

Análise espacial da concentração das chuvas diárias no estado da Paraíba, Brasil

Spatial analysis of daily rainfall concentration in Paraíba state, Brazil

Leonardo Caçadini Bizzera da Silva*, Juliana Vilardo Mendes**, Patrick do Nascimento da Silva***, Núbia Beray Armond****

*Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), leocacadini@gmail.com

**Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), julianavilardo@outlook.com

***Departamento de Geografia, Indiana University - Bloomington, padona@iu.edu

****Departamento de Geografia, Indiana University - Bloomington, nuberay@iu.edu

<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v61i1.92690>

Resumo

Estudos recentes evidenciam a redução dos totais pluviométricos e o aumento de eventos extremos de chuva no Nordeste brasileiro. Compreender a concentração da precipitação diária é crucial para o planejamento ambiental e a gestão territorial. Este artigo analisa a concentração diária da precipitação no Estado da Paraíba entre 1970 e 2019, utilizando dados de 26 postos pluviométricos. Foram avaliados indicadores como precipitação anual acumulada (PP), frequência de dias com precipitação até 20 mm (R20MM), chuva máxima diária (Rx1Day), chuva máxima em 5 dias (Rx5Day), e a frequência de dias com precipitação nos percentis 10 (P10), 90 (P90), 95 (P95) e 99 (P99). Também foram considerados o número de dias chuvosos (NDC) e o *Concentration Index* (CI), que estima o peso da precipitação diária em relação ao total anual. Aplicou-se o teste de Mann-Kendall e a declividade de Sen para identificar tendências na série temporal e sua magnitude. Espacialmente, os maiores valores de concentração foram encontrados nas regiões do Litoral e Brejo, diminuindo em direção ao interior. Temporalmente, a maioria dos indicadores mostrou tendências negativas, indicando redução tanto nos totais anuais de chuva quanto na precipitação isolada ou em agrupamentos de dias. No entanto, o CI mostrou uma tendência de aumento, sugerindo maior concentração das chuvas. Valores de P10 também mostraram tendência de aumento, indicando que os dias com menores valores de precipitação estão se tornando mais frequentes.

Palavras-chave:

Precipitação, Concentração pluviométrica, *Concentration Index*, Eventos extremos, Nordeste brasileiro.

Abstract

Recent studies indicate a reduction of total rainfall and an increase of extreme rainfall events in the Brazilian Northeast region. It is crucial to understand the concentration of daily rainfall for environmental planning and land management. This study performs the analysis of the daily rainfall

concentration for the Paraíba State in the period between 1970 and 2019, using data from 26 rainfall stations across the State. Additionally, to the total annual precipitation (PP), the following concentration indicators were applied: frequency of days with precipitation up to 20mm (R20MM), maximum daily rainfall (Rx1Day), maximum rainfall over 5 days (Rx5Day), frequency of days with precipitation in the 10th (P10), 90th (P90), 95th (P95), and 99th (P99) percentiles, number of rainy days (NRD), and the Concentration Index (CI), which estimates the contribution of daily rainfall to the annual total. The Mann-Kendall test and Sen's slope were applied to identify possible trends in the time series and its magnitude. Spatially, the highest concentration values were observed in the *Litoral* and *Brejo* regions, decreasing towards the State hinterland. Temporally, most indicators displayed negative trends, suggesting reductions in both annual rainfall totals and rainfall on isolated days or groups of days. However, the CI showed predominantly an upward trend, indicating increased rainfall concentration. P10 values also exhibited an increase tendency, suggesting that days with the lowest rainfall amounts are becoming more frequent.

Keywords:

Precipitation, Rainfall concentration, *Concentration Index*, Extreme events, Northeast Brazil.

I. INTRODUÇÃO

O sexto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021) destaca mudanças significativas nos padrões de precipitação em várias regiões do mundo como resultado das mudanças climáticas globais. Embora essas mudanças sejam variáveis em diferentes áreas, indicam uma tendência geral de aumento na frequência e intensidade de eventos extremos de chuvas em todo o mundo.

Na região do Nordeste brasileiro, localizada na porção nordeste da América do Sul, os efeitos das mudanças climáticas já são consistentemente observados. Há uma redução na precipitação pluviométrica média na área, seguida pelo aumento tanto em magnitude quanto em frequência de eventos climáticos extremos associados à precipitação. Estudos como o de Spinoni et al. (2014) identificaram um aumento na área de aridez no Nordeste brasileiro entre 1951 e 2010. Brito et al. (2018) também observaram um aumento na duração e severidade dos períodos de seca na região, utilizando dados de 1981 a 2016. Além disso, Ferreira et al. (2017) encontraram tendências significativas de diminuição da precipitação em parte da região semiárida de Pernambuco, analisando dados de 1963 a 2014. Outros estudos, como os de Santos e Manzi (2011) e Nóbrega et al. (2015), também destacaram tendências positivas para eventos extremos de chuva nos estados do Ceará e Pernambuco, respectivamente.

No contexto das projeções climáticas, espera-se a ocorrência de eventos de tempestades e estiagens prolongadas na área, com um nível de confiança médio, conforme apontado pelo IPCC (2021). Estudos como o de Marengo et al. (2017), que utilizaram modelos CMIP5, indicaram uma redução nas chuvas na região, da

ordem de 0,3 mm/dia no cenário RCP8.5. Especificamente, dentro da estação chuvosa (março-abril-maio), a redução foi de 0,5 mm/dia, enquanto durante o inverno austral e a primavera, essa diminuição foi de 1 mm/dia. Esses resultados instigam reflexões sobre estratégias de adaptação e mitigação, como destacado por Gutiérrez et al. (2014) e Kane (1998).

Os pesquisadores têm se dedicado à compreensão dos padrões e excepcionalidades associados à precipitação na área em estudo, especialmente em relação aos seus impactos em ambientes urbanos (MONTEIRO, 2022; WANDERLEY; NÓBREGA, 2022; MEDEIROS et al., 2021; WANDERLEY et al., 2021; PEREIRA et al., 2020; CAVALCANTE et al., 2019; WANDERLEY et al., 2018; LUCENA et al., 2016). No contexto específico do estado da Paraíba (PB), alvo desta pesquisa, vários estudos têm sido conduzidos para aprofundar o entendimento dos sistemas geradores de precipitação pluviométrica (ALMEIDA; CABRAL JÚNIOR, 2014), assim como a distribuição e frequência das chuvas em escalas diárias e horárias (SOUSA; LUCENA, 2023; PEREIRA, 2016). Paralelamente, as dimensões da vulnerabilidade climática e socioambiental também têm sido amplamente exploradas (SILVA et al., 2021; SILVA et al., 2019; ARAÚJO et al., 2018; MARQUES et al., 2018), especialmente no contexto da redução de riscos de desastres relacionados ao clima (MOURA et al., 2016; SERGIO et al., 2018; SILVA; MOURA, 2018; ARAÚJO et al., 2019; CUNICO et al., 2022). Entretanto, há uma escassez de estudos que empregam índices de concentração para investigar a distribuição espacial da precipitação e analisar suas tendências ao longo do tempo. Essas informações são potencialmente relevantes tanto para a caracterização climática de uma região específica (SERRANO-NOTIVOLI et al., 2017) quanto para identificar e analisar sinais positivos ou negativos da precipitação em escalas anuais ou sazonais, o que pode indicar mudanças nos padrões pluviométricos e fornecer insights sobre as alterações climáticas globais (ZHANG et al., 2019).

A literatura oferece uma variedade significativa de índices para entender a concentração espacial e temporal das chuvas, especialmente porque eles são importantes indicadores no contexto das mudanças climáticas. Entre esses índices, destacam-se aqueles desenvolvidos pelo Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI), que fazia parte do World Climate Research Program (WCRP) da World Meteorological Organization (WMO). Esse grupo foi responsável por criar índices-padrão amplamente utilizados em estudos sobre detecção de mudanças climáticas globalmente. Foram elaborados 27 índices principais que abrangem as variáveis de temperatura e precipitação. Entre esses índices, alguns dos mais relevantes são o Rx1day (precipitação máxima em 1 dia), R5mm (dias com precipitação igual ou superior a 5mm), R20mm (dias com precipitação igual ou superior a 20mm), P95 (percentil 95) e P99 (percentil 99) (PETERSON et al., 2001;

KARL et al., 1999). Além dos índices do ETCCDI, outros têm sido amplamente difundidos na literatura e, mais recentemente, também têm sido usados como indicadores importantes das mudanças climáticas, especialmente o Standardized Precipitation Index (SPI) (MCKEE et al., 1993) e o Precipitation *Concentration Index* (PCI) (OLIVER, 1980).

O SPI é obtido ao normalizar a precipitação mensal por meio de uma função de distribuição de probabilidade (CPTEC/INPE, 2022). É amplamente utilizado na detecção e projeção de períodos de seca (KOMUSCU, 1999; AGNEW, 2000; SILVA et al., 2023; OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2021; COSTA et al., 2020; SILVA et al., 2020; CUNHA et al., 2018; BRITO et al., 2017; AHMAD et al., 2016; MORADI et al., 2011; KHAN et al., 2008). Por outro lado, o PCI oferece informações sobre a concentração sazonal da precipitação e é mais comumente empregado na medição da sazonalidade pluviométrica (BHATTACHARYYA; SREEKESH, 2022; AMIRI; GOCIC, 2021; LI et al., 2020; ZHANG et al., 2019; TOLIKA, 2018; PETKOVIC et al., 2017; SHI et al., 2015).

Por outro lado, o *Concentration Index* (CI), proposto por Martín-Vide (2004), é um dos raros índices que quantifica a heterogeneidade da precipitação diária ao longo do ano, possibilitando uma análise da contribuição dos eventos de maior magnitude (em termos percentuais) para a quantidade total de precipitação (também em termos percentuais). O CI permite avaliar a importância dos dias em que ocorreu precipitação no total da precipitação acumulada. Seu cálculo é fundamentado na curva de Lorenz, que representa graficamente a distribuição cumulativa da precipitação em relação aos dias do ano. Essa curva é construída com a porcentagem acumulada da chuva no eixo y e a porcentagem acumulada de dias em que ocorreu precipitação no eixo x.

