et al. (2016) identificaram que, na parte litorânea do estado, as chuvas convectivas ocorrem em menor proporção em relação às chuvas estratiformes. Essas últimas estão mais associadas a sistemas atmosféricos, como os próprios DOLs, que formam nuvens mais carregadas e frias, com topos elevados, devido ao seu maior potencial de desenvolvimento vertical. A associação entre os DOLs e as brisas marítimas é fundamental para a intensificação dos volumes de precipitação em Recife, especialmente durante a madrugada e o início da manhã.

Portanto, as chuvas que ocorrem durante a madrugada e o início da manhã em Recife estão frequentemente associadas à ação conjunta das brisas marítimas e de sistemas como os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs). As brisas, por atuarem ao longo de todo o ano, favorecem a umidificação da baixa atmosfera e podem intensificar a ação dos DOLs durante a estação chuvosa, contribuindo para o aumento dos volumes pluviométricos nesses horários. Embora os DOLs estejam concentrados nos meses mais úmidos, o papel contínuo das brisas ajuda a explicar o padrão horário observado. Esse comportamento está em consonância com os achados de Anjos et al. (2016), que identificaram uma predominância de chuvas estratiformes em Recife, associadas a sistemas atmosféricos com desenvolvimento vertical menos acentuado, mais comuns no período noturno e matutino.

As chuvas convectivas são mais facilmente identificadas através das imagens de satélite do infravermelho, enquanto as chuvas estratiformes são vistas com maior dificuldade por serem nuvens com pouco desenvolvimento vertical, tendo temperaturas mais elevadas do que aquelas com características cumuliformes. Esse problema foi identificado na investigação da distribuição dos tipos de chuva através do satélite TRMM pelos autores Anjos et al. (2016) e é um dos fatores que pode dificultar o monitoramento dos tipos de chuvas associadas ao sistema em atuação por meio das imagens de satélite, além de um possível padrão espacial de distribuição da precipitação associado ao tipo de chuva.

O padrão de distribuição das chuvas estratiformes, que possuem um maior desenvolvimento horizontal, tende a favorecer sua incidência em áreas de maior altitude ou próximas aos sopés das encostas. Embora estas chuvas, em geral, apresentem menor intensidade quando comparadas às chuvas convectivas, sua maior abrangência espacial pode resultar em uma acumulação significativa de água nessas áreas ao longo do tempo. Esse acúmulo, associado à saturação do solo, contribui para aumentar a ocorrência de deslizamentos de terra nessas áreas, especialmente em períodos com probabilidade alta de precipitação acumulada ou quando combinado com outros fatores ambientais.

Análises sinóticas e distribuição espacial dos eventos extremos

Foram identificados os dois maiores eventos de precipitação diária entre 2018 e 2021 e estes podem ser vistos na Tabela 2. Os postos do Bairro do Recife e UR3 Ibura foram os que apresentaram os maiores volumes diários de chuva. O maior registro diário foi de 13 de junho de 2019, no posto do Bairro do Recife com 230,2 mm.

Tabela 2 - Postos com registros máximos em dias de eventos extremos e totais pluviométricos (mm)

Data	Posto	Total (mm)
13/06/2019	Bairro do Recife	230,2 mm
28/05/2022	UR3 Ibura	212,8 mm

Fonte: CEMADEN (2022). Elaborado pelos autores (2023).

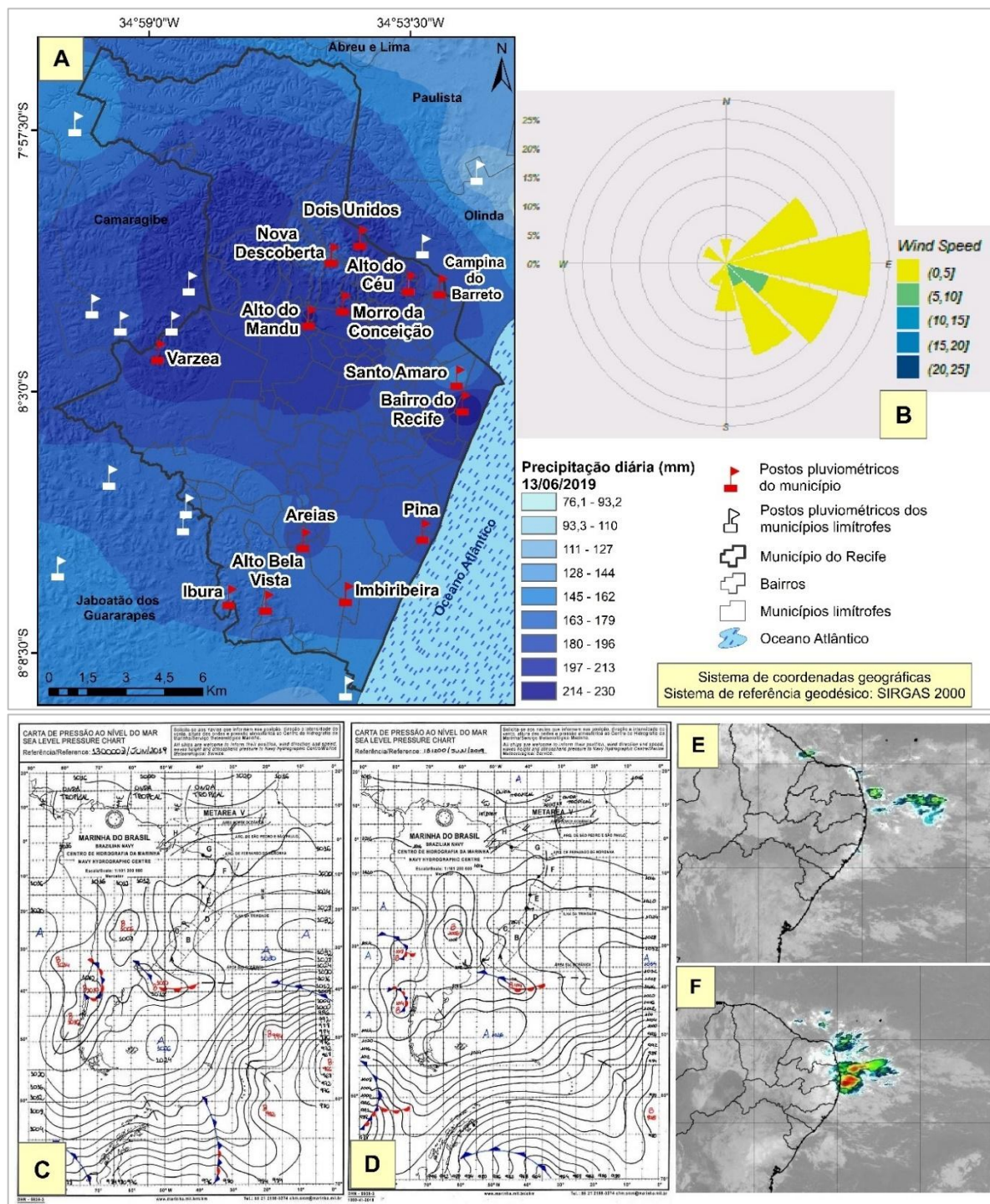
Evento do dia 13 de junho de 2019

A partir das observações das cartas sinóticas das 00:00h e 12:00h (Figura 8 – C e D), é possível notar a existência de cavados nas proximidades do litoral do Nordeste. Esses cavados são apresentados com tracejados próximos ao campo F das cartas sinóticas, nas proximidades do litoral de Pernambuco e Paraíba, e estão associados ao sistema de DOL, podendo ser vistos nas imagens do satélite GOES 16 no campo do infravermelho termal (Figura 8 – E e F).

