
Análise Comparativa do Índice de Anomalia de Chuvas (IAC) nos Municípios de Paulista, Abreu e Lima e Igarassu, Região Metropolitana do Recife, Pernambuco

Comparative Analysis of the Rainfall Anomaly Index (RAI) in the Municipalities of Paulista, Abreu e Lima and Igarassu, Metropolitan Region of Recife, Pernambuco

Análisis comparativo del Índice de Anomalía de Precipitación (IAC) en los municipios de Paulista, Abreu e Lima e Igarassu, Región Metropolitana de Recife, Pernambuco

Rafaela Melissa Andrade Ferreira¹

 <https://orcid.org/0000-0003-2721-4191>

Larissa Furtado Lins dos Santos²

 <https://orcid.org/0000-0002-4247-5317>

RESUMO: O padrão pluviométrico exerce bastante influência em variáveis meteorológicas como a umidade, temperatura e balanço de radiação, entre outros; além do mais, é responsável por caracterizar morfologias de paisagens, as quais vão se modificar dependendo da ocorrência da pluviosidade que, a depender de cada lugar, obedece a uma constante de totais anuais que variam mês a mês. Nesse sentido, os parâmetros analisados na presente pesquisa foram as variações anuais e interanuais das anomalias de chuvas em três municípios vizinhos situados na Região Metropolitana do Recife (Abreu e Lima, Igarassu e Paulista) utilizando a metodologia quantitativa do Índice de Anomalia de Chuvas (IAC) proposto por Van Rooy (1965) que consiste na observação média das dez mais altas precipitações (para anomalias positivas) e das dez mais baixas (para anomalias negativas) e registros de precipitação históricos. Os principais resultados encontrados apontaram as distinções entre os valores dos índices, mesmo os postos pluviométricos estando relativamente próximos e o quantitativo total de precipitação anual não serem discrepantes. Por fim, a pesquisa ofereceu uma contribuição à avaliação do comportamento das chuvas em áreas pouco estudadas no estado de Pernambuco.

PALAVRAS-CHAVES: climatologia; Nordeste brasileiro; técnicas estatísticas; classificação.

ABSTRACT: *The rainfall pattern exerts a considerable influence on meteorological variables such as humidity, temperature, radiation balance and others, in addition, it is responsible for characterizing landscape morphologies, which will change depending on the occurrence of rainfall which, depending*

¹ Doutoranda em Geografia na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP/Presidente Prudente). E-mail: rafaela.andrade-ferreira@unesp.br.

² Doutoranda em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). E-mail: larissa.furtado@ufpe.br.

on each place, it follows a constant of annual totals that vary month to month. In this sense, the parameters analyzed in the present research were the annual and interannual variations of rainfall anomalies in three neighboring municipalities located in the Metropolitan Region of Recife (Abreu e Lima, Igarassu and Paulista) using the quantitative methodology of the Rainfall Anomaly Index (RAI) proposed by Van Rooy (1965) which consists of the average observation of the ten highest precipitations (for positive anomalies) and the ten lowest (for negative anomalies) and historical precipitation records. The main results found pointed out the distinctions between the values of the indices, even though the rainfall stations are relatively close and the total amount of annual precipitation is not discrepant. Finally, the research offered a contribution to the assessment of rainfall behavior in little-studied areas in the state of Pernambuco.

KEYWORDS: *climatology; brazilian Northeast; statistical techniques; classification.*

RESUMEN: *El padrón pluviométrico ejerce una influencia considerable sobre variables meteorológicas como la humedad, la temperatura, el balance de radiación y otras, además, se encarga de caracterizar las morfologías del paisaje, las cuales cambiarán dependiendo de la ocurrencia de precipitaciones que, dependiendo de cada lugar, sigue una constante de totales anuales que varían mes a mes. En este sentido, los parámetros analizados en la presente investigación fueron las variaciones anuales e interanuales de las anomalías de las precipitaciones en tres municipios vecinos ubicados en la Región Metropolitana de Recife (Abreu e Lima, Igarassu y Paulista) utilizando la metodología cuantitativa del Índice de Anomalías de las Precipitaciones (RAI) propuesto por Van Rooy (1965) que consiste en la observación promedio de las diez precipitaciones más altas (para anomalías positivas) y las diez más bajas (para anomalías negativas) y registros históricos de precipitación. Los principales resultados encontrados señalaron las distinciones entre los valores de los índices, aunque las estaciones pluviométricas están relativamente cercanas y la cantidad total de precipitación anual no es discrepante. Finalmente, la investigación ofreció una contribución para la evaluación del comportamiento de las precipitaciones en zonas poco estudiadas del estado de Pernambuco.*

PALABRAS-CLAVE: *climatología; Nordeste brasileiro; técnicas estadísticas; clasificación.*

INTRODUÇÃO

A precipitação exerce um papel fundamental no ciclo hidrológico e no sistema climático como um todo. Partindo desse pressuposto, tanto a distribuição quanto os volumes totais são importantes para caracterizar os regimes de chuvas das localidades ao longo do tempo. Ademais, as épocas de início, duração e término da estação chuvosa costuma modular as atividades humanas, exercendo, assim, forte influência sobre os seus modos de vida (Ayoade, 2010).

No Nordeste brasileiro, o excesso e/ou a escassez de precipitações em algumas áreas são resultantes da massiva atuação de sistemas atmosféricos distintos, dentre os quais, destacam-se os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (Kousky; Gan, 1981; Reboita *et al.*, 2017; Satyamurty; Nobre; Dias, 2000), Distúrbios Ondulatórios de Leste (Gomes, 2012; Mota; Gandú, 1997), Zona de Convergência Intertropical (Ferreira, 1996), e o sistema de brisas características do litoral.

Na faixa litorânea do Nordeste, notadamente representada por climas mais úmidos e com totais pluviométricos anuais que ultrapassam os 1.500 milímetros por ano, o estudo das precipitações pluviais demanda uma especial atenção, principalmente, devido à alta capacidade de ocorrências de eventos climáticos extremos. Dessa forma, por ser uma questão complexa, necessita de maior cautela dos setores de planejamento e uma maior atenção quanto à gênese e à dinâmica desses eventos, além dos seus efeitos no ambiente urbano, a fim de desenvolver mecanismos baseados em estudos consistentes.

Nesse contexto, entre as regiões metropolitanas nordestinas que são limitadas a uma resposta técnica pouco satisfatória quando submetidas aos transtornos decorrentes de fenômenos atmosféricos, a do Recife difere pelo elevado índice de localidades propensas ao risco iminente, visto que 65% da sua área territorial encontra-se em morros densamente povoados (Morais, 2020; Valencio *et al.*, 2004). A problemática do risco, portanto, é dada pela sua importante correlação com o desencadeamento de vulnerabilidades socioambientais urbanas que evidenciam a heterogeneidade dos impactos que abatem a população e explicitam as condições de exposição e fragilidade (Mendonça, 2014).