Conforme Núñez-Gonzalez (2020) e Caloiero (2014), o *Concentration Index* (CI) é uma ferramenta consolidada e eficiente de análise, sendo amplamente utilizado em várias regiões do mundo, incluindo Espanha (SERRANO-NOTIVOLI et al., 2017; MARTIN-VIDE, 2004), Irã (ALIJANI et al., 2007), China (HUANG et al., 2016; SHI et al., 2014, 2013; LI et al., 2010), Itália (COSCARRELLI; CALOIERO, 2012), Nova Zelândia (CALOIERO, 2014), Malásia (SUSHAILA; JEMAIN, 2012), Índia (PATEL; SHETE, 2015), Peru (ZUBIETA et al., 2017), Rússia (VYSHKVARKOVA et al., 2018) entre outros. No Brasil, grande parte dos estudos que empregam o CI concentra-se principalmente na Região Sul do país (BACK, 2022; BACK et al., 2020; PINHEIRO; MARTIN-VIDE, 2017). Destaca-se, ainda, a existência de lacunas na literatura em relação aos artigos que buscam relacionar o CI com fatores geográficos e tendências climáticas, tanto espaciais quanto temporais. Nesse contexto, este artigo sugere as potencialidades do CI como um índice que pode contribuir significativamente para os estudos sobre mudanças climáticas.

Nesse contexto, este artigo tem como objetivo realizar uma análise espaço-temporal da concentração das chuvas diárias no estado da Paraíba (PB). Para alcançar esse objetivo, propõe-se a utilização dos seguintes indicadores: precipitação total por ano (PP), número de dias chuvosos (NDC), frequência de dias com precipitação até 5mm (R5MM), frequência de dias com precipitação até 20mm (R20MM), chuva máxima diária (Rx1Day), frequência de dias com precipitação na faixa do percentil 10 (P10), percentil 90 (P90), percentil 95 (P95) e percentil 99 (P99), e, por fim, o CI, que estima o peso da precipitação diária em relação à precipitação total. Os dados diários de precipitação entre os anos de 1970 e 2019 foram utilizados, sendo extraídos de 26 postos pluviométricos distribuídos ao longo do estado, os quais foram disponibilizados no Portal HidroWeb.

Com o propósito de atingir tais objetivos, o texto foi organizado em cinco seções. A primeira delas aborda a caracterização da área de estudo, especialmente seu clima, destacando os principais sistemas atmosféricos responsáveis pela geração de chuvas. A segunda seção descreve os procedimentos metodológicos adotados e discute os índices utilizados, com foco especial no CI. Na terceira seção, os resultados são apresentados por meio de produtos gráficos e cartográficos, explorando tanto o padrão das chuvas nas regiões pluviometricamente homogêneas da Paraíba quanto a frequência dos indicadores de concentração de precipitação, incluindo o R5MM, R20MM, Rx1Day, P10, P90, P95, P99 e o *Concentration Index* (CI), que avalia a contribuição da precipitação diária em relação à precipitação total. A quarta seção analisa a distribuição espacial desses indicadores, relacionando-os com as características dinâmicas e estáticas do estado. Por fim, a quinta seção apresenta uma análise temporal dos indicadores, identificando possíveis tendências nas séries temporais e suas magnitudes.

Área de estudo

Localizado na Região Nordeste do Brasil, entre as latitudes 6°S e 8°S e longitudes 35°W e 39°W, o estado da Paraíba está em proximidade com a linha equatorial. Com uma área de 56.467,242 km², suas fronteiras são com o Rio Grande do Norte ao norte, Pernambuco ao sul, o Oceano Atlântico a leste e o Ceará a oeste (IBGE, 2021). Apresentando altitudes que variam entre o nível do mar e 1192m, seu relevo exhibe uma diversidade de cotas altimétricas, destacando-se as baixadas e tabuleiros litorâneos a leste, o Planalto da Borborema no centro e a Depressão Sertaneja a oeste. Essa topografia desempenha um papel crucial na configuração dos diferentes climas, incluindo áreas de semiaridez, caracterizadas não apenas pela escassez de água, mas também pelas altas taxas de evaporação (PARAÍBA, 2006; IBGE, 2002).

De acordo com o IBGE (2002), o estado da Paraíba apresenta uma diversidade de climas, incluindo o úmido, semiúmido e semiárido. No espectro térmico, varia desde o sub-quente (com média entre 15°C e 18°C

em pelo menos 1 mês) até o quente (com média superior a 18°C em todos os meses). O clima úmido é predominante em sua região litorânea, enquanto o semiúmido é encontrado na transição do litoral para o interior, e o semiárido abrange a maior parte do restante do estado.

Segundo Nimer (1989), a climatologia do Nordeste brasileiro é uma das mais complexas do mundo, devido principalmente à sua variedade pluviométrica e à sua posição geográfica em relação aos diferentes sistemas de circulação atmosférica. Ferreira e Mello (2005) apontam que fatores como modos de variabilidade, temperatura da superfície do mar, especialmente no Atlântico, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) e a ação dos ventos alísios contribuem para a formação de uma grande diversidade de tipos climáticos na região, em interação com os fatores geográficos.

Silva (1996) e Braga e Silva (1990) propuseram uma regionalização com base na precipitação pluviométrica dos municípios, dividindo a Paraíba em seis regiões pluviometricamente homogêneas, que, de leste a oeste, são: Litoral, Brejo, Agreste, Cariri/Curimataú, Sertão e Alto Sertão (**Figura 1**).

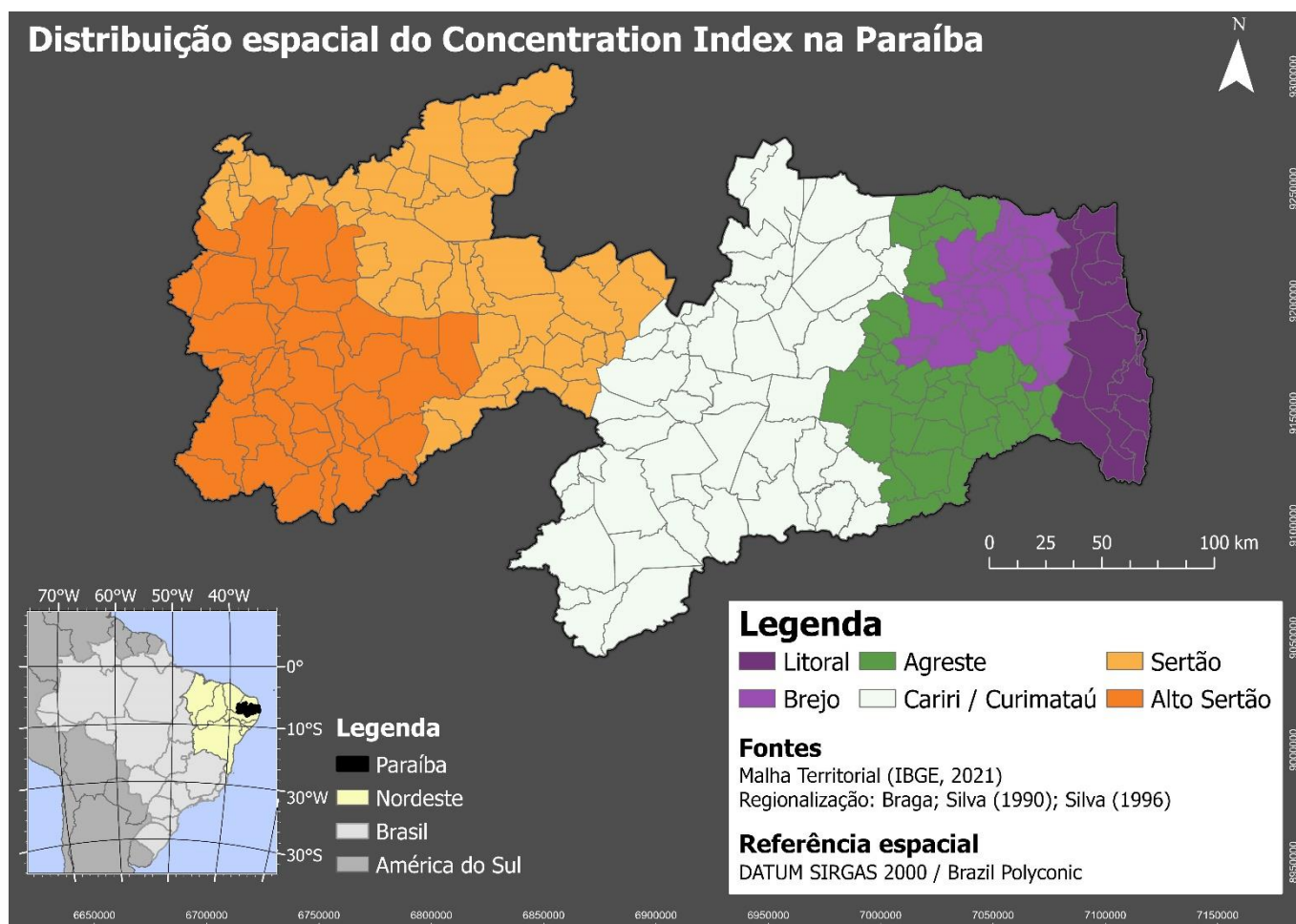


Figura 1 - Regiões pluviometricamente homogêneas do estado da Paraíba (Fonte: Autores).

Beck et al. (2011) realizaram uma caracterização climática das regiões pluviometricamente homogêneas da Paraíba, constatando que a pluviometria média anual é de 1510,8mm para a porção correspondente ao Litoral, passando por um total de 1082,7mm na área de Brejo. Ainda, seguindo para a parte interior, a média de 878,5mm pode ser encontrada em Alto Sertão, seguido de 779,1mm para a área do Sertão. Para a área do Agreste, a média é de 729mm, chegando a, finalmente, 482,7mm para a região do Cariri paraibano/Curimataú. Eles destacam que as regiões Litoral, Brejo e Agreste são influenciadas pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), pelos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) e pelas brisas marinhas e terrestres como principais sistemas geradores de chuva. Almeida e Cabral Júnior (2014) também apontam a ZCIT como central na gênese da precipitação na porção interior do estado. Os autores indicam que as diferenças na distribuição sazonal de precipitação entre a porção interior e leste ocorrem devido ao período de máxima convergência dos alísios com a brisa terrestre, que ocorre no trimestre Maio-Junho-Julho para o setor leste, enquanto para o Sertão e Alto Sertão, a ZCIT associada à convecção local atua de forma mais consistente entre os meses de outono e inverno. Outros sistemas atmosféricos, como Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) e Linhas de Instabilidade (LI), também desempenham papéis significativos na produção de estabilidades e instabilidades atmosféricas na região (ALBUQUERQUE et al., 2013; ALVES et al., 2006; FERREIRA; MELO, 2005; FILHO et al., 1996).