A Alta subtropical do Atlântico Sul (ASAS) é responsável pelo escoamento em grande parte do país, com um padrão de circulação que favorece ventos perpendiculares na costa leste do Nordeste do Brasil, contribuindo para a alta nebulosidade e para as chuvas na região. A responsabilidade pela nebulosidade e chuvas de intensidade moderada, e por vezes localmente forte, como ocorreu em Recife, foi do escoamento de leste e sudeste associado ao cavado invertido em superfície e o cavado em altitude. É especificado que os acumulados ocorreram entre a costa de Pernambuco e Paraíba.

Ao observar a espacialização das chuvas no dia 13 de junho (Figura 8 – A), nota-se uma maior concentração da precipitação na parte setentrional, oeste e leste do município. O maior total diário foi registrado no posto do bairro do Recife, área central da cidade e localizado na área da planície, em seguida dos postos localizados nos bairros como Alto do Mandu, Alto do Céu e Morro da Conceição, estes encontrados mais próximos as áreas de tabuleiros e/ou encostas. Essa concentração diária das chuvas pode ser explicada pela direção e velocidade dos ventos no dia do evento, ocorrendo principalmente de leste/sudeste com velocidade variando de 5 a 10 m/s (Figura 7 – B). Outro fator que favoreceu essa configuração das chuvas espacialmente, se dá pela atuação do sistema de DOL, em que nas imagens de satélite é possível observar que a banda de nuvens se encontra na parte mais ao norte do litoral pernambucano e no sul do litoral da Paraíba, desencadeando mais chuvas nestas localidades, e um menor volume das chuvas na parte ao sul.

Figura 8 - Espacialização da precipitação diária em Recife-PE (A); Rosa dos ventos (B); Cartas sinóticas das 00h (C) e 12h (D); Imagens do satélite Goes 16 de 800 HPa das 00h (E) e 12h (F) do dia 13/06/2019



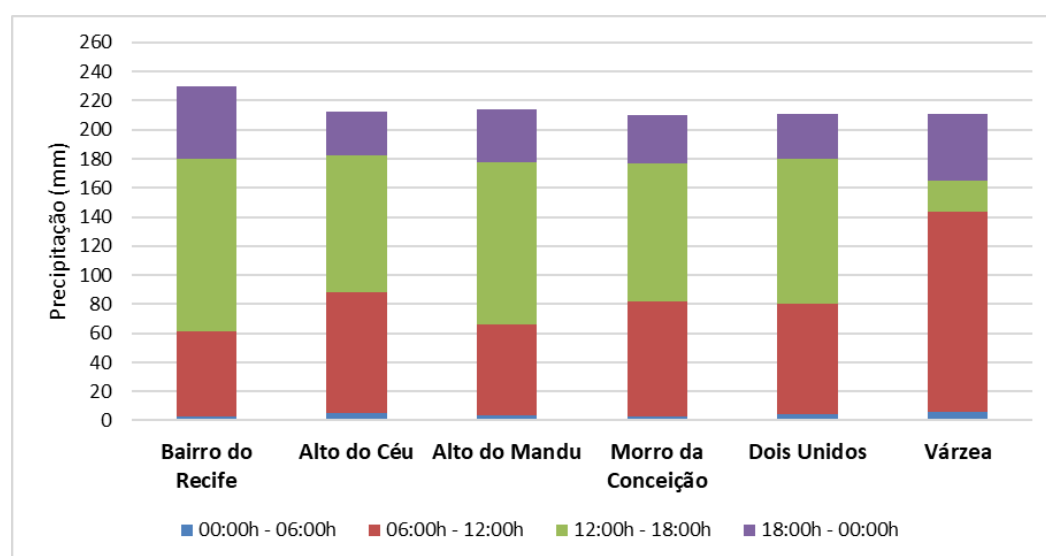
Fonte: CEMADEN, Marinha do Brasil e CPTEC/INPE (2022). Elaborado pelos autores (2023).

As chuvas se concentraram com maior intensidade no período da tarde, das 12h às 18h, conforme observado no gráfico da Figura 9, que mostra a distribuição diária periódica dos postos com maiores volumes de precipitação no dia 13 de junho. A exceção é o posto pluviométrico da Várzea, em que a chuva teve maior intensidade no período entre 6h e 12h. Essas informações corroboram as análises

sobre os tipos de chuva em Recife, pois há maior influência da brisa marítima no período da manhã, associada às chuvas estratiformes e sua relação com o relevo. O posto da Várzea está muito próximo aos sopés das encostas a sotavento, voltadas para a direção predominante dos ventos.

Quanto aos maiores volumes concentrados no período da tarde, nota-se uma maior influência do sistema a partir das 12h, conforme observado na imagem de satélite da Figura 8-F, com a formação de nuvens de topos elevados e temperaturas muito baixas, associadas à forte atividade convectiva. Essas nuvens atuam com maior força do centro ao norte do município do Recife e, como mencionado anteriormente, explicam a maior concentração de volumes de chuva nos postos pluviométricos da zona norte do Recife.