De modo associativo, a forte recorrência de grandes volumes diários de precipitação é capaz de desencadear alagamentos e inundações na planície. Na mesma linha de raciocínio, Wanderley *et al.* (2021) e Aragão e Duarte (2023) afirmam que o conceito de tipos de tempo torna-se essencial para entender as frequências de atuação e as características físicas dos padrões sinóticos que ocasionam os eventos intensos de chuvas na região.

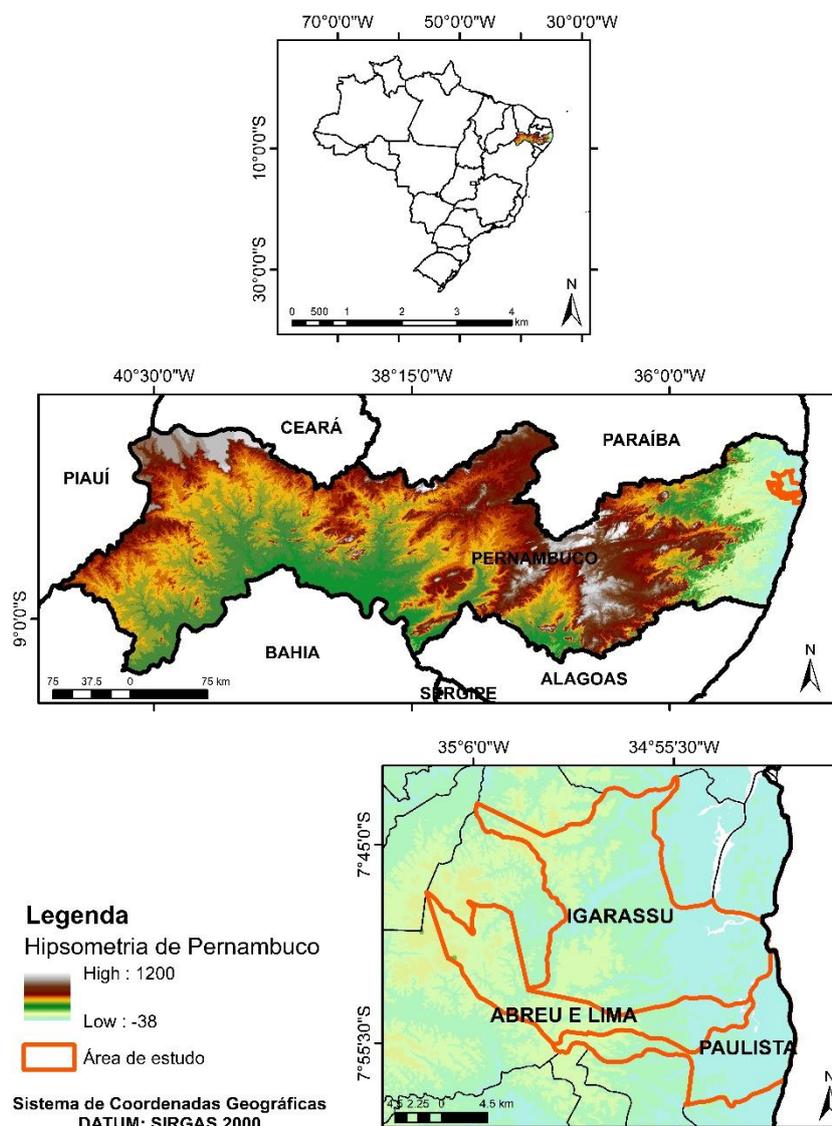
Com isso, é indicada a adoção de índices para mensurar momentos ditos como anômalos nas escalas anuais, mensais e diárias (Hastenrath; Rosen, 1983; Katz; Glantz, 1986; Svoboda; Fuchs, 2016). Reunindo os panoramas iniciais supramencionados, o presente artigo teve como objetivo geral examinar os índices de anomalia de chuvas para três municípios vizinhos situados na RMR (Região Metropolitana do Recife) em uma série temporal que agrega desde o ano de 2001 até o ano de 2023 e, posteriormente, objetivou-se realizar uma análise comparativa entre os resultados encontrados.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os municípios trazidos no presente estudo fazem parte da Região Metropolitana Norte do Recife que compreende, no geral, 14 cidades quase sempre conurbadas entre si, um exemplo desse processo são os municípios de Abreu e Lima, Igarassu e Paulista (figura 1). Abreu e Lima localiza-se a uma latitude 07°54'42" S e a uma longitude 34°54'10" O, estando a uma altitude de 19 metros. De acordo com as estimativas do IBGE de 2021, a população é de mais de 100 mil habitantes, distribuídos numa área de 126.384 quilômetros quadrados. Igarassu, por sua vez, localiza-se a uma latitude de 07°50'03" S e uma longitude de 34°54'23"

O, possuindo também uma altitude de, em média, 19 metros. A população estimada pelo IBGE ([2024]) é de mais de 115 mil habitantes distribuídos numa área de 305.560 quilômetros quadrados. A cidade de Paulista atualmente ocupa uma área de 102.3 quilômetros quadrados, tendo 16.9786 quilômetros quadrados desse total no seu perímetro urbano e 85.4 quilômetros quadrados formando a “zona rural” do município, a população total é a de mais de 300 mil habitantes, ocupando a quinta colocação entre os municípios do estado de Pernambuco.

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Elaboração das autoras.

No que se refere às características fisiográficas, a vegetação predominante que se desenvolve na faixa litorânea é a de mangue, importante ecossistema para a região. Há

também a presença de resquícios de mata atlântica, composta por *florestas* sub-perenifólias, com partes de *floresta* sub-caducifólia (Brasil, 2017).

O tipo climático prevalecente nos municípios, segundo a classificação elaborada por Mendonça e Danni-Oliveira (2017), é o Clima Tropical Litorâneo do Nordeste Oriental, caracterizado por chuvas de outono e inverno. A precipitação média mensal e anual é mostrada na figura 2, em que se percebe um maior volume entre os meses de abril a julho, sendo março e agosto meses em que também se encontram volumes precipitados significativos. Em contrapartida, os meses de setembro e outubro concentram os menores volumes médios.