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Para caracterizar a distribuição espacial das chuvas no estado da Paraíba, foram utilizados dados diários de estações pluviométricas localizadas na área (Figura 2), disponibilizados no Portal HidroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA). Inicialmente, os dados de todos os postos classificados como operantes (394) foram baixados. Durante a investigação, os dados coletados foram submetidos a um rigoroso controle de qualidade. Nesse processo, foi realizado um filtro para selecionar uma série histórica mais ampla, consistente e com distribuição espacial significativa. Dessa forma, o período de estudo foi definido de 1970 a 2019. Dentro desses 50 anos, foram consideradas apenas as estações em que o número de falhas fosse inferior a 5% (aproximadamente 913 dos 18.261 dias). Como resultado desse processo, foram identificadas 26 estações pluviométricas (conforme mostrado na Figura 2 e na Tabela 1). É importante ressaltar que, devido ao recorte temporal escolhido para este estudo (escala diária em relação à série histórica), optou-se por não realizar o preenchimento de falhas com qualquer técnica.

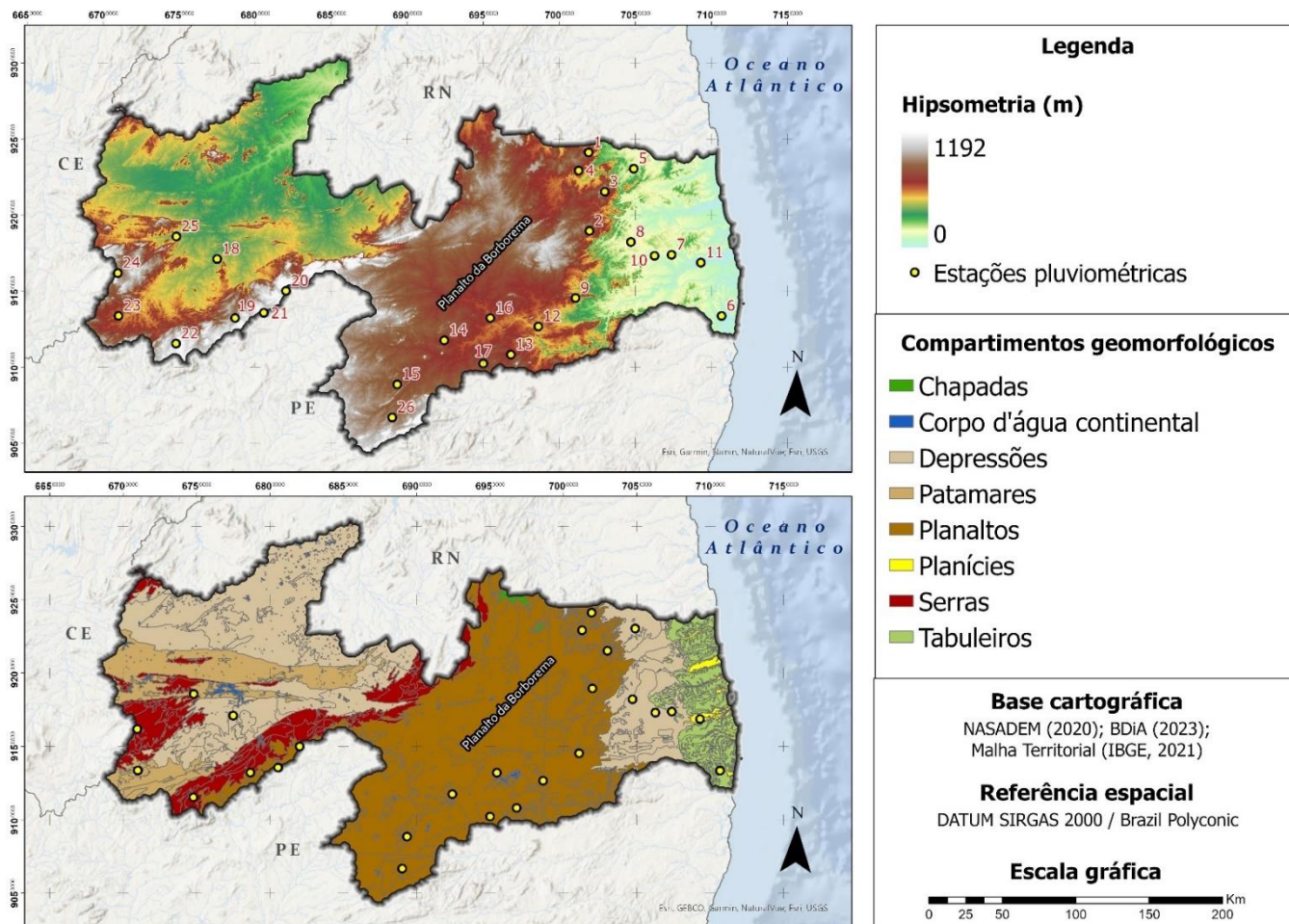


Figura 2 – Localização da área de estudo (Estado da Paraíba), com malha de estações pluviométricas sobre hipsometria e compartimentos geomorfológicos (Fonte: Autores).

Tabela 1 – Estações pluviométricas utilizadas

(continua)

ID	COD	Nome	Região Pluviom.	Latitude (S)	Longitude (O)	Altitude (m)
1	635028	Araruna	Agreste	-6.53	-35.74	580
2	635030	Areia	Brejo	-6.98	-35.72	445
3	635033	Bananeiras	Brejo	-6.75	-35.63	552
4	635037	Cacimba de Dentro	Agreste	-6.64	-35.80	460
5	635038	Caiçara	Brejo	-6.61	-35.47	185
6	734008	Alhandra	Litoral	-7.43	-34.91	49
7	735006	Sape	Brejo	-7.09	-35.22	125
8	735009	Mulungu	Brejo	-7.03	-35.47	100
9	735018	Fagundes	Agreste	-7.36	-35.78	520
10	735035	Caldas Branao	Agreste	-7.10	-35.32	146
11	735036	Ponte da Batalha	Litoral	-7.13	-35.05	18
ID	COD	Nome	Região Pluviom.	Latitude (S)	Longitude (O)	Altitude (m)
12	735124	Bodocongo	Cariri/Curimataú	-7.53	-36.00	350

13	736013	Riacho Santo Antonio	Cariri/Curimataú	-7.69	-36.16	455
14	736017	Coxixola	Cariri/Curimataú	-7.63	-36.56	465
15	736021	Camalau	Cariri/Curimataú	-7.89	-36.83	565
16	736022	Cabaceiras	Cariri/Curimataú	-7.49	-36.29	390
17	736025	Barra de São Miguel	Cariri/Curimataú	-7.75	-36.32	520
18	737006	Pianco	Alto Sertão	-7.21	-37.93	250
19	737016	Juru	Alto Sertão	-7.55	-37.81	470
20	737017	Imaculada	Sertão	-7.38	-37.51	750
21	737022	Agua Branca	Sertão	-7.51	-37.64	710
22	738015	Manaira	Alto Sertão	-7.71	-38.15	605
23	738020	Conceição	Alto Sertão	-7.56	-38.50	370
24	738022	Bonito de Santa Fé	Alto Sertão	-7.31	-38.51	575
25	738025	Aguiar	Alto Sertão	-7.09	-38.17	280
26	836000	São João do Tigre	Cariri/Curimataú	-8.08	-36.85	616

Fonte: Agência Nacional de Águas - ANA (2022).

Posteriormente, os dados foram importados para o *software RStudio*® para a geração de todos os índices. Inicialmente, calculou-se a precipitação média anual (PP) e a média anual do número de dias chuvosos (NDC). Considerou-se como dia chuvoso aquele em que a precipitação foi $\geq 0,2\text{mm}$. Para o cálculo de todos os indicadores (total anual - PP, número de dias de chuva - NDC, frequência de dias com precipitação até 5mm - R5MM, frequência de dias com precipitação até 20mm - R20MM, chuva máxima diária - Rx1Day, frequência de dias com precipitação na faixa do percentil 10 - P10, percentil 90 - P90, percentil 95 - P95, percentil 99 - P99 e, por fim, o *Concentration Index* - CI), foram desconsiderados aqueles anos em que o número de falhas fosse igual ou superior a 50% (conforme mostrado na Tabela 1). Por meio do pacote "*precintcon*" (POVOA; NERY, 2016), o *Concentration Index* (CI) foi gerado para cada uma das estações.

Para apoiar a análise da distribuição espacial e temporal dos indicadores de concentração das chuvas, foram elaborados mapas para cada uma das variáveis pluviométricas utilizando o método de interpolação *Spline with Barriers* no *ArcGIS PRO*® (FARIAS et al., 2017).

O CI determina o impacto relativo das diferentes classes de precipitação diária na série temporal. O índice avalia o peso do maior evento diário de precipitação na série. Considera-se a contribuição relativa (em porcentagem) da precipitação acumulada progressivamente (Y) em função da porcentagem acumulada de dias úmidos (X) durante a ocorrência de (Y). Seus valores variam entre 0 e 1. Valores elevados indicam que a precipitação é mais concentrada em alguns dias chuvosos durante o ano e vice-versa (CALOIERO, 2014).

Para exemplificar como o CI é calculado, seguindo o exemplo de Martin-Vide (2004), tomamos como referência as estações 736013 e 735009, que apresentam o menor e o maior valor de CI entre as estações

analisadas, respectivamente, indicando a distribuição da precipitação diária ao longo do ano. A concentração ou irregularidade diária pode ser verificada através do distanciamento relativo à linha de equidistribuição. Observando a Figura 3, pode-se notar que a estação 735009 (CI – 0,64) exibe maior concentração ou irregularidade do que a estação 736013 (CI – 0,53). Na estação 735009, uma determinada porcentagem dos dias mais chuvosos representa uma maior porcentagem do valor anual total de precipitação quando comparada à estação 736013.