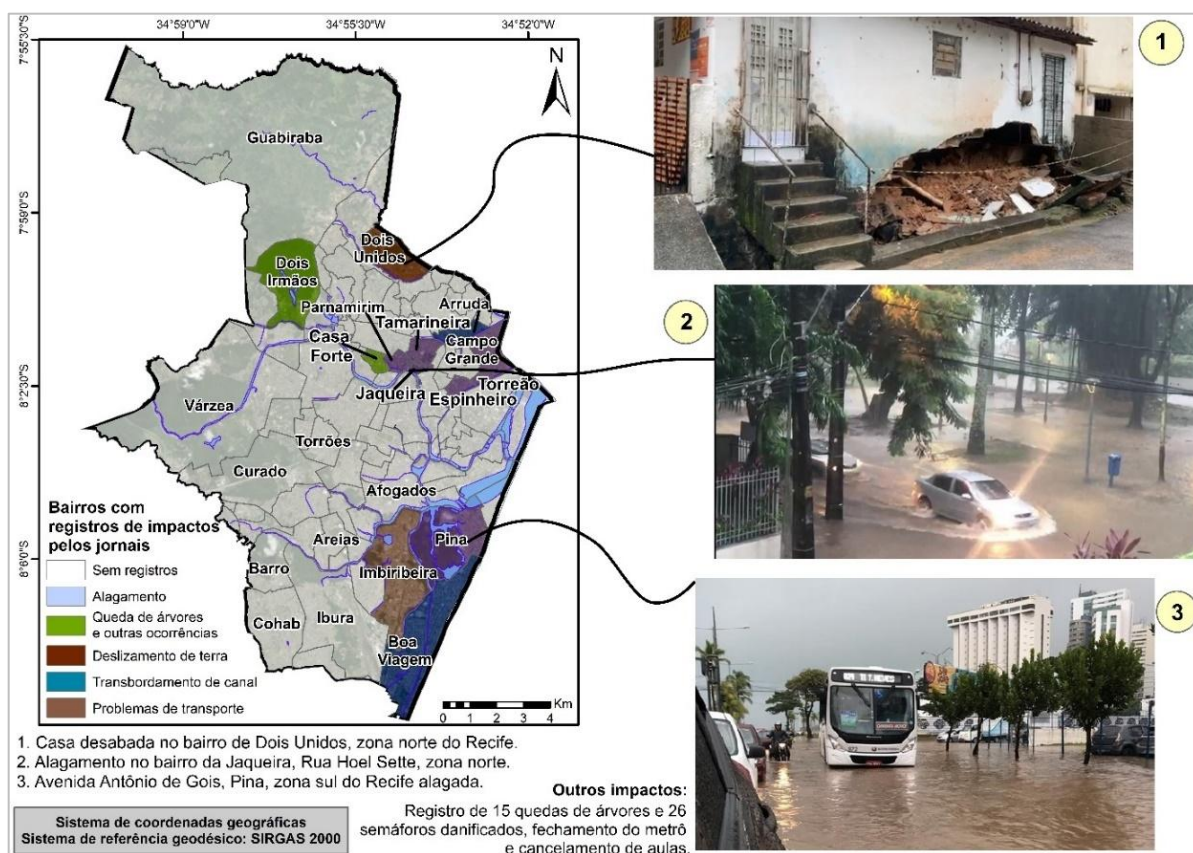
Figura 9 - Distribuição periódica da precipitação nos postos com os maiores volumes de chuva no dia 13 de junho de 2019



Fonte: CEMADEN (2021). Elaborado pelos autores (2023). Elaborado pelos autores (2023).

Essa distribuição das chuvas esteve associada à distribuição dos impactos. Os jornais locais destacaram os bairros com maior número de ocorrências, que foram: Dois Irmãos, Dois Unidos, Casa Forte, Parnamirim, Tamarineira, Arruda, Campo Grande, Torreão, Espinheiro e Jaqueira, na parte norte, e Imbiribeira, Pina e Boa Viagem, na zona sul (Figura 10). É importante mencionar que não houve óbitos, mas um desabamento de parte de uma casa no bairro de Dois Unidos. As variações de maré em Recife intensificam os impactos de chuvas extremas, pois a maré alta dificulta o escoamento da água, facilitando alagamentos e o transbordamento de canais.

Figura 10 - Bairros mais afetados e impactos associados registrados através das reportagens de jornais no dia 13 de junho de 2019



Fonte: Jornal O Globo e Jornal do Comércio (2019). Organizado e elaborado pelos autores (2023).

Evento do dia 28 de maio de 2022

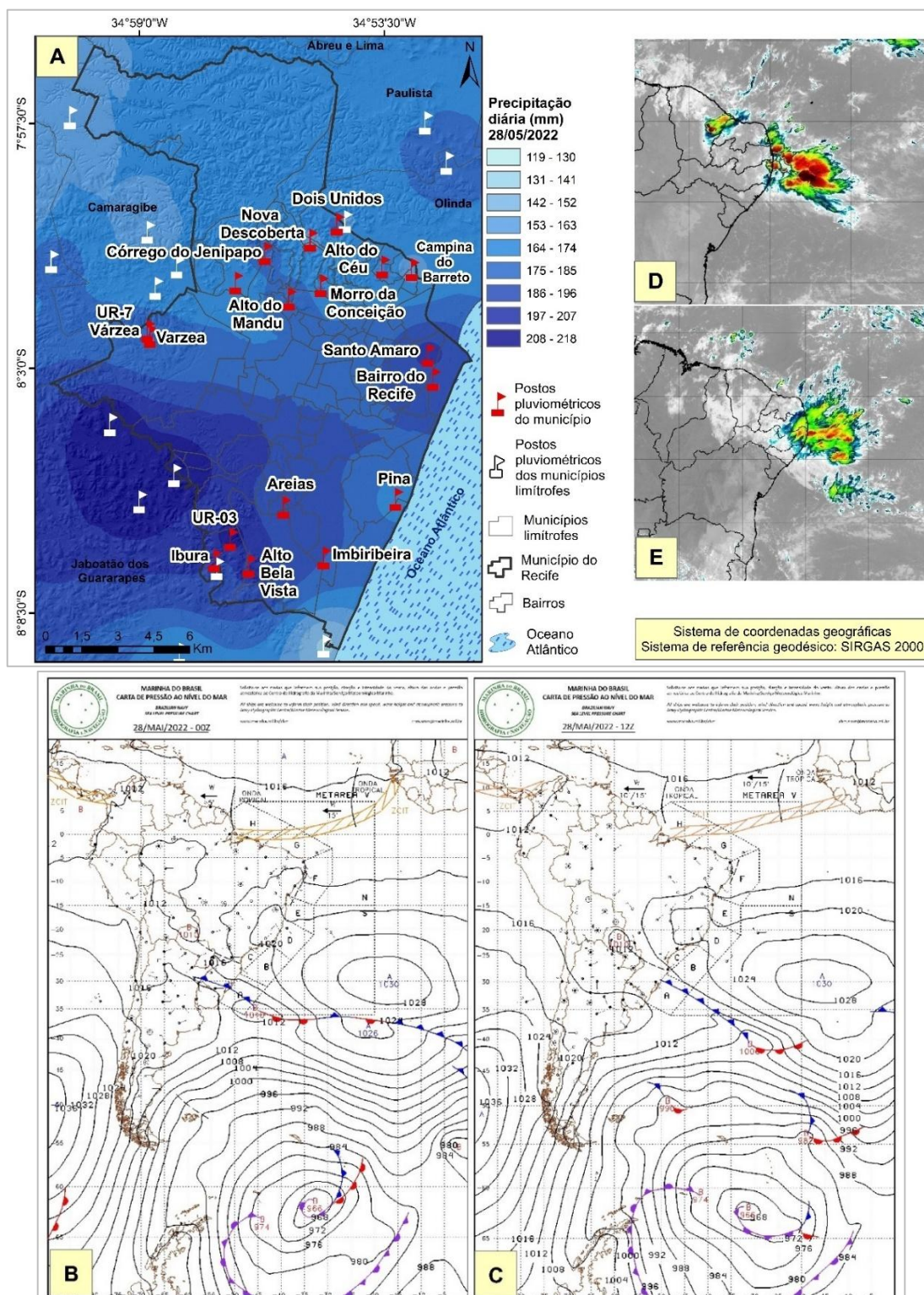
Por apresentar falhas nas séries completas de alguns postos do CEMADEN, o ano de 2022 não foi incluído nas análises. Além disso, as séries de 2022 apresentam dados de postos pluviométricos que não estavam disponíveis nos anos anteriores. No entanto, foi necessário entender o evento extremo que ocorreu no mês de maio de 2022, configurado como um dos maiores registros de chuva diária já registrados no município do Recife, além de uma situação incomum de dias consecutivos com grandes volumes de precipitação.