Figura 2 – Precipitação média mensal e anual considerando a normal climatológica para os municípios da área de estudo



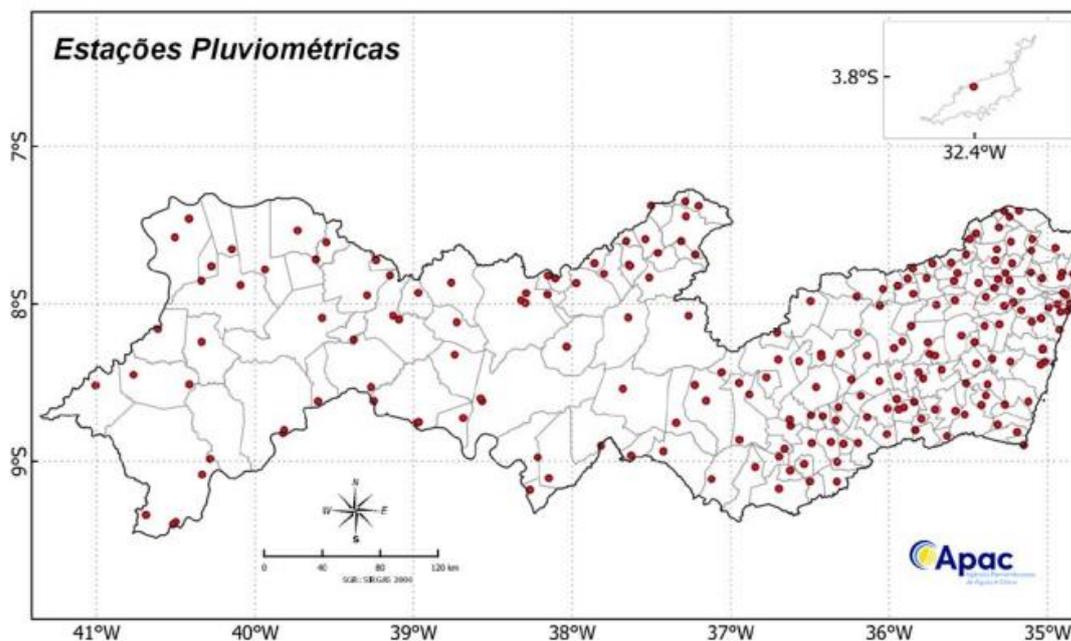
Fonte: Elaborado pelas autoras, conforme os dados da APAC (2024).

As características do relevo variam desde a presença de tabuleiros costeiros com um grau de entalhamento variável, tendo vales estreitos e encostas abruptas ou encostas suaves e fundos de vales com amplas várzeas (Fonsêca; Corrêa; Silva, 2016) até a presença de planícies fluvio-marinhas constituídas por depósitos dos principais cursos de água.

DADOS PLUVIOMÉTRICOS: TRATAMENTO, ANÁLISE E APLICAÇÃO DO IAC

Os dados de precipitação foram adquiridos de maneira secundária através da Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC, 2024) que disponibiliza as informações de acesso gratuito através do seu site. Após essa triagem inicial, os dados foram organizados e tabulados em planilhas do *Microsoft Excel 2016*. Como pode ser visualizado na figura 3, a APAC possui estações pluviométricas provisórias e padrões em todo o território pernambucano.

Figura 3 – Distribuição espacial das estações pluviométricas no espaço pernambucano



Fonte: APAC (2024).

A Agência Pernambucana de Águas e Clima foi criada através da Lei Estadual nº14.028 de 26 de março de 2010 com o objetivo de fortalecer o planejamento e a regulação dos usos múltiplos dos Recursos Hídricos do Estado e o Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SIGRH). O fortalecimento institucional visa consolidar a Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei nº 12.984/2005) e o Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SIGRH).

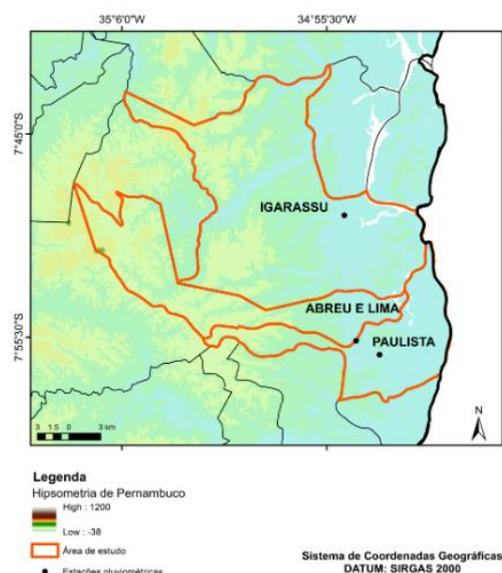
Os recortes de estações que foram selecionadas para o presente estudo estão dispostos na figura 4. A definição da série temporal se deu, sobretudo, em razão da disponibilidade de dados com pouca ou nenhuma falha que pudesse comprometer a qualidade das informações produzidas. Sendo assim, de 2001 a 2023 apenas houve a existência de duas ausências de registros na série que foram identificados nas estações de Paulista e Abreu e Lima nos anos de 2005 (mês de janeiro) e 2019 (mês de novembro). A correção dessas falhas se deu por meio da regressão linear simples considerando as relações entre o posto faltante e o posto vizinho (Tucci, 2009).

Como a proposta do presente estudo não foi a de elaborar representações espaciais (mapas) da distribuição dos índices de anomalias de chuva, não houve a preocupação com a quantidade de estações pluviométricas utilizadas na comparação que foi realizada por meio de gráficos. Contudo, é válido ressaltar que modelos de interpolação geoespacial baseados em vários conjuntos de dados tendem a ser mais robustos e precisos de modo que, com mais dados, é possível detectar melhor tendências espaciais e anomalias que podem não ser

evidentes em um conjunto de dados limitado. Isso é particularmente útil em estudos de mudanças climáticas, onde pequenas variações em padrões podem ter grandes implicações.

Figura 4 – Localização das estações pluviométricas aproveitadas no estudo

Mapa de localização das estações pluviométricas



Fonte: Elaborado pelas autoras.

Com os dados devidamente organizados e tratados, iniciou-se o processo de aplicação do Índice de Anomalia de Chuvas que foi idealizado por Van Rooy (1965) e tem sido utilizado para classificar as tendências positivas e negativas nas anomalias pluviométricas em diferentes regiões do globo. O grau de gravidade do índice IAC é apresentado no quadro 1, variando de ≤ 4 (extremamente seco) a ≥ 4 (extremamente chuvoso). A representação dos resultados se deu pela elaboração de gráficos que evidenciaram as variações dos índices anômalos.

Quadro 1 – Categorização das faixas de precipitação pluvial conforme o IAC

Faixa do Índice de Anomalia de Chuvas (IAC)	Classificação da pluviosidade
De 4 para cima	Extremamente Chuvoso
2 a 4	Muito Chuvoso
0 a 2	Chuvoso
0	Sem Anomalia
0 a -2	Seco
-2 a -4	Muito Seco
De -4 para baixo	Extremamente Seco

Fonte: Adaptado de Van Rooy (1965).

Em um primeiro momento, os dados de precipitação são organizados em ordem decrescente. A média dos dez valores mais altos é calculada para formar um limite para

anomalia positiva e a média dos dez valores mais baixos é calculada para formar um limite para anomalia negativa. Os limites são calculados pelas equações apresentadas a seguir:

$$IAC = 3[(N - N) / (M - N)] \text{ para anomalias positivas;}$$

$$IAC = -3[(N - N) / (X - N)] \text{ para anomalias negativas.}$$

Em que:

N = precipitação (mm) do mês que será calculado o IAC;

N = precipitação média da série histórica (mm);

M = média dos dez valores mensais maiores;

X = média dos dez valores menores.