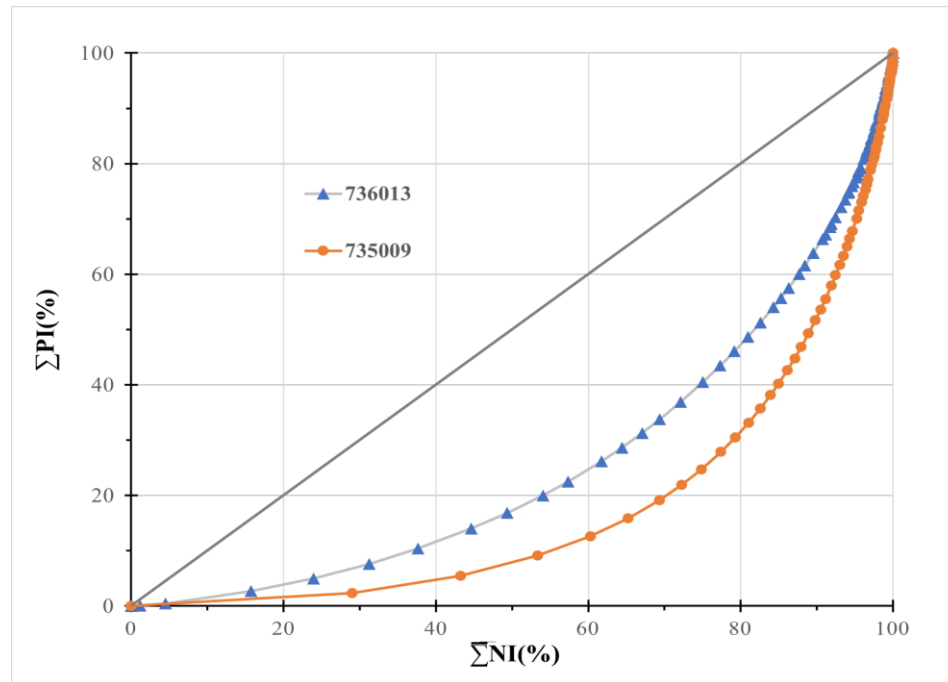


Figura 3 - Curva de concentração das estações 736013 e 735009 (1970-2019) (Fonte: Autores).

Martin-Vide (2004) explica que podemos aprimorar a curva de concentração ao substituímos os polígonos por curvas exponenciais. A curva exponencial é dada pela fórmula $Y=aX \exp(bX)$, onde a e b são constantes. Os parâmetros a e b da equação são dados por (MARTIN-VIDE, 2004):

$$a = \frac{\sum X_i^2 \sum \ln Y_i + \sum X_i \sum X_i \ln X_i - \sum X_i^2 \sum \ln X_i - \sum X_i \sum X_i \ln Y_i}{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (1)$$

$$b = \frac{N \sum X_i \ln Y_i + \sum X_i \sum \ln X_i - N \sum X_i \ln X_i - \sum X_i \sum \ln Y_i}{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (2)$$

Após o cálculo das duas constantes, a curva de concentração, traçada com ambos os eixos variando entre 0 e 100 é dado pela área A (MARTIN-VIDE, 2004):

$$A' = \left[\frac{a}{b} e^{bx} \left(x - \frac{1}{b} \right) \right]_0^{100} \quad (3)$$

Por fim, o *Concentration Index* é calculado por meio da seguinte fórmula (MARTIN-VIDE, 2004):

$$CI = \frac{5000 - A}{5000} \quad (4)$$

Conforme o exemplo, ao aplicarmos as equações para a estação 736013, temos que $a = 0.0958$ e $b = 0.0229$ e o $CI = 0.53$.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da precipitação pluviométrica na série histórica (por região pluviometricamente homogênea)

As estações pluviométricas foram analisadas em relação ao regime de chuvas durante a série histórica em investigação (1970 – 2019). Para cada região pluviometricamente homogênea, uma estação representativa foi selecionada e analisada por meio de um gráfico boxplot (Figura 4). As análises seguem uma sequência que parte do litoral em direção ao interior do Estado.

Na região do Litoral, representada pela estação Ponte da Batalha, observa-se um regime pluviométrico com chuvas mensais variando entre aproximadamente 20mm e 350mm, com mínimos podendo chegar a 0mm e máximos atingindo até 450mm. Os meses entre janeiro e julho apresentam significativa variabilidade na precipitação, evidenciada pela maior distância entre os limites interquartis (maior dispersão). Destaca-se especialmente os meses de abril, junho e julho, que sugerem essa variabilidade.

Uma observação importante pode ser feita ao analisar a mediana (representada pela linha preta dentro do boxplot): no mês de janeiro, a mediana está próxima ao limite inferior do primeiro quartil, não centralizada no boxplot (o que corresponderia à média). A posição da mediana abaixo dos valores médios sugere uma distribuição assimétrica dos dados de chuva, indicando a ocorrência de valores mais elevados de precipitação dentro do mês em análise (desvio positivo).

Quanto aos outliers, eles foram identificados em todos os meses. Os mais frequentes foram observados em setembro, novembro e dezembro, enquanto os mais significativos (mais distantes dos limites superiores de precipitação) foram encontrados em abril, julho e agosto.

A região pluviometricamente homogênea do Brejo, representada pela estação Areia, demonstrou um padrão sazonal semelhante ao da região do Litoral, embora os totais de precipitação fossem ligeiramente inferiores ao longo dos meses. O regime pluviométrico revela chuvas mensais variando entre 0mm e 300mm, com valores máximos podendo atingir até 400mm. Os meses de janeiro a julho também apresentaram a maior variabilidade na precipitação, evidenciada pela maior distância entre os limites interquartis. Destacam-se os meses de julho, abril, março e fevereiro, com distâncias significativas, sugerindo variabilidade.

Os valores de mediana ao longo dos meses indicaram uma dinâmica semelhante à encontrada no Litoral. Sua posição abaixo do centro dos boxplots (média) sugere uma distribuição assimétrica, indicando precipitação mais intensa (desvio positivo), especialmente nos meses de janeiro, fevereiro, julho, outubro e novembro. No entanto, o mês de agosto mostrou um padrão de desvio ligeiramente negativo, sugerindo episódios de baixa precipitação.

Quanto aos outliers, predominaram valores positivos em quase todos os meses, especialmente entre agosto e dezembro, com exceção de junho, que, apesar de apresentar dois outliers, indicou a ocorrência de um outlier negativo.

A região do Agreste, representada pela estação Cacimba de Dentro, apresentou valores totais de precipitação inferiores em comparação com as duas regiões analisadas anteriormente. Os dados revelam a presença de precipitação variando entre 0mm e aproximadamente 150mm, com valores máximos atingindo 300mm (em abril). Entre fevereiro e agosto, foi observada maior variabilidade, representada por limites interquartis mais distantes (maior dispersão).

Embora grande parte dos meses tenha apresentado valores de mediana próximos aos valores médios, os meses de fevereiro, outubro e novembro indicaram desvios positivos. Além disso, nesses meses, foram observados outliers positivos com maior frequência. Isso sugere que esses meses apresentam uma variabilidade extremamente significativa, com episódios de chuvas que podem ser classificados como extremos ocorrendo dentro desses períodos

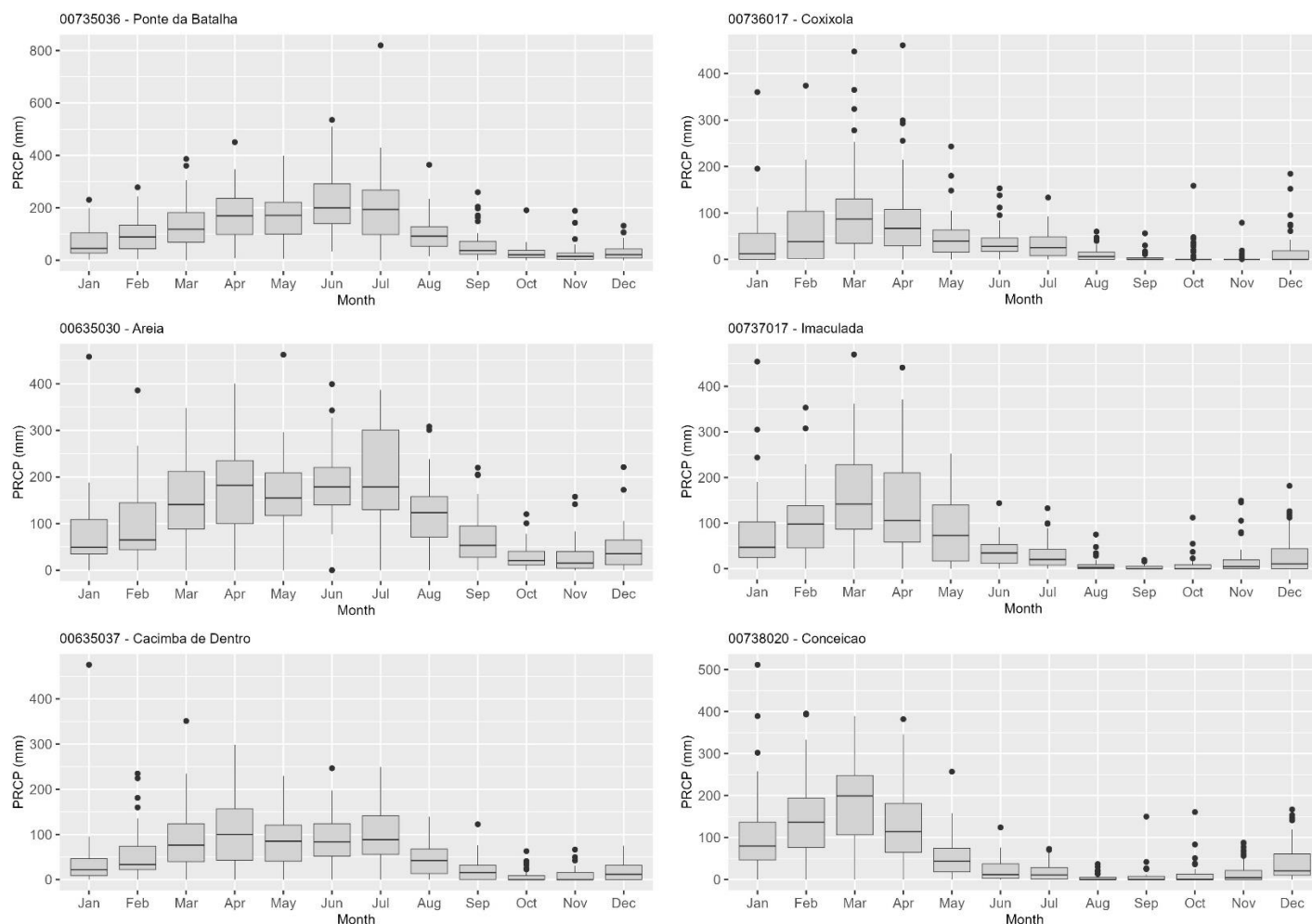


Figura 4 – Boxplots de precipitação pluviométrica, por posto representativo de cada região pluviometricamente homogênea: a) Litoral - Ponte de Batalha, b) Brejo - Areia, c) Agreste - Cacimba de Dentro, d) Cariri/Curimataú - Coxixola, e) Sertão - Imaculada, f) Alto Sertão - Conceição. (Fonte: Autores).