As cartas sinóticas (Figuras 11B e 11C) mostram a influência de uma forte frente fria no sul e sudeste do país sobre a ASAS, que se encontra mais próxima ao continente. Essa influência é responsável pelo escoamento de leste em direção à costa do Nordeste. Há um cavado entre a costa de Alagoas e o Rio Grande do Norte. As imagens do satélite GOES16 no canal de infravermelho (Figuras 11D e 11E) mostram uma forte atividade convectiva, representada por temperaturas mais baixas, que reforçam a presença de um DOL. Na imagem das 12h (Figura 11 - E), nota-se um aumento do aglomerado de nuvens na direção leste-oeste, com maior desenvolvimento vertical à medida que se aproximam da costa e adentram o continente.

Como foi possível notar a partir das análises sinóticas de eventos anteriores, o Distúrbio Ondulatório de Leste é o principal sistema em escala regional responsável por eventos extremos em Recife (GOMES et al., 2019). No entanto, sua intensidade é favorecida por elementos climáticos e fatores geográficos regionais/locais, como a temperatura da superfície do mar (TSM) ao longo da costa entre os estados da Bahia e Rio Grande do Norte, que apresenta temperaturas quentes durante todo o ano (Hounson-GBO, 2015). No evento de maio de 2022, a temperatura da superfície do mar (TSM) no oceano Atlântico Sul, nas proximidades da costa leste do Nordeste, estava ainda mais aquecida do que o normal, cerca de 3 °C acima da média (Marengo et al., 2023). Além disso, as temperaturas do ar e

de superfície em Recife e a configuração da paisagem — uma ampla planície circundada por tabuleiros — exercem influência na distribuição das chuvas causadas por esse sistema.

Figura 11 - Espacialização da precipitação diária em Recife-PE (A); Cartas sinóticas das 00h (B) e 12h (C); Imagens do satélite Goes 16 de 800 HPa das 00h (D) e 12h (E) do dia 28/05/2022

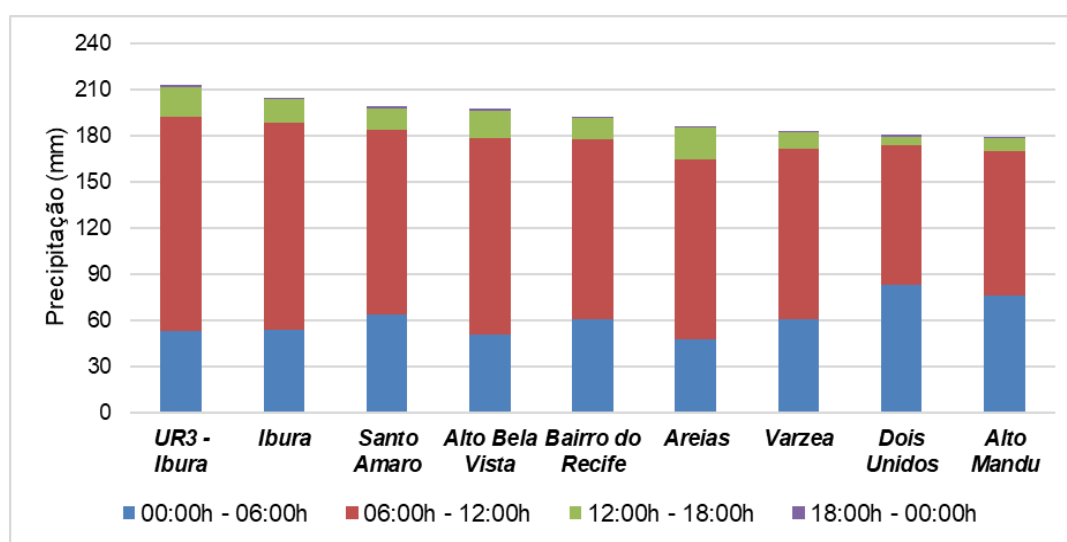


As precipitações foram ainda mais extremas (acima de 200 mm) nos postos situados na zona sul (UR3 Ibura, Alto da Bela Vista e Ibura) e na região leste do Recife (Santo Amaro e Bairro do Recife), embora todo o município tenha registrado volumes diários significativos, superiores a 150 mm (Figura 11 - A).

As chuvas se concentraram principalmente no período da manhã, das 6h às 12h, com os postos registrando mais de 100 mm de chuva em apenas 5 horas, especialmente os situados na porção sul (UR3-Ibura, Cohab e Alto da Bela Vista). Nas imagens de satélite, é possível notar a presença densa de nuvens de chuva sobre o município do Recife tanto durante a madrugada quanto no período da tarde. Todavia, na primeira imagem, percebe-se que as nuvens são ainda mais densas durante a madrugada e a manhã.

Todos os postos registraram grandes volumes de chuva em poucas horas. Os postos de Dois Unidos e Alto do Mandu, localizados na parte norte, registraram a maior parte das chuvas durante a madrugada, enquanto os postos localizados na porção sul registraram os maiores totais no período da tarde (Figura 12). Isso pode ter ocorrido devido à área de abrangência do sistema, que, conforme observado nas imagens de satélite, se localiza mais fortemente ao norte do município às 0h e aumenta sua área de atuação com o aumento das bordas no período da tarde, atingindo outras áreas da zona sul.