Segundo Silva *et al.* (2022), a principal característica deste índice é a sua simplicidade processual, pois necessita apenas de dados de precipitação para ser calculado, sendo adequado para uso em regiões semiáridas e/ou tropicais, principalmente para a região nordeste do Brasil.

Nesse sentido, Araújo, Moraes Neto e Souza (2009) classificou a variabilidade espaço-temporal das chuvas na bacia do Rio Paraíba utilizando o mesmo método proposto no presente estudo e identificou que a ferramenta pode ser eficaz para o acompanhamento climático de uma localidade, podendo também, por meio desse monitoramento, gerar prognósticos e diagnósticos da climatologia local.

Já Noronha, Hora e Silva (2016) avaliou a intensidade da anomalia do regime de chuva na microbacia de Santa Maria/Cambiocó, localizada na RNERJ (Região Noroeste do Estado do Rio de Janeiro) e comparou com a ocorrência de fenômenos como El Niño e La Niña. Os resultados apresentados apontaram para um período seco que não se acentuou ao longo do tempo, como também não foi possível verificar relação entre as anomalias climáticas (El Niño / La Niña) e o índice de anomalia de chuva.

Nery e Siqueira (2021) calculou as anomalias para o estado do Paraná com a mesma proposta de Noronha, Hora e Silva (2016) em relacionar com os fenômenos de El Niño e La Niña, contudo, para a área de estudo destacada, o autor encontrou que os anos de ocorrência de El Niño apresentaram, de maneira geral, anomalias positivas em todos os eventos analisados, assim como os anos de ocorrência de La Niña apresentaram majoritariamente anos negativos.

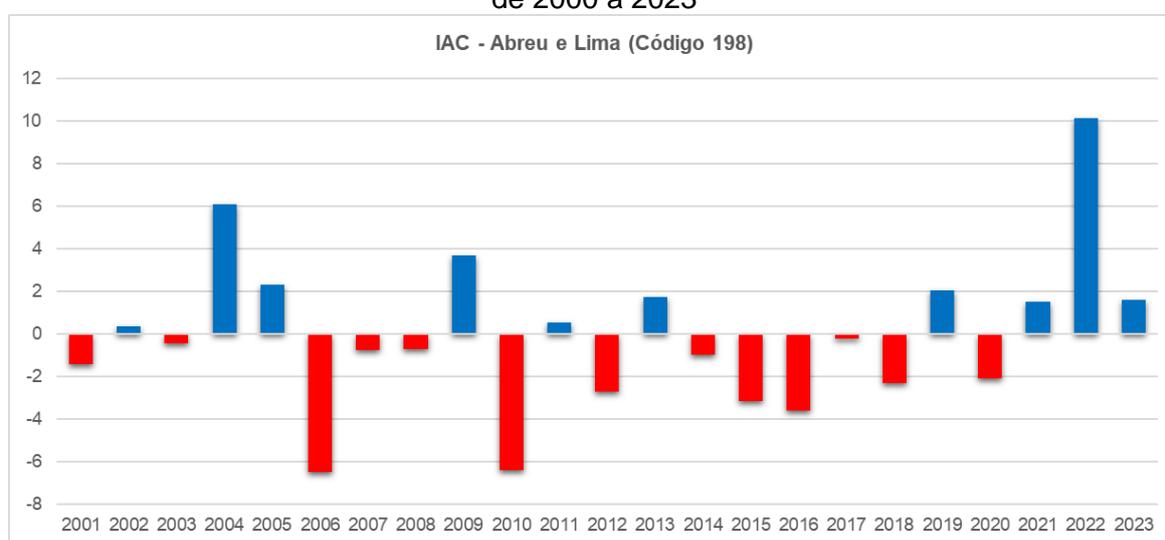
RESULTADOS E DISCUSSÕES

As variações nos Índices de Anomalia de Chuvas foram identificadas de maneira distinta, em termos quantitativos de intensidade, de acordo com cada município selecionado, ainda que, em termos gerais, a classificação dos anos climatológicos quanto ao percentual

total de chuva tenha apresentado um padrão semelhante, já que são áreas nas quais a predominância do mesmo tipo climático é presente, conforme Mendonça e Danni-Oliveira (2007). Assim, por meio da técnica estatística, os gráficos que constam nas figuras 5, 7 e 11 são demonstrativos dessa distribuição temporal ao longo de 23 anos de observação.

De acordo com a figura 5, elaborada objetivando classificar o comportamento anômalo na cidade de Abreu e Lima, percebe-se a predominância do IAC categorizado como negativo dentro do período de análise, destacando-se na série histórica os anos de 2006 e 2010, respectivamente, com valor de -6 para ambos os momentos.

Figura 5 – Índice de Anomalia de Chuvas para o município de Abreu e Lima entre os anos de 2000 a 2023



Fonte: As Autoras.

Tais anos, portanto, foram classificados como extremamente secos conforme o quadro 1, outra característica importante foi a presença de chuvas totais anuais abaixo da média tanto para 2006 quanto para 2010 (1.106 milímetros e 1.113 milímetros, respectivamente). Na situação específica de 2006, verificou-se chuvas muito abaixo do esperado para os meses de menor disposição de precipitação, principalmente, no mês de fevereiro, considerado, o mais seco entre todos os analisados, totalizando 4.1 milímetros.

Essas constatações são distintas dos resultados encontrados por Nóbrega e Santiago (2016) para a cidade do Recife, capital estadual, visto que, conforme o autor, a partir da década de 2000, as anomalias positivas são preponderantes no recorte selecionado.

No entanto, salienta-se a relevância do referido estudo para revelar a importância de investigar as características das variações espaço-temporais a nível local, principalmente para propostas que busquem ressaltar os valores extremos, ou seja, as situações excepcionais registradas.

Outrossim, o autor entende que os momentos de mudança nos padrões negativos e positivos estão diretamente correlacionados aos eventos de EN/LN e Dipolo do Atlântico em suas fases positivas e negativas. Em seguida, o gráfico da figura 6, construído para destacar as oscilações curtas móveis, demonstra as questões apresentadas acima.

Figura 6 – Distribuição mensal das chuvas para o mês de fevereiro, considerando a média móvel, no município de Abreu e Lima



Fonte: Elaborado pelas autoras, com base nos dados da APAC (2024).

O Dipolo do Atlântico é um fenômeno climático que influencia as condições de temperatura da superfície do mar na região tropical do Atlântico. Ele é caracterizado pela variação oposta das temperaturas da superfície do mar entre duas regiões principais: uma área de aquecimento anômalo próximo à costa leste da África (chamada de região negativa) e outra de resfriamento anômalo ao largo da costa nordeste do Brasil (chamada de região positiva).