A região do **Cariri/Curimataú**, representada pela estação Coxixola, apresentou valores de precipitação significativamente menores em comparação com as outras três regiões analisadas. Em geral, os limites interquartis variaram de 0mm a aproximadamente 140mm, com máximos atingindo 250mm (em março). Foi observada uma variabilidade significativa, com maior dispersão dos dados, principalmente entre os meses de janeiro e julho.

Os meses de janeiro, junho e dezembro indicaram desvios positivos, com a mediana distante da média na direção do limite inferior. Isso sugere assimetria e constitui mais um indicador de variabilidade, indicando a ocorrência de episódios de chuva significativos. Uma característica distintiva dessa região em relação às demais é a presença mais numerosa de *outliers* ao longo do ano, com tendência a se concentrarem nos meses mais secos, especialmente entre setembro e dezembro.

Na região do Sertão, a estação Imaculada sugere uma ligeira retomada de totais mais elevados de chuva, embora com significativa variabilidade. Os limites interquartílicos variam entre 0mm e 230mm, atingindo um valor máximo aproximado de 365mm em abril. Março também registra um valor máximo aproximado de 350mm, com um limite superior de 230mm. A significativa variabilidade é observada principalmente entre janeiro e maio.

Em relação aos desvios, janeiro e os meses entre agosto e dezembro indicam desvios positivos, com a mediana distante da média na direção do limite inferior. Essa assimetria também está presente nos meses de maior ocorrência de *outliers*, especialmente entre agosto e dezembro, sugerindo uma variabilidade marcada por eventos de chuva.

Na região do **Alto Sertão**, representada pela estação Conceição, os limites interquartílicos variaram entre 0mm e 250mm, com valores máximos de precipitação chegando a quase 400mm. Assim como na região do Sertão, os meses entre janeiro e maio mostraram maior dispersão, indicada pela distância interquartílica.

Entre junho e janeiro, foram identificados desvios positivos. No entanto, o mês de março apresentou um desvio negativo, com a mediana distante da média na direção do limite superior. As assimetrias positivas, assim como na região anterior, também coincidem com os meses de maior ocorrência de *outliers*.

A análise mensal da precipitação ao longo das regiões pluviometricamente homogêneas do estado da Paraíba confirmou o gradiente de precipitação descrito na literatura, que diminui do Litoral para o Cariri/Curimataú e aumenta novamente do Sertão para o Alto Sertão. Esses padrões observados coincidem com a influência da ZCIT na geração das chuvas, especialmente no momento de máxima convergência dos alísios com a brisa terrestre no trimestre Maio-Junho-Julho para as regiões do Litoral, Brejo e Agreste, e a convecção local combinada com a ZCIT nos meses de outono e inverno nas áreas do Sertão e Alto Sertão (ALMEIDA; CABRAL JÚNIOR, 2014; ALBUQUERQUE et al., 2013; ALVES et al., 2006; FERREIRA; MELO, 2005; FILHO et al., 1996). Estudos futuros, com foco na gênese das chuvas e na dinâmica climática, podem proporcionar uma compreensão mais aprofundada desses aspectos.

Análise espacial dos indicadores de concentração pluviométrica

Quanto à distribuição espacial dos indicadores (Figura 5), informa-se que as regiões pluviometricamente homogêneas (Figura 1) foram tomadas como referenciais espaciais.

A respeito da precipitação média anual (PP), observa-se que a região Litorânea se destaca como a mais chuvosa, especialmente em sua porção mais ao sul, com valores de precipitação variando entre 1951-2100mm. À medida que se afasta no sentido leste-oeste ou sul-norte, os totais de precipitação diminuem, chegando a

901-1050mm em sua porção mais ao noroeste. As regiões Brejo e Agreste apresentam menor pluviosidade em comparação com o Litoral, variando de 1350 até 601mm, e exibem principalmente um gradiente leste-oeste, destacando o papel da continentalidade na redução dos totais de precipitação. Por sua vez, a região Cariri/Curimataú registra precipitação variando de 1200 até 300mm, sendo notadamente a área com os menores valores de PP. Os mínimos são encontrados na porção mais ao sul do Planalto da Borborema, evidenciando seu papel como barreira para a entrada de umidade.

O Sertão e o Alto Sertão registram valores de PP entre 1050 e 600mm, apresentando diminuição no sentido leste-oeste que se modifica à medida que se afastam do Planalto da Borborema. Nesse contexto, os valores de PP tendem a aumentar, especialmente em direção ao noroeste do estado, o que sugere a influência da compartimentação topográfica, associada à atuação de sistemas atmosféricos como a brisa terrestre e a ZCIT.

Em relação à distribuição espacial da média de número de dias chuvosos (NDC), observa-se que as áreas com os valores mais altos estão concentradas próximo ao litoral. Nessa região, destacam-se dois gradientes significativos: o NDC é maior na porção mais ao sul do litoral, variando entre 149-162 dias, e diminui gradualmente em direção ao norte, com valores entre 113-123 dias, além de reduzir-se progressivamente no sentido leste-oeste, à medida que se adentra ao interior do estado.

Entretanto, na transição entre as regiões do Litoral e do Brejo, ocorre um aumento dessa variável, com a maior média de NDC registrada nessa área, variando entre 163-181 dias, possivelmente devido à atuação orográfica das chuvas a barlavento do Planalto da Borborema.

Na porção sul da região Cariri/Curimataú, à medida que se aproxima do planalto, são encontradas as menores médias de NDC em todo o estado, variando entre 26 a 38 dias chuvosos. Por outro lado, no Sertão e Alto Sertão, observa-se uma relativa homogeneidade nas médias, situando-se entre 26 a 62 dias chuvosos.

Os valores de Rx5day, Rx20Day, P10, P90, P95 e P99 seguiram padrão similar quanto a distribuição espacial desses indicadores quando comparados à distribuição tanto da variável PP quanto NDC.

A distribuição espacial das chuvas no estado sugere estar fortemente influenciada pelos controles geográficos presentes em seu território. A proximidade à linha de costa emerge como um fator significativo, uma vez que as áreas mais próximas apresentam as maiores médias de NDC e PP. Isso sugere que a proximidade com a costa é um dos elementos que contribuem para o regime pluviométrico, indicando a influência tanto dos sistemas de brisa quanto dos DOLs, conforme documentado na literatura.

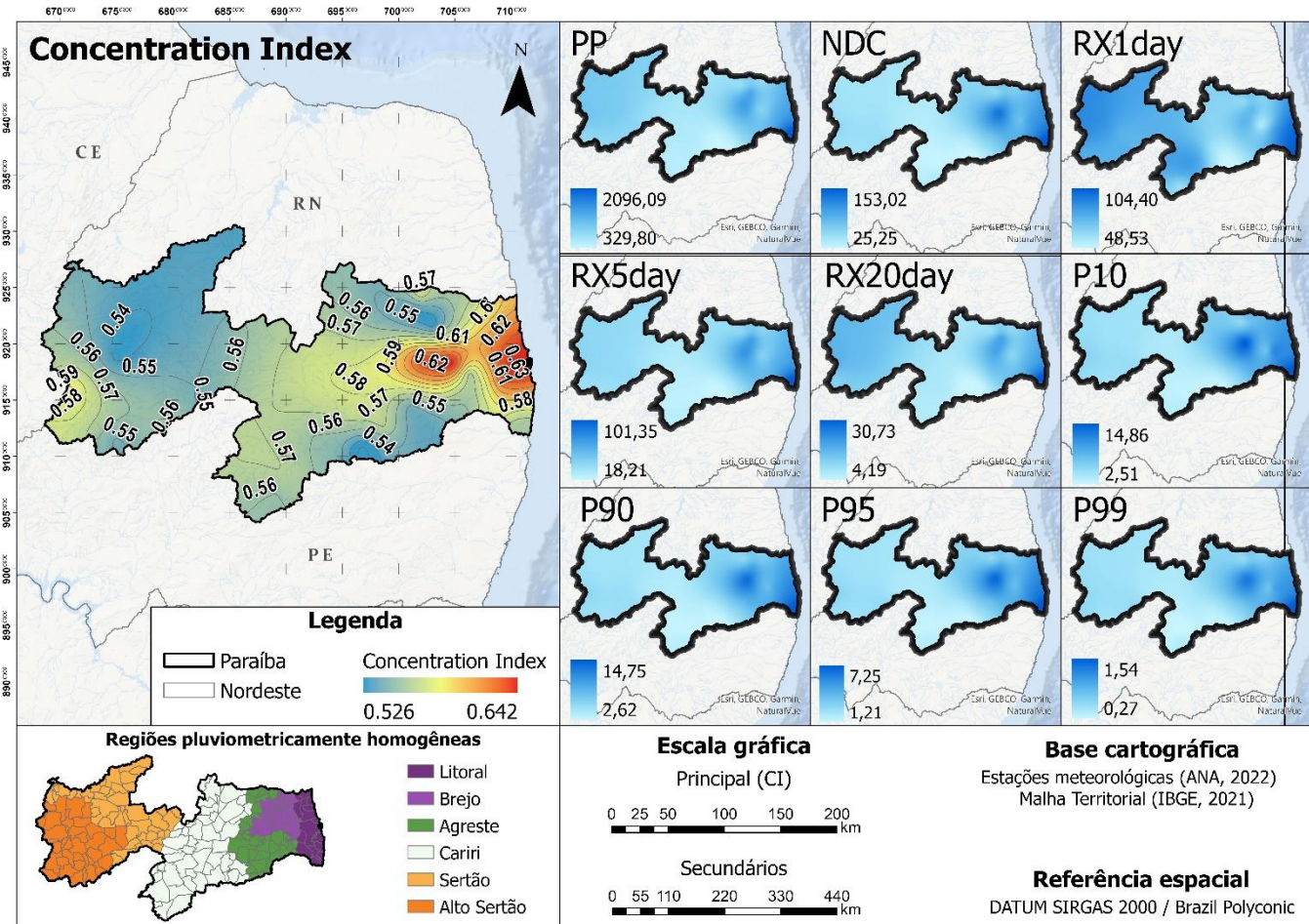


Figura 5 - Distribuição espacial dos indicadores de concentração de chuva, com destaque para o *Concentration Index* (Fonte: Autores).