Figura 12 - Distribuição periódica da precipitação nos postos com os maiores volumes de chuva no dia 28 de maio de 2022



Fonte: CEMADEN (2021). Elaborado pelos autores (2023).

As chuvas, que se iniciaram no dia 23 de maio de 2022, continuaram e se intensificaram no dia 25, com registros diários de 100 a 150 mm nos postos do CEMADEN. Apesar da diminuição da precipitação nos dias 26 e 27, o ciclone extratropical se intensificou, causando chuvas mais extremas no dia 28. A Figura 13 mostra a distribuição espacial dos acumulados diários no dia 25 de maio e entre os dias 23 e 29 de maio (7 dias) no município do Recife.

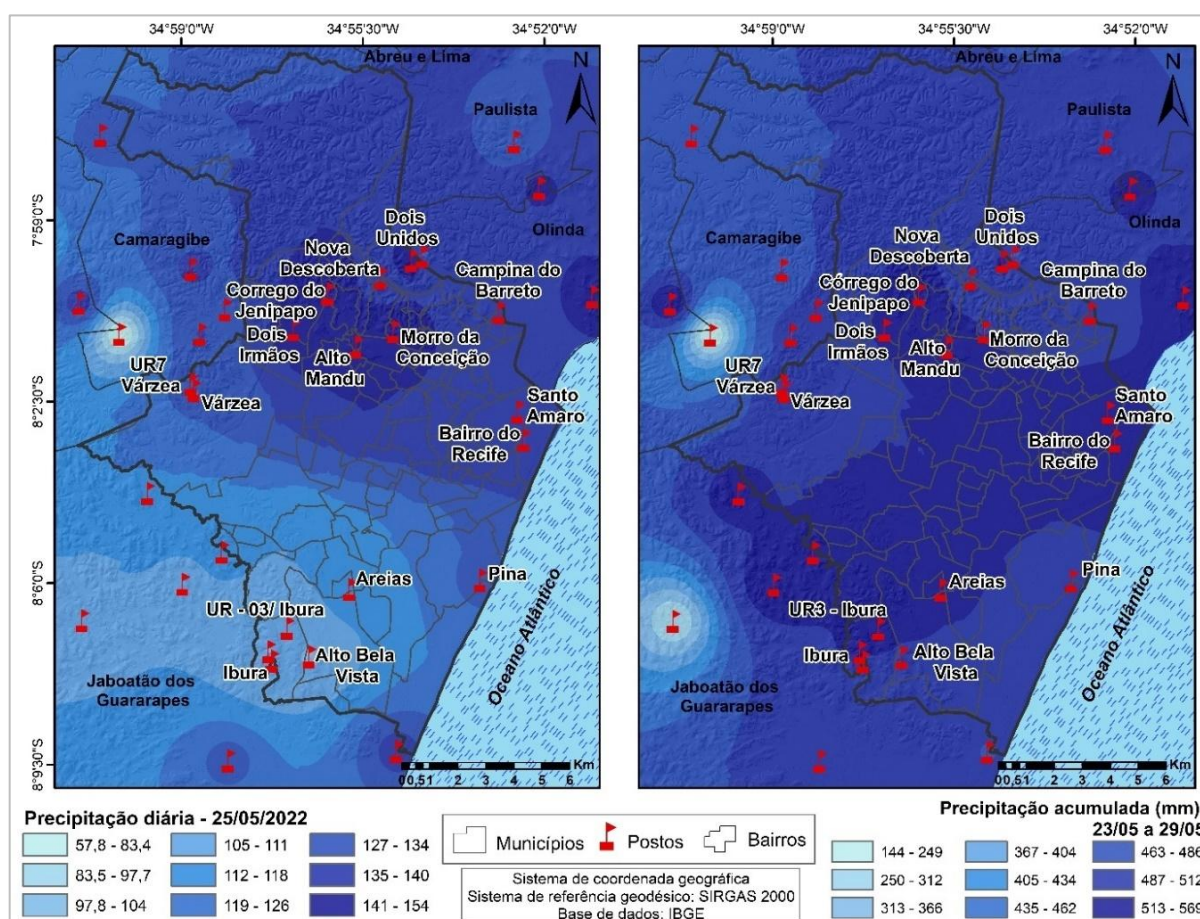
De acordo com as análises de Marengo et al. (2023) sobre o evento ocorrido em Recife no dia 28 de maio de 2022 e sobre as chuvas dos dias anteriores, a influência dos DOLs é reforçada. De acordo com os autores, no dia 25 de maio, a perturbação ocorreu com uma velocidade de fase de 10 m/s, enquanto no dia 28, a velocidade aproximada de fase foi de 4,3 m/s (20° de longitude em 6 dias, entre 23 e 28 de maio). Essa velocidade não é constante, já que entre os dias 26 e 27 há uma diminuição, com aumento novamente entre 27 e 28. O movimento ascendente se intensifica ao chegar à costa do município de Recife, provavelmente devido ao atrito com a superfície continental e à ação das brisas

marítima e terrestre. Os DOLs apresentam aumento da atividade convectiva à medida que adentram uma região com águas mais quentes, cuja TSM é superior a 28,5 °C (Marengo et al., 2023).

No dia 25 de maio, as chuvas se concentraram nos postos localizados na zona norte do Recife e ocorreram principalmente durante a madrugada e o período da manhã. Isso explica a maior precipitação em áreas próximas a encostas e de maior altitude, pois o sistema de DOLs se intensifica a partir da atividade convectiva associada às massas de ar provenientes dos sistemas de brisa. O mesmo ocorreu no dia 28, com chuvas intensas no período da madrugada/manhã.

Foram registrados no mês de maio de 2022 totais mensais acima de 650 mm em todos os postos pluviométricos. O posto do UR3 Ibura foi o que registrou o maior total diário do mês no dia 28, entretanto o posto pluviométrico do Alto do Mandu teve o maior total mensal (797 mm), seguido do posto do Córrego do Jenipapo (787,86mm), Dois Unidos (779,45 mm), Dois Irmãos (778,55 mm) e UR3 Ibura (720 mm).

Figura 13 - Mapas da precipitação diária em 25/05/2022 e da precipitação acumulada dos dias 23/05/2022 a 29/05/2022



Fonte: CEMADEN (2022). Elaborado pelos autores (2023).