Em resumo, o Dipolo do Atlântico desempenha um papel crucial na modulação das chuvas no Nordeste do Brasil ao influenciar os padrões de circulação atmosférica e a distribuição de temperatura da superfície do mar na região tropical do Oceano Atlântico. Esta interação complexa entre o oceano e a atmosfera é fundamental para entender a variabilidade climática nessa parte do país (Ferreira; Mello, 2005).

Ainda sob essa ótica, uma particularidade para a estação pluviométrica de Abreu e Lima pode ser evidenciada a partir da análise do ano de 2010 conforme mencionado acima, pois em comparação com as outras estações adjacentes utilizadas para fins de avaliação, nota-se uma anomalia negativa maior.

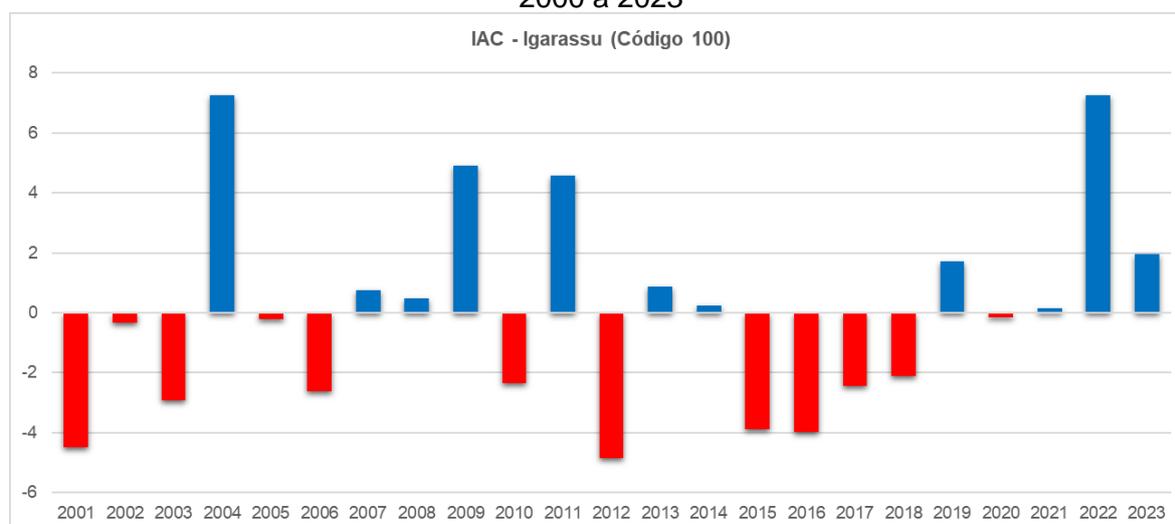
Uma das explicações para tal registro discrepante pode ser justificado pela configuração do posto pluviométrico no que se refere às características de localização e altitude, principalmente porque há diferenças altimétricas entre as estações abordadas, sendo a de

Abreu e Lima localizada a cerca de 47 metros e as de Igarassu e Paulista situadas a 13 e 19 metros, respectivamente. Esse exemplo, portanto, podendo ser uma representação das variações de precipitações em razão das situações altitudinais dos locais de coleta dos dados.

Contudo, reitera-se que a aprofundada investigação da influência de variáveis altimétricas requer a consideração de condições de baixa atmosfera e informações do terreno dadas pelo estudo das correlações estatísticas e geoestatísticas, resultando em uma representação mais precisa da distribuição espacial das chuvas sob tais efeitos para a área. Nessa direção, autores como Oettli e Camberlin (2005) e, mais recentemente, Shetty, Umesh e Shetty (2022), são compatíveis quanto à ligação entre as diferenças de precipitação com as variáveis ao longo do espaço geográfico, entre elas os limites topográficos gerais e as dinâmicas específicas do terreno em que se encontra o posto, interferindo, com isso, nas atividades convectivas, necessitando de uma investigação baseada nas ditas “escalas finas” de abordagem (Hughes; Hall; Fovell, 2009; Sun *et al.*, 2021).

A figura 7 mostra as anomalias classificadas para a estação pluviométrica no município de Igarassu, em que a média anual das chuvas (figura 2), é bastante semelhante, embora os índices anômalos apresentem discrepâncias. Sendo assim, a presença de períodos categorizados na faixa de “extremamente secos” e “extremamente chuvosos” são identificados nos anos de 2001, 2012, para a situação de baixos índices pluviométricos, e 2009, 2011 e 2022, para a situação de elevados índices pluviométricos. Foram considerados anos “chuvosos” os períodos de 2007, 2008, 2013, 2014, 2019, 2021 e 2023, dessa forma, nenhum ano foi considerado, de acordo com a metodologia aplicada, “muito chuvoso”, “seco, ou “muito seco”.

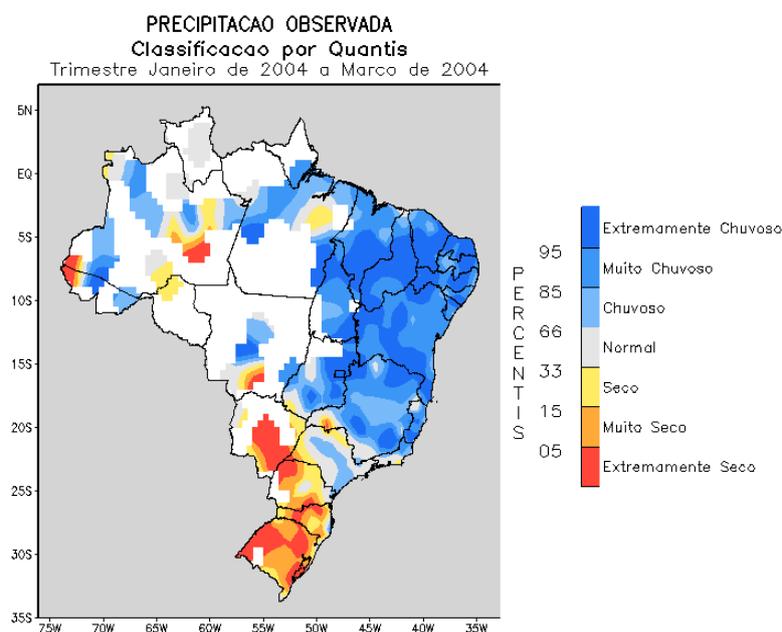
Figura 7 – Índice de Anomalia de Chuvas para o município de Igarassu entre os anos de 2000 a 2023



Fonte: As Autoras.