Além disso, o Planalto da Borborema parece desempenhar um papel crucial ao atuar como uma espécie de "barreira", interferindo nos fluxos de umidade entre o litoral e o interior do estado. Isso influencia diretamente na variação das médias de NDC, PP, Rx5day, Rx20Day, P10, P90, P95 e P99. A vertente leste é particularmente úmida, enquanto as vertentes a oeste são mais secas. Esse padrão é semelhante ao descrito por Sant'Anna Neto (2005) ao estudar o papel do relevo na distribuição espacial das chuvas no Sudeste brasileiro.

Entre os indicadores de concentração de chuvas analisados, o único que se diferenciou dos demais foi a variável de Rx1day, que corresponde à precipitação máxima em 24 horas. Sua distribuição espacial apresentou semelhança com a distribuição do indicador CI.

Na região do Litoral, são observados os maiores valores de Rx1day, atingindo 104,4mm, principalmente na porção mais ao sul. À medida que se afasta da região litorânea, ocorre uma redução nos valores, que voltam

a aumentar a partir da porção mais ao sul da região do Cariri/Curimataú. Esses valores diminuem ligeiramente para, em seguida, voltarem a crescer nas regiões de Sertão e Alto Sertão.

Em relação à distribuição do CI, cabe ressaltar que, quanto maior o valor de CI, maior é a contribuição dos dias mais chuvosos em relação à quantidade total de precipitação. Os valores extremos encontrados foram de 0,64 na estação 735009, localizada em uma área de transição entre as regiões de João Pessoa e Campina Grande, no lado a barlavento do Planalto da Borborema; e 0,53 na estação 736013, situada no planalto, já na região de Campina Grande, a uma altitude de 455 metros.

Ao examinar as delimitações, é possível observar alguns padrões espaciais. A região de João Pessoa, especialmente em sua porção litorânea, registra os maiores valores de CI, variando entre 0,61 e 0,63 (com exceção do litoral sul, onde o CI é ligeiramente menor, oscilando entre 0,57 e 0,58). À medida que se afasta da costa, os valores de CI tendem a diminuir, embora permaneçam significativamente elevados na porção central do Brejo, aumentando novamente à medida que se aproxima do planalto. Isso ocorre devido à influência da umidade proveniente do Oceano Atlântico, indicando a existência de um gradiente deste elemento no sentido leste-oeste, assim como devido ao efeito do relevo na precipitação. Por outro lado, as localidades próximas às vertentes sudeste e nordeste do planalto apresentam valores menores de CI.

Na região Cariri/Curimataú, os valores de CI são geralmente mais moderados, diminuindo de forma radial à medida que nos afastamos da porção central. No entanto, é nessa região que se encontra tanto o menor valor de CI do estado (0,53) quanto os menores valores de NDC, PP, Rx5day, Rx20Day, P10, P90, P95 e P99.

Quanto às regiões do Sertão e Alto Sertão, os valores de CI variam entre 0,54 e 0,59. Observa-se que no extremo sudoeste do estado, próximo à fronteira com o Ceará, os valores de CI apresentam elevação. Estudos com o objetivo de abarcar recortes mais regionais em relação ao Nordeste brasileiro seriam importantes para elucidar esse processo.

Análise temporal (de tendências) dos indicadores de concentração pluviométrica

Para a análise temporal dos indicadores de concentração pluviométrica, foram aplicados testes de tendência (Mann-Kendall) e de magnitude (declividade de Sen) em todos os postos pluviométricos da área estudada. Em cada indicador, foram considerados os valores de tendência estatisticamente significativos e não significativos (ou seja, com valor de p superior a 0,05), bem como os valores de magnitude positivos e negativos (Figura 6).

Os resultados indicaram que os valores de chuva acumulada anual (PP) apresentaram uma tendência majoritariamente negativa, indicando uma redução nos valores de precipitação. No entanto, com exceção de

seis postos pluviométricos, os demais não apresentaram tendências estatisticamente significativas ($p > 0,05$). Espacialmente, as tendências negativas estatisticamente significativas foram observadas nas regiões do Alto Sertão (três postos), Cariri/Curimataú (dois postos) e agreste (um posto).

Quanto aos valores de número de dias com chuva (NDC), apenas dois postos apresentaram tendências estatisticamente significativas, ambas negativas. Estes postos estão localizados nas regiões do Alto Sertão e Cariri/Curimataú, respectivamente. As demais tendências não foram significativas e, na maioria dos casos, foram positivas. Considerando os resultados de PP e NDC em conjunto, é possível observar uma diminuição tanto no total de chuva acumulada anualmente quanto na sua distribuição ao longo do ano.

O indicador de chuva máxima em 24 horas (Rx1Day) apresentou apenas dois postos pluviométricos com valores estatisticamente significativos: um na região do Alto Sertão, com tendência negativa (diminuição da chuva máxima em um dia), e outro na região do Brejo, com tendência positiva (aumento da chuva máxima em um dia). Os valores não significativos estatisticamente indicaram um padrão majoritariamente negativo de Rx1Day, especialmente considerando um gradiente litoral-interior.

Quanto aos valores de chuva máxima em cinco dias (Rx5Day), este indicador apresentou seis valores estatisticamente significativos, todos negativos: um na região do Alto Sertão, três na região do Cariri/Curimataú, um na região do Agreste e um na região do Litoral. Pode-se identificar que, pelo menos na região do Cariri/Curimataú, a tendência é de redução dos valores máximos de precipitação em cinco dias. Os resultados não significativos estatisticamente também apontaram para um padrão negativo.

A frequência de dias com chuvas até 20mm (R20mm) apresentou padrões semelhantes aos encontrados nos outros indicadores. Quatro postos obtiveram valores estatisticamente significativos, todos negativos: dois na região do Alto Sertão, um na região do Cariri/Curimataú e um na região do Agreste. Os demais postos, cujas tendências não foram estatisticamente significativas, também indicaram um padrão majoritariamente negativo.

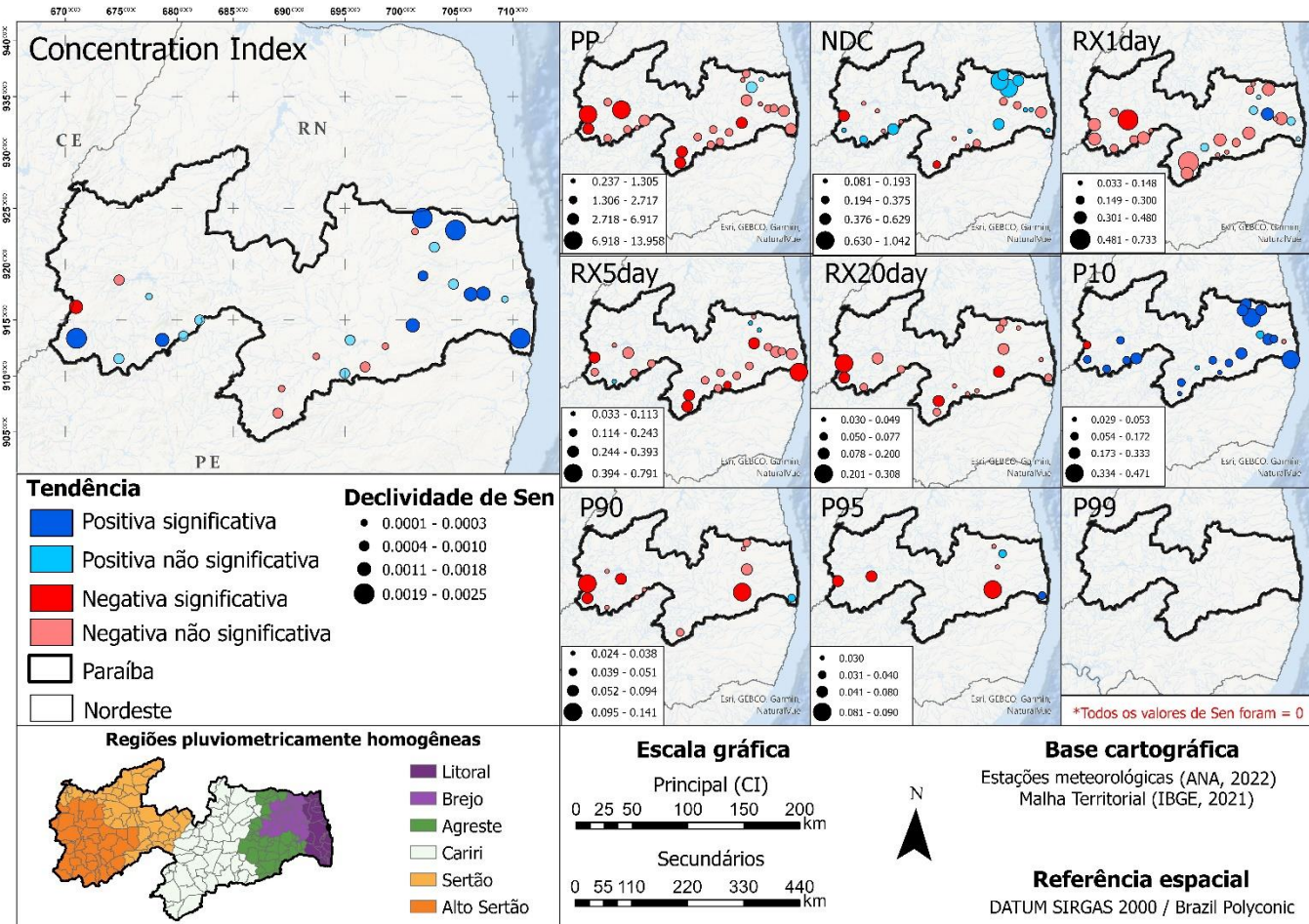


Figura 6 – Distribuição da tendência e magnitude dos indicadores de concentração de chuva, com destaque para o *Concentration Index* (Fonte: Autores).