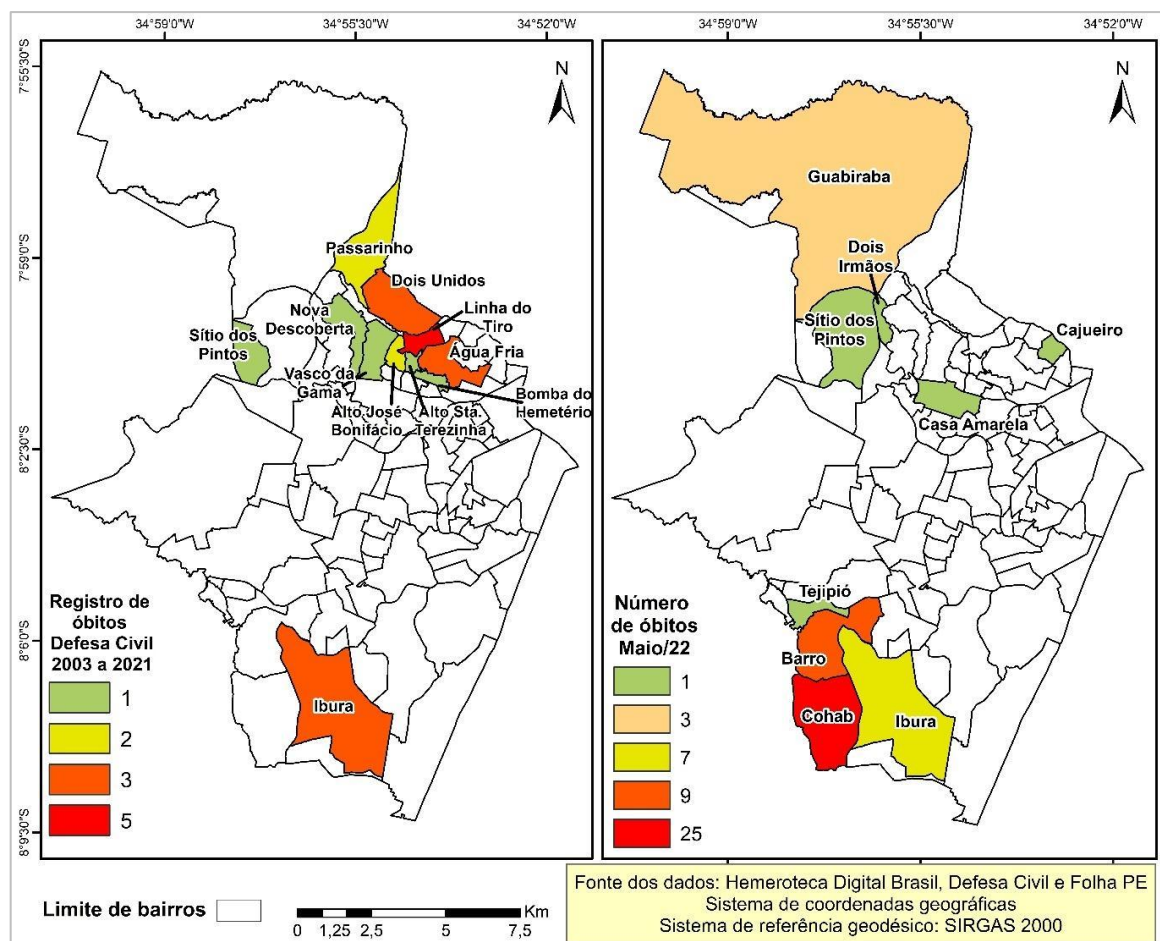
A comunidade mais afetada foi a de Jardim Monte Verde, localizada no UR3-Ibura. Entre os impactos, houve 17 óbitos em um único ponto. Entre as vítimas, havia inclusive crianças. Diante disso, o estado de emergência foi decretado no Recife na noite de sábado, dia 28 de maio.

Os impactos foram significativos diante das fortes chuvas, principalmente o grande número de óbitos. De acordo com dados da Defesa Civil do Recife, entre 2013 e 2021, foram registrados 11 óbitos decorrentes de desastres relacionados a chuvas extremas no município. No entanto, segundo dados

obtidos do jornal Folha de Pernambuco (2022), somente no evento de maio de 2022, em Recife, foram computadas 49 mortes, distribuídas em nove bairros. O bairro com o maior número de mortes foi Cohab, seguido pelos bairros do Barro e Ibura, respectivamente. No bairro da Guabiraba, foram três mortes; nos bairros de Tejipió, Casa Amarela, Cajueiro, Dois Irmãos e Sítio dos Pintos, uma morte em cada um (Figura 14).

Os locais onde mais choveu são bairros situados em áreas de tabuleiros ou próximos aos sopés de encostas íngremes, suscetíveis a deslizamentos. No bairro da Cohab, mais de 20 pessoas morreram e muitas ficaram feridas devido a desabamentos e soterramentos de casas na comunidade de Jardim Monte Verde (Figura 15). Vale ressaltar que, em um episódio de 8 de abril de 1986, os jornais já citavam a comunidade como uma das mais impactadas devido às chuvas fortes. Isso mostra que as áreas mais vulneráveis continuam carecendo de atenção no que diz respeito ao planejamento e à gestão de riscos de desastres.

Figura 14 - Bairros mais afetados em relação ao número de óbitos registrados no dia 28 de maio de 2022 e comparação entre os bairros mais afetados em relação ao número de óbitos registrados pela Defesa Civil do Recife entre 2003 e 2021



Fonte: Folha de Pernambuco (2022) e Defesa Civil do Recife (2022). Elaborado pelos autores (2023).

Figura 15 - Deslizamentos de terra decorrentes das fortes chuvas no município do Recife, comunidade de Jardim Monte Verde no Ibura, em 28 de maio de 2022



Fonte: Radio Jornal (2022) e Folha de Pernambuco (2022).

Os registros de óbitos encontrados no primeiro mapa da Figura 14, relacionados ao evento de maio de 2022, evidenciam que os locais impactados se encontram, em sua maioria, em áreas de colinas e tabuleiros, impactadas continuamente desde décadas anteriores. Isso reafirma que as inundações, os deslizamentos de terra e outros impactos relacionados às chuvas extremas em Recife são um problema histórico.

É importante salientar que, apesar do registro significativo de 118 mortes pela Defesa Civil entre 1984 e 2002, não foi possível obter informações sobre os locais de ocorrência. Isso reitera o fato de que os problemas urbanos relacionados aos desastres decorrentes de chuvas extremas são estruturais, evidenciando a dificuldade de se ter uma gestão eficiente no que diz respeito a um plano de habitação adequado, com ênfase na minimização dos riscos de desastres. Isso também mostra a falta de investimentos e de recursos ao longo do tempo nas gestões do município nesse setor, principalmente nas áreas mais vulneráveis socioeconomicamente.