Tomando por base uma breve avaliação das condições gerais da atmosfera que ajudam a explicar a ocorrência de fenômenos extremos chuvosos nos anos de 2004 e 2022, em um primeiro momento verificou-se precipitações intensas durante o mês de janeiro de 2004 para todo o litoral nordestino, o que interferiu em grande parte para o índice de anomalia positivo das chuvas nesse ano. O mapa de precipitação (figura 8) observada no referido mês considerando a técnica dos quantis também apresentou resultados semelhantes ao IAC identificado no presente estudo.

Figura 8 – Anomalias de precipitação registradas no Brasil em escala trimestral a partir da técnica dos quantis



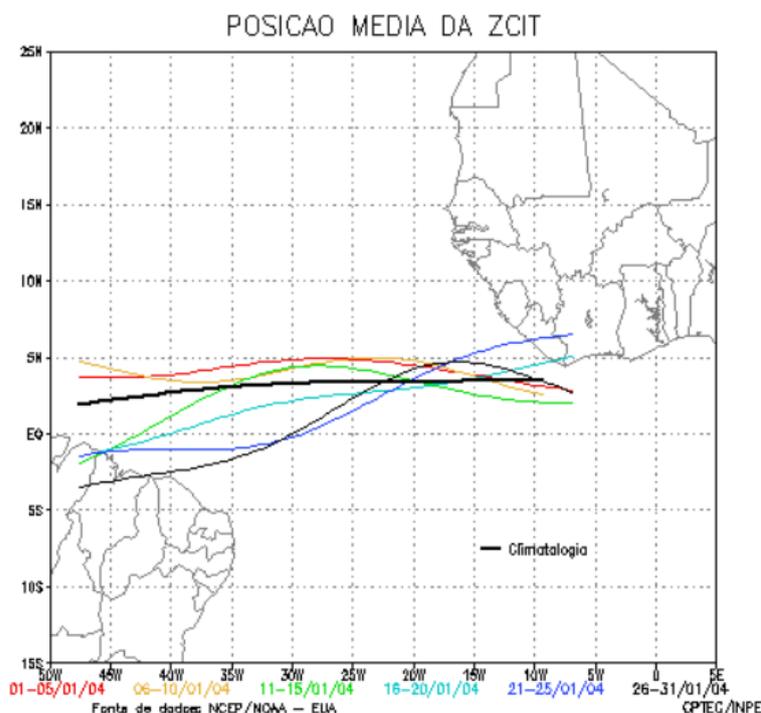
Fonte: Monitoramento da precipitação - INMET (2024).

Conforme o boletim Climanálise (Instituto de Pesquisas Espaciais, 2004), em janeiro de 2004 destacaram-se os vórtices ciclônicos em altos níveis que atuaram no Oceano Atlântico, preferencialmente entre a longitude 20°W e o Nordeste do Brasil e entre 8°S e 22°S. No total, foram diagnosticados oito episódios nos oceanos Atlântico e Pacífico. Durante a ocorrência de dois episódios da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), foi notada a interação com os VCAN's.

Além do mais, a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) posicionou-se ao sul e aproximou-se da região equatorial, consequentemente, sobrepondo-se ao Nordeste do Brasil, e esse deslocamento favorece a convergência de massas de ar úmidas e quentes, resultando em chuvas frequentes e intensas na região (figura 9), fato que ocorreu em determinados dias de janeiro, em particular próximo à costa do Nordeste, algo incomum para a época, já que tal posição é identificada a partir dos meses de março, abril e maio. Nos episódios de ZCAS

(Zona de Convergência do Atlântico Sul), houve a presença de uma banda de nebulosidade semi-estacionária, devido à influência de um cavado em altos níveis sobre o Oceano Atlântico, justamente próximo ao litoral do Nordeste.

Figura 9 – Posição média estimada da ZCIT para o mês de janeiro de 2004 a partir dos valores de radiação de ondas longas (ROL)



Fonte: CPC (2014).

Considerando a série temporal selecionada, o mês de janeiro de 2004 concentrou os maiores acumulados históricos em todos os postos analisados, sendo a estação pluviométrica de Igarassu a que registrou totais pluviométricos mais expressivos (484 milímetros), bastante acima da média segundo o gráfico apresentado na figura 2.

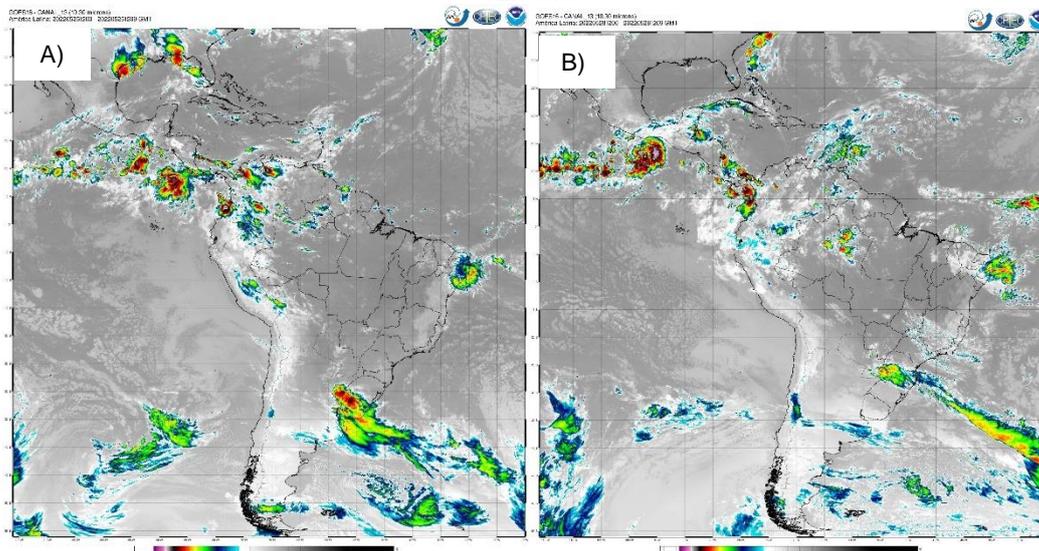
As excepcionalidades que fizeram de 2022 um ano extremo em termos pluviométricos estiveram associados aos eventos registrados no mês de maio do referido ano em que o acumulado mensal ultrapassou os 500 milímetros, dos quais mais da metade do volume total esteve concentrado em apenas quatro dias do mês (do dia 24/05 ao dia 28/05).

Dessa maneira, a sucessão de atividades convectivas associadas a um padrão de TSM (temperatura de superfície do mar) quente ocasionaram fortes instabilidades atmosféricas ao longo da costa do Nordeste brasileiro, indicando permanência da La Niña para o período e, conseqüentemente, maior disposição de precipitação pluvial.

Segundo Marengo *et al.* (2023) todos os eventos pluviais registrados foram compatíveis ao comportamento (figura 10 a e b) de Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs), sistema atmosférico bastante comum durante o inverno austral e reconhecido por repercutir

em volumes diários precipitados expressivos e deflagradores de alagamentos, inundações e outras problemáticas socioambientais identificadas nos sítios urbanos atingidos de forma recorrente (Anjos *et al.*, 2024; Vale *et al.*, 2023).