O Percentil 10 (P10) foi um dos poucos indicadores que apresentaram uma significância estatística considerável em grande parte dos postos. Dezenove postos, dos quais dezoito mostraram tendência positiva, enquanto apenas um apresentou tendência negativa. O posto com tendência negativa está localizado no extremo oeste da região Alto Sertão, onde também estão situados quatro postos com tendências positivas. Na região do Sertão, há apenas um posto com tendência positiva. Cariri/Curimataú, Brejo e Litoral completam os postos com tendências positivas. Este resultado sugere que os dias com valores menores de precipitação estão se tornando menos frequentes. Em outras palavras, ao longo da série histórica, observa-se um aumento nos dias com menores valores de precipitação, o que pode indicar uma precipitação ligeiramente mais significativa e mais distribuída ao longo do tempo, especialmente em relação aos dias com os menores valores de chuva (correspondendo aos 10% de dias com os menores valores de precipitação). Apesar de uma parte significativa dos postos indicarem uma magnitude positiva inferior a 0,001mm, os postos nas regiões de Brejo e Litoral mostraram valores mais elevados de magnitude (>0,001).

Em relação aos resultados dos percentis 90 (P90) e 95 (P95), eles seguem os padrões mencionados anteriormente. Poucos postos apresentaram tendências estatisticamente significativas, com destaque para as regiões do Alto Sertão, Sertão e Cariri/Curimataú. As tendências encontradas foram negativas, sugerindo uma redução nos dias situados nos limites superiores, entre os 10% e 5% mais chuvosos. Quanto ao percentil 99 (P99), que representa o 1% de dias mais chuvosos, não foram observados resultados significativos, com os valores de tendência se situando em zero.

Quanto ao CI, dez postos apresentaram tendências estatisticamente significativas. Destes, três estão na região do Alto Sertão (um com tendência negativa e dois com tendência positiva), dois no Agreste (ambos com tendência positiva), quatro no Brejo (todos com tendência positiva) e um no Litoral (com tendência positiva). Os resultados do CI podem ser vistos como uma síntese dos outros indicadores, pois os reafirmam. Por exemplo, a tendência negativa observada na maioria dos postos para os indicadores PP (chuva acumulada anual), NDC (número de dias chuvosos), Rx1Day (chuva máxima em 24 horas), Rx5Day (chuva máxima em 5 dias) e R20MM (dias com chuvas até 20mm), juntamente com a tendência positiva para o indicador P10 (10% dos dias menos chuvosos), sugere um aumento na concentração da precipitação. No entanto, é importante ressaltar que essa concentração pode não estar necessariamente associada à ocorrência de eventos extremos de chuva, nem significar aumentos consistentes e sustentados nos valores elevados da série, a ponto de configurar tendências.

Ressalta-se a reincidência do posto Bonito de Santa Fé, no Alto Sertão, que apresentou valores negativos em todas as métricas (à exceção do P99 e Rx1Day). Nesse caso específico, identificou-se que esse posto apresenta uma tendência de diminuição tanto nos seus totais pluviométricos quanto na sua distribuição. Isso reforça a consistência dos resultados observados para esse posto em particular.

Por fim, cabe destacar que os valores dos indicadores, que refletem maior concentração de chuva (a exceção do indicador P10), estão diretamente relacionados aos mecanismos e sistemas atmosféricos geradores de tipos de tempo instáveis. No caso das regiões do Litoral, Brejo e Agreste, os sistemas de brisa, DOLs e VCANs são os principais atuantes, enquanto ZCIT e convecção local são apontados pela literatura como importantes para as regiões de Cariri/Curimataú, Sertão e Alto Sertão.

IV. CONCLUSÕES

O objetivo do presente trabalho foi analisar os padrões espaciais da concentração diária das chuvas no estado da Paraíba. Para tal, foi empregado o *Concentration Index* (CI). Complementarmente, além da precipitação pluviométrica acumulada anualmente (PP), outros indicadores da concentração das chuvas diárias

foram aplicados: frequência de dias com precipitação até 20mm (R20MM), chuva máxima diária (Rx1Day), chuva máxima em 5 dias (Rx5Day), frequência de dias com precipitação na faixa do percentil 10 (P10), percentil 90 (P90), percentil 95 (P95) e percentil 99 (P99), número de dias chuvosos (NDC).

Ao observar a distribuição espacial dos valores de CI, o estado pode ser dividido em três grandes áreas: a porção oeste, com os maiores valores de CI (máximo de 0,64 - considerado elevado), a porção central, composta majoritariamente por CI considerados médios para a área de estudo, e o setor leste, com os menores valores de CI (mínimo de 0,54 - considerado moderado).

De certo modo, as variáveis investigadas sugerem inter-relação. As áreas com os maiores totais de precipitação (PP) são também as áreas com maiores valores associados aos demais indicadores. Ou seja, onde mais chove (total), também tende a chover mais vezes ao longo do ano, além dos dias mais chuvosos também desempenharem papel significativo na precipitação total. A exceção foi o indicador de Rx1Day (máximo de chuva em 24h), que apresentou valores elevados tanto nas regiões próximas ao Litoral, quanto no Sertão e Alto Sertão.

A distribuição espacial dos valores dos indicadores sugere influência dos controles geográficos como fator de diversificação espacial tanto das chuvas totais, quanto das chuvas concentradas.

Em âmbito temporal, os indicadores PP, NDC, Rx1Day, Rx5Day, R20MM, P90 e P95 apresentaram tendências de redução dos seus valores, o que sugere que tanto os totais de precipitação ao longo do ano, quanto a precipitação concentrada em agrupamento de dias (NDC, Rx5Day, R20mm) e em faixas de chuva específicas (Rx1Day, P90, P95) estão diminuindo. Por outro lado, os indicadores CI e P10 apresentaram tendências de aumento dos seus valores, o que sugere que a precipitação pluviométrica tendeu a se concentrar mais na série histórica (CI), ainda que os dias com menores valores de chuva também apresentassem ligeiro aumento (P10).

Indica-se que estudos futuros sejam realizados com o intuito de avançar na compreensão desses indicadores, principalmente quanto às interações entre os sistemas atmosféricos em escala sinótica, os modos de variabilidade e o contexto de mudanças climáticas.

V. REFERÊNCIAS

AGNEW, C. T. Using the SPI to identify drought. *Drought Network News*, 12(1): 6 – 12, 2000.

AHMAD, L. et al. Analysis of historical rainfall data for drought investigation using standard precipitation index (SPI) under temperate conditions of Srinagar Kashmir. *Pakistan Journal of Meteorology*, 13(25): 29-38, 2016.

- ALBUQUERQUE, R. T. D. B. et al. Distribuição temporal das precipitações no município do Recife. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 6:245-252, 2013.
- ALIJANI, B.; O'BRIEN, J.; YARNAL, B. Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 94(1): 107–124, 2007.
- ALMEIDA, H. A.; CABRAL JÚNIOR, J. B. Variabilidades sazonais e interdecadais da chuva nas microrregiões geográficas do estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 7(5): 846 - 858, 2014.
- ALVES, J. M. B. et al. Mecanismos atmosféricos associados à ocorrência de precipitação intensa sobre o Nordeste do Brasil durante janeiro de 2004. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21(1): 56-76, 2006.
- AMIRI, M. A.; GOCIC, M. Analyzing the applicability of some precipitation concentration indices over Serbia. *Theoretical and Applied Climatology*, 146: 645- 656, 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Hidroweb – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Available at: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb>>. Accessed March 25, 2022.
- ARAÚJO, M. O. L. et al. Participação social para ações de redução de riscos de desastres na comunidade Tito Silva, João Pessoa – PB. *Revista Eletrônica do PRODEMA*, 13(1): 45 – 55, 2019.
- ARAÚJO, M. O. L. et al. Distribuição espaço-temporal dos desastres climáticos de estiagem e de seca na região do Curimataú paraibano. *Revista de Geociências do Nordeste*, 4: 99 – 109, 2018.
- BACK, Á. J. Índice de Concentração de chuva diária de Timbé do Sul, Santa Catarina. *Revista Técnico-Científica de Engenharia Civil*, 1: 1-13, 2022.
- BACK, A. J.; SÔNEGO, M.; PEREIRA, J. R. Índices de concentração de chuvas na região sul do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 27: 57-72, 2020.
- BECKER, C. T. Caracterização climática das regiões pluviometricamente homogêneas do estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 4(2): 286-299, 2011.
- BHATTACHARYYA, S.; SREEKESH, S. Assessments of multiple gridded-rainfall datasets for characterizing the precipitation concentration index and its trends in India. *International Journal of Climatology*, 42(5): 3147 – 3172, 2022.
- BRAGA, C. C.; SILVA, B. B. Determinação de regiões pluviometricamente homogêneas no Estado da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, v. 6, Salvador. Sociedade Brasileira de Meteorologia. Anais, p. 200-205, 1990.
- BRITO, S. S. et al. Frequency, duration and severity of drought in the Semi-arid Northeast Brazil region. *International Journal of Climatology*, 38(2), p. 517 – 529, 2017.
- CALOIERO, T. Analysis of daily rainfall concentration in New Zealand. *Natural Hazards*, 72(2): 389-404, 2014.
- CAVALCANTE, G. P.; LUCENA, D. B.; MOURA, M. O. As chuvas na Região Agreste do Nordeste Brasileiro: variabilidade interanual. *Revista Equador*, 8(2): 290 – 308, 2019.
- COSCARELLI, R.; CALOIERO, T. Analysis of daily and monthly rainfall concentration in Southern Italy (Calabria region). *Journal of Hydrology*, v. 416, p. 145-156, 2012.
- COSTA, M. S. et al. Rainfall extremes and drought in Northeast Brazil and its relationship with El Niño-Southern Oscillation. *International Journal of Climatology*, 41(S1): E2111-E2135, 2021.