O padrão dos impactos recentes difere daquele registrado em décadas anteriores. A maior concentração de assentamentos precários nos tabuleiros costeiros e o maior controle das inundações do rio Capibaribe estão entre as causas dessas mudanças. Atualmente, grande parte dos óbitos decorrentes de desastres relacionados a eventos extremos de chuva é causada por deslizamentos de terra. Em episódios como os das décadas de 1960 e 1970, havia registros de óbitos por afogamento nas inundações dos rios Capibaribe e Beberibe. De toda maneira, é notório que as populações com menor poder aquisitivo e em condições precárias de habitação são as mais impactadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao se explorar a variabilidade temporal e mensal da precipitação entre 2018 e 2021, identificou-se uma variação significativa entre os meses de abril e julho, caracterizando-os como os mais chuvosos. O posto de Nova Descoberta apresentou o maior total anual de chuva (1.887,14 mm), enquanto o posto da Imbiribeira apresentou o menor (1.462,44 mm), demonstrando uma variabilidade espacial de 424,7 mm no município do Recife.

A investigação dos eventos extremos selecionados buscou aprofundar a análise temporal e espacial da precipitação, destacando os padrões sazonais e horários e sua relação com os sistemas meteorológicos. Ao longo da série histórica (2018 a 2021), observou-se uma concentração de chuvas nos períodos da madrugada e da manhã, o que, segundo a literatura, pode estar relacionado à ação da brisa marítima e à ocorrência de chuvas predominantemente estratiformes. Embora esta pesquisa não tenha feito a identificação direta dos tipos de chuva, essa hipótese é respaldada por estudos anteriores realizados em Recife.

Apesar de apenas dois eventos terem sido analisados em profundidade, sua seleção, por representarem diferentes magnitudes e momentos, permitiu ilustrar e qualificar os padrões identificados na série de 2018 a 2021. Por outro lado, os eventos extremos analisados permitiram ilustrar essas hipóteses ao evidenciarem padrões temporais e sinóticos que remetem à influência de sistemas, como

os DOLs, nos períodos da tarde e da noite. Ademais, a ação conjunta dos DOLs e da brisa marítima pode intensificar e ocasionar volumes maiores de chuva. A compreensão desses possíveis padrões contribui para o avanço no entendimento das dinâmicas locais da precipitação e pode subsidiar estratégias mais eficazes de mitigação e gestão de riscos.

Quanto às análises sinóticas dos eventos, foram encontrados padrões de ação do Distúrbio Ondulatório de Leste. Além disso, identificou-se que a direção e a velocidade dos ventos podem influenciar a distribuição e a concentração sazonal diária das chuvas, em conjunto com outros fatores, como a área de abrangência do sistema atmosférico e a orientação das encostas.

Os impactos afetam praticamente todo o município, mas de maneiras diferentes. Nas áreas mais vulneráveis, há uma maior ocorrência de impactos severos, com capacidade de causar danos à integridade física das pessoas, como deslizamentos de terra. Em outras áreas, principalmente em locais de baixa altitude e nas proximidades de corpos hídricos, há muitos pontos críticos de alagamento, como na Avenida Dois Rios, no Ibura, e na Avenida Recife, no bairro do Ipsep — citados em mais de um evento.

Com base nos registros históricos de jornais, a maior concentração de deslizamentos e óbitos ocorreu em áreas de colinas e tabuleiros, devido à maior vulnerabilidade socioambiental e econômica. A distribuição espacial dos impactos mostra que os bairros mais afetados por impactos severos em episódios pluviiais extremos estão localizados em áreas de risco de deslizamento de terra e de inundações, como as áreas ribeirinhas às margens do rio Capibaribe, por exemplo, nos bairros Nova Descoberta, Dois Unidos, Alto José Bonifácio, Cohab, Ibura, Várzea, entre outros.

Apesar das contribuições oferecidas por esta pesquisa, reconhece-se que a limitação da série temporal do CEMADEN utilizada representa uma restrição importante, especialmente para a identificação de padrões climáticos mais robustos. A duração reduzida do período analisado impede a generalização de algumas inferências e reforça a necessidade de ampliação das bases de dados para estudos futuros. Ainda assim, o recorte adotado possibilitou a identificação de hipóteses relevantes sobre a variabilidade espacial e temporal da precipitação no Recife, bem como dos fatores ambientais e atmosféricos associados a ela, apontando caminhos importantes para investigações mais abrangentes e para o aprimoramento das políticas de adaptação urbana e de resiliência climática.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE).

REFERÊNCIAS

- ANJOS, L. S. *et al.* Análise dos impactos socioambientais para o risco a deslizamentos no bairro de Nova Descoberta, zona norte da cidade do Recife-PE. **Revista de Geografia**, Recife, v. 40, n. 1, p. 105-124, 27 abr. 2023. Universidade Federal de Pernambuco. <http://dx.doi.org/10.51359/2238-6211.2023.254786>.
- ANJOS, R. S. *et al.* Spacial distribution of rain types in Pernambuco with the usage of Remote Sensing. **Journal Of Hyperspectral Remote Sensing**, [S.L.], v. 6, p. 154-163, abr. 2016. Journal of Hyperspectral Remote Sensing. <http://dx.doi.org/10.5935/2237-2202.20160016>.
- ANJOS, R. S.; CANDEIAS, A. L. B.; NÓBREGA, R. S. Mapeamento da precipitação estimada e observada no Semiárido Pernambucano e sua relação com a modelagem de dados espaciais. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 69, p. 447-462, mar. 2017.
- ANJOS, R. S. Modelagem espacial de doenças e suas relações com fatores socioeconômicos, morfoclimáticos e infraestruturais. 2021. 142 f. **Tese** (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.
- ANJOS, R. S. Qualidade de dados do satélite TRMM para espacialização das chuvas na microrregião de Itaparica-PE. 142 f. **Dissertação** (Mestrado) - Curso de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

ANJOS, R. S.; WANDERLEY, L. S. A.; NÓBREGA, R. S. Análise espacial da precipitação e possíveis fatores que contribuem para sua espacialização em Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 13, n. 1, p. 18-34, jan. 2020.

BITTENCOURT, P. A. S; BARROS, D. M. V.; ALBINO, J. P. A linguagem R e sua importância na recolha e análise dos dados. In: **Atas do Congresso Internacional sobre Avaliação no Ensino Superior**. Minho: Universidade do Minho, 2019. Anais.

CASTELHANO, F. J. **O clima e as cidades**. Curitiba: InterSaberes, 2020. 1º ed. ISBN 978-85-227-0264-0.

CASTRO, J. **Um ensaio de geografia urbana: A cidade do Recife**. Recife: Fundação Joaquim Nabuco, Editora Massangana, 2013. 122 p.