Figura 10 - Imagem do satélite GOES-16 (canal 13) representativas dos dias 25/05 (a) e 28/05 (b) às 12h GMT



Fonte: Instituto de Pesquisas Espaciais (2022).

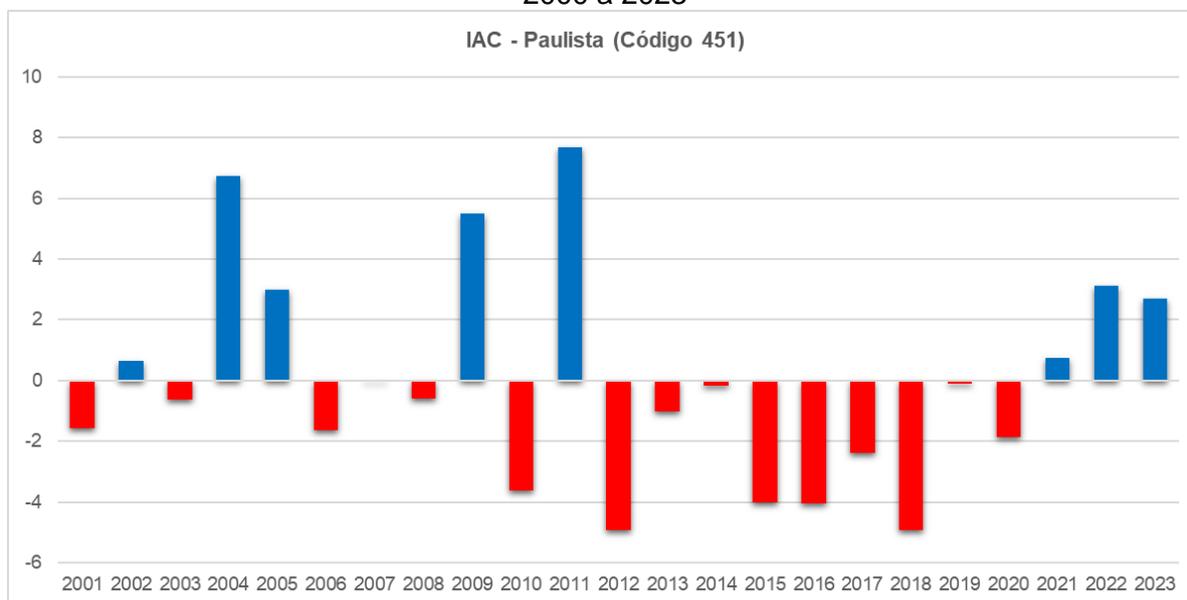
Entende-se também que as frentes frias identificadas em dias antecedentes aos dos eventos principais contribuíram para a intensidade das propagações de leste a oeste nas áreas afetadas. As perturbações que atingiram a RMR nos dias mencionados foram peculiares quanto à velocidade e o desenvolvimento vertical do sistema, além do aumento da convergência em níveis baixos devido à circulação da brisa e ao atrito na superfície do continente conforme Marengo *et al.* (2023).

A estação pluviométrica localizada na cidade de Paulista (figura 11), no geral, registrou os maiores acumulados médios dentre os municípios analisados, contudo as anomalias negativas de precipitação foram identificadas em maiores anos em Paulista, sobretudo após a década de 2010, em que todos os anos registraram valores negativos, com exceção de 2011. A variação temporal identificada nos índices foram de -0.18 a -4.93, contabilizando, assim, a presença de anos classificados como “extremamente secos” como foi o caso dos anos de 2012, 2015, 2016 e 2018, “muito seco” como foi o caso do ano de 2010 e “seco” para o ano de 2017.

Esses resultados vão de encontro às investigações feitas por Anjos, Wanderley e Nóbrega (2020) no intuito de analisar a precipitação no Recife a partir de postos distribuídos em diferentes pontos distintos do território. Com isso, segundo os dados levantados pela pesquisa, na análise dos anos mais secos, não existe um padrão para todas as estações,

prevalecendo a alternância de volumes precipitados abaixo do esperado em locais distintos e até mesmo em anos distintos dentro de localidades submetidas às mesmas características em termos de climatologia dinâmica.

Figura 11 – Índice de Anomalia de Chuvas para o município de Paulista entre os anos de 2000 a 2023



Fonte: As Autoras.

Por outro lado, as anomalias positivas, registradas em menor frequência, foram encontradas nos anos de 2002, 2004, 2005, 2009, 2011, 2021, 2022 e 2023, sendo os anos de 2004, 2009 e 2011 os períodos categorizados como “extremamente chuvosos” por apresentarem um IAC variando de 5.5 a 7.69. A principal diferença das anomalias identificadas na estação de Paulista esteve, dessa forma, na classificação de 2022 como ano “muito chuvoso” em comparação aos outros postos analisados que foram classificados como “extremamente chuvoso”.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo evidenciou e reforçou a existência de anos com consideráveis extremos pluviométricos para um recorte de três municípios na área norte da Região Metropolitana do Recife através de uma metodologia que se mostrou eficiente para determinar os períodos de chuvas abaixo da média e acima da média nas estações utilizadas, permitindo suas posteriores comparações e discussões acerca das variações de precipitação intermunicipal.

Assim, a realização do estudo também permitiu uma atualização das análises climáticas com base na estatística descritiva para a localidade, tornando possível o conhecimento acerca

do comportamento das chuvas nesses ambientes, já que não há muitas referências na literatura científica considerando outros municípios da RMR devido à baixa cobertura de dados e concentração das pesquisas na capital do estado.

Sugere-se, portanto, uma maior amplitude de investigação sobre as características climáticas dessas outras cidades em diversas escalas, sobretudo quando se considera um contexto de aumento dos eventos extremos.

Os resultados encontrados ao se aplicar o Índice de Anomalia de Chuvas ressaltam a importância de entender as diferenças de precipitação a nível local em conjunção aos outros fatores geográficos que podem influenciar diretamente a distribuição da chuva de um local para outro, tendo os resultados quantitativos aqui levantados como um parâmetro para justificar o desenvolvimento dessas vertentes de pesquisas integradas entre o ambiente e a sociedade.

REFERÊNCIAS

- ANJOS, Lillian Souza dos *et al.* Resgate histórico dos eventos extremos de precipitação e seus impactos no município do Recife-PE. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 34, p. 335-359, 2024.
- ANJOS, Rafael Silva dos; WANDERLEY, Lucas Suassuna de Albuquerque; NÓBREGA, Ranyére Silva. 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, 2020.
- APAC - AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Monitoramento pluviométrico**. Recife: APAC, 2024. Disponível em: <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. Acesso em: 15 abr. 2024.
- ARAGÃO, Maria Letícia Silva; DUARTE, Cristiana Coutinho. Dinâmica climática, eventos extremos e impactos associados no município do Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 16, n. 2, p. 818-836, 2023.
- ARAÚJO, Lincoln Eloi.; MORAES NETO, João Miguel de; SOUZA, Francisco de Assis Salviano. Classificação da precipitação anual e da quadra chuvosa da bacia do rio Paraíba utilizando índice de Anomalia de Chuva (IAC). **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 93-110, 2009.
- AYOADE, Jonhson. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Biomás**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2017. Disponível em: www.mma.gov.br/biomás. Acesso em: 18 jun. 2024.
- CPC - CLIMATE PREDICTION CENTER. **Monitoring and Data (Products)**. Maryland: CPC, 2014. Disponível em: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/monitoring_and_data/. Acesso em: 7 jul. 2024.
- FERREIRA, Antonio Geraldo; MELLO, Nammir Giovanni da Silva. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 14-22, 2005.

FONSÊCA, Drielly Naama; CORRÊA, Antonio Carlos de Barros; SILVA, Adriana Cassiano da. Compartimentação geomorfológica da região metropolitana do Recife (RMR) a partir da análise morfoestrutural. **Geo Uerj**, Rio de Janeiro, n. 29, p. 201-219, 2016.

GOMES, Helber Barros. **Distúrbios ondulatórios de leste no nordeste brasileiro: climatologia e modelagem numérica**. 2012. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

HASTENRATH, Stefan; ROSEN, Arnold. Patterns of India monsoon rainfall anomalies. **Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography**, Copenhagen, v. 35, n. 4, p. 324-331, 1983.

HUGHES, Mimi; HALL, Alex; FOVELL, Robert. Blocking in areas of complex topography, and its influence on rainfall distribution. **Journal of the Atmospheric Sciences**, Boston, v. 66, n. 2, p. 508-518, 2009.

IBGE. **População**. Rio de Janeiro: IBGE, [2024]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao.html>. Acesso em: 10 jul. 2024.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Monitoramento da precipitação**. Brasília, DF: INMET, 2024. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/prec>. Acesso em: 7 jul. 2024.

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). **Divisão de satélites e sistemas ambientais**. São José dos Campos: INPE, 2022. Disponível em: <https://satellite.cptec.inpe.br/home/index.jsp?i=br>. Acesso em: 11 jul. 2024.

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). **Publicação mensal de janeiro de 2004**. São José dos Campos: INPE, 2004. Disponível em: https://dataserver.cptec.inpe.br/dataserver_clima/documentos/climanalise/boletim/2004/fev04.pdf. Acesso em: 10 jul. 2024

KATZ, Richard; GLANTZ, Michael. Anatomy of a rainfall index. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 114, n. 4, p. 764-771, 1986.

KOUSKY, Vernon; GAN, Manoel Alonso. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, Stockholm, v. 33, n. 6, p. 538-551, 1981.

MARENGO, José Antônio Maria *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**, [S. l.], v. 39, p.1189-1200, Mar. 2023.

MENDONÇA, Francisco de Assis. **Riscos climáticos: vulnerabilidades e resiliência associados**. São Paulo, Paco Editorial, 2014.

MENDONÇA, Francisco de Assis; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo. Oficina de Textos, 2017.

MORAIS, Paloma Damascena. **Vulnerabilidade socioambiental e a perspectiva de resiliência a desastres nas cidades da Região Nordeste do Brasil**: João Pessoa, Recife e Maceió. 2020. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

MOTA, Galdino Viana; GANDÚ, Adilson Wagner. **Estudo observacional de distúrbios ondulatórios de leste no Nordeste brasileiro**. 1997. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

NERY, Jonas Teixeira; SIQUEIRA, Bruna. Índice de anomalia de chuva aplicado ao estudo das precipitações no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 27, p. 772–788, 2021.

- NÓBREGA, Ranyére; SANTIAGO, Gabriela Ayane Chagas Felipe. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografía Norte Grande**, Santiago de Chile, n. 63, p. 9-26, 2016.
- NORONHA, Gustavo Carneiro de; HORA, Mônica de Aquino Galeano Massera; SILVA, Luciane Pimentel. Análise do índice de anomalia de chuva para a microbacia de Santa Maria/Cambiocó, RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 31, p. 74-81, 2016.
- OETTLI, Pascal; CAMBERLIN, Pierre. Influence of topography on monthly rainfall distribution over East Africa. **Climate Research**, Oldendorf, v. 28, n. 3, p. 199-212, 2005.
- REBOITA, Michelle Simões *et al.* Análise sinótica e numérica de um VCAN no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 10, n. 1, p. 41-59, 2017.
- SATYAMURTY, Prakki; NOBRE, Carlos Augusto; DIAS, Pedro Silva. South America. *In*: KAROLY, David J.; VINCENT, Dayton G. (ed.). **Meteorology of the Southern Hemisphere**. Boston: American Meteorological Society, 1998. chap. 3, p. 119-140. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-935704-10-2>. Acesso em: 7 jul. 2024.
- SHETTY, Swathi; UMESH, Pruthviraj; SHETTY, Amba. Dependability of rainfall to topography and micro-climate: an observation using geographically weighted regression. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 147, n. 1, p. 217-237, 2022.
- SILVA, Tarciana Rafaela Barbosa Figueiroa *et al.* Climate indices-based analysis of rainfall spatiotemporal variability in Pernambuco State, Brazil. **Water**, [S. l.], v. 14, n. 14, p. 2190-2207, 2022.
- SUN, Xiaoyan *et al.* On the localized extreme rainfall over the Great Bay Area in South China with complex topography and strong UHI effects. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 149, n. 8, p. 2777-2801, 2021.
- SVOBODA, Mark; FUCHS, Brian (ed.). **Handbook of drought indicators and indices**. Geneva: World Meteorological Organization, 2016.
- TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2009.
- VALE, Thiago Luiz *et al.* Previsão de extremos de chuva em Pernambuco: os eventos de maio de 2022. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 16, n. 1, p. 646-671, 2023.
- VALENCIO, Norma *et al.* A produção social do desastre: dimensões territoriais e político-institucionais da vulnerabilidade das cidades brasileiras frente às chuvas. **Teoria & Pesquisa Revista de Ciência Política**, São Carlos, v. 1, n. 44, p. 1-48. 2004.
- VAN ROOY, M. P. A rainfall anomaly index independent of time and space. **Notos**, Pretoria, v. 14, n. 43, p. 6-15, 1965.
- WANDERLEY, Lucas Suassuna de Albuquerque *et al.* Tipos de Tempo Associados a Eventos Diários de Chuva Intensa na Cidade de Recife-PE, Brasil. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 33, p. 1-14, 2021.

Recebido: abril de 2024.

Aceito: julho de 2024.