CORREA, M. G.; GALVANI, E. Évaluation de L'effet Orographique dans le Bassin Versant Du Piquiri –Paraná/Brésil. **Colloque de l'Association Internationale de Climatologie**, Lausanne (Besançon), Associação Internacional de Climatologia 29,211-216. 2016.

FOLHA DE PERNAMBUCO. **Mais mulheres e 64 mortes em Jaboatão**: quem são e onde morreram as vítimas das chuvas de 2022. 16 jun. 2022. Disponível em:

<https://www.folhape.com.br/noticias/mais-mulheres-e-64-mortes-em-jaboatao-quem-sao-e-onde-morreram-as/229991/>. Acesso em: 15 abr. 2023.

FRAGA, J. M. L. Clima, meio ambiente e cidades: alternativas de mitigação, adaptação e combate das alterações climáticas em áreas urbanas de maior vulnerabilidade. **Revista Movimentos Sociais e Dinâmicas Espaciais**, v. 13, n. Extra 0 (Número especial), p. 1-27, 2024. Número especial: Socioambientalismo e espaço urbano: Relação sociedade e natureza no foco do desenvolvimento sustentável. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=24981> . Acesso em: 30 out. 2024.

G1. Pior enchente em décadas deixa 92 mortos em Valência, na Espanha; VÍDEO mostra destruição. G1, 30 out. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/mundo/noticia/2024/10/30/enchentes-valencia.ghtml>. Acesso em: 30 out. 2024.

GOMES, H. B. *et al.* Climatology of easterly wave disturbances over the tropical South Atlantic. **Clim. Dynam.** 53, 1393–1411, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04667-7> , 2019.

HOUNSOU-GBO, G. A. Dinâmica do Atlântico tropical e seus impactos sobre o clima ao longo da costa do Nordeste do Brasil. **Tese** (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. 2015. Recife. 146 f.

IBGE. **População**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/panorama>. Acesso em: 19 ago. 2022

IPCC. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp. 2014.

LI, D. *et al.* Future changes of socioeconomic exposure to potential landslide hazards over mainland China. **Weather and Climate Extremes**, v. 46, 2024, p. 100731. ISSN 2212-0947. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2024.100731>. Acesso em: 12 out. 2024.

LYRA, M. J. A. *et al.* Extreme precipitation events over the east coast of northeast Brazil: Synoptic study and MPAS simulation. **Weather and Climate Extremes**, v. 45, 2024, 100711. ISSN 2212-0947. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2024.100711>. Acesso em: 12 ago. 2025.

MARENGO, J. A. *et al.* Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25–28, 2022: Causes, impacts, and disaster preparedness. **Weather and Climate Extremes**, v. 39, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100545>. Acesso em: 30 out. 2023.

MENDES, T. G. L. Qualidade do ar e a percepção dos usuários nos terminais de passageiros do Recife-PE. 2021. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

MONTEIRO, C. A. F. O Estudo do Clima Urbano no Brasil: Evolução, tendências e alguns desafios. In: MONTEIRO C. A. de F.; MENDONÇA, F. de A. In: **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. 192p.

MONTEIRO, K. C. R.; LIMA, E. M. A teoria sistema clima urbano e suas contribuições ao estudo do microclima e do conforto térmico. **Observatório de la economía latinoamericana**, [S. l.], v. 22, n. 7, p. e5929, 2024. DOI: 10.55905/oelv22n7-224. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/5929>. Acesso em: 30 out.

MOREIRA, A. B. *et al.* OS ESTUDOS DE CLIMA URBANO E O SEU DESENVOLVIMENTO NA CIDADE DO RECIFE - PE: campos de estudo, técnicas de investigação e perspectivas futuras. **Caminhos de Geografia**, [S.L.], v. 23, n. 90, p. 230-251, 8 dez. 2022. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/rcg239061268>.

PLANCHE, *et al.* The influence of aerosol particle number and hygroscopicity on the evolution of convective cloud systems and their precipitation: A numerical study based on the COPS observations on 12 august 2007. **Atmos. Res.**, v. 98, p. 40–56, 2010.

RAKUASA, H.; RIA KARUNA, J.; CHRISTI LATUE, P. Urban landscape transformation: land cover change analysis in Sirimau sub-district, Ambon city. **Journal of Data Analytics, Information, and Computer Science**, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 63–70, 2024. DOI: 10.59407/jdaics.v1i2.649. Disponível em: <https://journal.ppmi.web.id/index.php/jdaics/article/view/649>. Acesso em: 30 out. 2024.

SANTANA, J. K. R. Análise evolutiva da ocupação dos morros da cidade do Recife. **Simpósio Nacional de Geografia Urbana**, Espírito Santo, v. 1, n. 1, p. 3754-3768, 17 nov. 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/simpurb2019/article/view/26767>.

SANTOS, P. F. C. Microclimas urbanos na cidade do Recife-PE: proposta de zoneamento sob o enfoque do conforto térmico. 2018. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018. 149p.

SILVA, C. C. G.; MELLO, S. C. B. Recife, Veneza Brasileira: repensando a mobilidade urbana a partir de seus rios. **Cidades: Comunidades e territórios**, Lisboa, v. 34, p. 1-26, 30 jul. 2017. Disponível em: <https://journals.openedition.org/cidades/455>. Acesso em: 17 ago. 2022.

SOUZA, J. L.; CORRÊA, A. C. B.; SILVA, O. G. Compartimentação geomorfológica da planície do Recife, Pernambuco, Brasil. **Revista de Geografia**, Recife, v. 4, n. 1, p. 147-168, mar. 2017.

THAWEEPWORADEJ, P.; EVANS, K. L. Urbanisation of a growing tropical mega-city during the 21st century — Landscape transformation and vegetation dynamics. **Landscape and Urban Planning**, v. 238, 2023, p. 104812. ISSN 0169-2046. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104812>. Acesso em: 20 out. 2024.

VASCONCELOS JUNIOR, F. C. *et al.* An attribution study of very intense rainfall events in Eastern Northeast Brazil. **Weather And Climate Extremes**, [S.L.], v. 45, p. 100699, set. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2024.100699>.

WANDERLEY, L. S. A. *et al.* Tipos de tempo associados a eventos diários de chuvas intensas na cidade de Recife – PE, Brasil. **Sociedade e Natureza**, v. 22, p. 1-14, jul. 2021. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/60520>.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F.S. **Probabilidade**: teoria e problemas, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 261 p. 1974.

XAVIER, Teresinha de M° Bezerra S.; XAVIER, Airton Fontenele Sampaio; ALVES, José Maria Brabo. **Quantis e eventos extremos**: aplicações em ciências da terra e ambientais. Fortaleza: Rds, 2007. 278 p.

Recebido em: 22/11/2024

Aceito para publicação em: 18/08/2025