- CPTEC/INPE - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Índice de precipitação padronizado (SPI). CPTEC/INPE, 2022. Available at: <<http://clima1.cptec.inpe.br/spi/pt>>. Access October 28th, 2022.
- CUNHA, A. P. M. A. et al. Changes in the spatial-temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast. *Atmospheric Science Letters*, 19(10): e855, 2018.
- CUNICO, C.; LUCENA, D. B.; MOURA, M. O. Vulnerabilidade socioambiental e risco de desastre por inundações no estado da Paraíba, Brasil. *Boletim Goiano de Geografia*, 42(1), 2022.
- FARIAS, O. G.; FRANCISCO, C. N.; SENNA, M. C. A. Avaliação de métodos de interpolação espacial aplicados à pluviosidade em região montanhosa no litoral sul do estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Climatologia*, 13(21): 172 – 185, 2017.
- FERREIRA, P. S. et al. Avaliação da tendência espaço-temporal da precipitação pluviométrica em uma região semiárida do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Climatologia*, 13(21): 113 - 134, 2017.
- FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. 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*, 1(1): 15 – 28, 2005.
- FILHO, M. F. G. et al. Sistemas Convectivos de Mesoescala com precipitação intensa na Paraíba: um estudo de caso. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 11(1): 36 - 43, 1996.
- GUTIÉRREZ, A. P. et al. Drought preparedness in Brazil. *Weather and Climate Extremes*, 3: 95 - 106, 2014.
- HUANG, S. et al. Spatial-temporal variation of precipitation concentration and structure in the Wei River Basin, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 125: 67-77, 2016.
- IBGE. Mapa de Clima do Brasil - 1:50000000. 2002. Available at: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15817-clima.html>>. Access September 11th, 2022.
- IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[Masson-Delmotte, V. et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896.
- KANE, R. P. Prediction of droughts in North-east Brazil: role of ENSO and use of periodicities. *International Journal of Climate*, 17(6): 655 - 665, 1998.
- KARL, T. R.; NICHOLLS, N.; GHAZI, A. CLIVAR/GCOS/WMO Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes: Workshop Summary. *Climatic Change*, 42: 3 - 7, 1999.
- KHAN, S.; GABRIEL, H. F.; RANA, T. Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas. *Irrigation and Drainage Systems*, 22(2): 159–177, 2008.
- KOMUSCU, A. U. Using the SPI to analyze spatial and temporal patterns of drought in Turkey. *Drought Network News*, 11(1): 7 - 13, 1999.
- LI, Ci et al. Investigating variations of precipitation concentration in the transitional zone between Qinling Mountains and Loess Plateau in China: Implications for regional impacts of AO and WPSH. *Plos One*, 15(11): 1-26, 2020.
- LI, X. et al. Spatial and temporal variability of precipitation concentration index, concentration degree and concentration period in Xinjiang, China. *International Journal of Climatology*, 31(11): 1679-1693, 2010.

- LUCENA, J. A. et al. Eventos extremos de lluvia y riesgo hidroclimático em zona de la mata – Pernambuco / Brasil. *Investigaciones Geográficas*, 51: 81 – 90, 2016.
- MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil - past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology*, 129: 1189 - 1200, 2017.
- MARQUES, G. B.; SILVA, T. S.; MOURA, M. O. Ocorrências de desastres naturais nos principais arranjos populacionais da Sub-região Leste do Nordeste Brasileiro. *Revista de Geociências do Nordeste*, 4: 31 – 44, 2018.
- MARTIN-VIDE, J. Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain. *International Journal of Climatology*, 24(8): 959–971, 2004.
- MCKEE, T. B. et al. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17(22): 179-183, 1993.
- MEDEIROS, F. J. et al. Hydrometeorological conditions in the semiarid and east coast regions of Northeast Brazil in the 2012 – 2017 period. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 93(1), 2021.
- MONTEIRO, J. B. A influência de teleconexões e sistemas meteorológicos produtores de precipitação no semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(1): 312 – 332, 2021.
- MORADI, H. R.; RAJABI, M.; FARAGZADEH, M. Investigation of meteorological drought characteristics in Fars province, Iran. *Catena*, 84(1): 35–46, 2011.
- MOURA, M. O.; CUNICO, C.; NOBREGA, R.S.; DUARTE, C. C. Desastres hidrometeorológicos na região Nordeste do Brasil: distribuição espaço-temporal dos reconhecimentos de estado de Calamidade Pública. *Caderno de Geografia*, 26(2): 259 – 271, 2016.
- NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.
- NOBREGA, R. S.; FARIAS, R. F. L.; SANTOS, C. A. C. Variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica em Pernambuco através de índices de extremos climáticos. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 30(2): 171 - 180, 2015.
- NÚÑEZ-GONZÁLEZ, G. Comparison of the behavior of the precipitation concentration index on global and local scale. *Theoretical and Applied Climatology*, 139(1): 631-638, 2020.
- OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. et al. Wet and dry periods in the state of Alagoas (Northeast Brazil) via Standardized Precipitation Index. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 224(1): 105746, 2021.
- OLIVER, J. E. Monthly precipitation distribution: a comparative index. *The Professional Geographer*, 32(3): 300–309, 1980.
- PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba (AESA). PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo & Atlas. Brasília, 112p. 2006.
- PATEL, N. R.; SHETE, D. T. Analyzing precipitation using concentration indices for North Gujarat agro-climatic zone, India. *Aquatic Procedia*, 4: 917-924, 2015.
- PEREIRA, M. D. B. Eventos pluviométricos extremos na cidade de João Pessoa: análise dos eventos dos dias 16 e 17 de abril de 2016. *Revista de Geociências do Nordeste*, 2: 575 – 584, 2016.
- PEREIRA, M. D. B.; MOURA, M. O.; LUCENA, D. B. Análise da variabilidade pluviométrica interanual da Zona da

- Mata nordestina e a identificação de anos padrão. *Revista Brasileira de Climatologia*, 26(16), p. 30 – 50, 2020.
- PETERSON, T. et al. Report on the activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rappourteurs. WMO, Rep. WCDMP - 47, WMO - TD 1071, Genève: Switzerland, 2001.
- PETKOVIC, D. et al. Precipitation concentration index management by adaptive neuro-fuzzy methodology. *Climatic Change*, 141, p. 655 – 669, 2017.
- PINHEIRO, G. M.; MARTIN-VIDE, J. Concentração diária da precipitação na Bacia do Alto Iguaçu, Paraná, Brasil. *Raega - O Espaço Geográfico em Análise*, 39: 266-279, 2017.
- POVOA, L. V.; NERY, J. T. Manual do usuário do pacote Precintcon. Laboratório Computacional da Universidade Estadual Paulista, Ourinhos, 2016.
- SANT'ANNA NETO, J. L. Decálogo da climatologia do sudeste brasileiro. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 1, 2005.
- SANTOS, C. A. C.; MANZI, A. O. Eventos extremos de precipitação no estado do Ceará e suas relações com a Temperatura dos Oceanos tropicais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 26(1): 157 - 165, 2011.
- SERGIO, M. A. S.; ARAUJO, M. O. L.; MOURA, M. O. Ocorrências de desastres naturais na região do Cariri paraibano. *Revista de Geociências do Nordeste*, 4: 18 – 30, 2018.
- SERRANO-NOTIVOLI, R. et al. Spatio-temporal variability of daily precipitation concentration in Spain based on a high-resolution gridded data set. *International Journal of Climatology*, 38: e518–e530, 2017.
- SHI, P. et al. Spatial distribution and temporal trends in daily and monthly precipitation concentration indices in the upper reaches of the Huai River, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 28: 201 – 212, 2014.
- SHI, P. et al. Spatial Distribution and Temporal Trends in Precipitation Concentration Indices for the Southwest China. *Water Resources Management*, 29(11): 3941–3955, 2013.
- SILVA, A. S. A. et al. Trends and persistence of dry-wet conditions in Northeast Brazil. *Atmosphere*, 11(10): 1134, 2020.
- SILVA, A. S. A. et al. Multifractal analysis of standardized precipitation index in Northeast Brazil. *Chaos, Solitons & Fractals*, 172: 113600, 2023.
- SILVA, W. J. E.; ARAUJO, M. O. L.; MOURA, M. O. Distribuição espaço-temporal dos desastres hidrometeorológicos na microrregião pluviometricamente homogênea do Litoral paraibano. *Revista Casa da Geografia de Sobral*, 21(2): 467 – 476, 2019.
- SILVA, D. A. M.; MOURA, M. O. Registros de desastres associados à estiagem e seca na região do Alto Sertão da Paraíba. *Revista de Geociências do Nordeste*, 4: 126 – 136, 2018.
- SILVA, N. T.; MOURA, M. O.; CUNICO, C. Vulnerabilidade socioambiental do município de João Pessoa, Paraíba. *Caderno Prudentino de Geografia*, 43(1), p. 127-151, 2021.
- SILVA, S. T. A influência do El Niño – Oscilação Sul na distribuição espacial da precipitação no estado da Paraíba. *Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande*, 63 p., 1996.
- SOUSA, N. D.; LUCENA, D. B. Espacialização dos eventos extremos positivos de chuva no estado da Paraíba (1994 a 2018). *Revista de Geografia (UFPE)*, 40(1), 2023.

SPINONI, J. et al. Towards identifying areas at climatological risk of desertification using the Köppen-Geiger classification and FAO aridity index. *International Journal of Climatology*, 35(9): 2210 - 2222, 2014.

SUHAILA, J.; JEMAIN, A. A. Spatial analysis of daily rainfall intensity and concentration index in Peninsular Malaysia. *Theoretical and Applied Climatology*, 108: 235-245, 2012.

TOLIKA, K. On the analysis of the temporal precipitation distribution over Greece using the Precipitation Concentration Index (PCI): annual, seasonal, monthly analysis and association with the atmospheric circulation. *Theoretical and Applied Climatology*, 137: 2303 – 2319, 2019.

VYSHKVARKOVA, E.; VOSKRESENSKAYA, E.; MARTIN-VIDE, J. Spatial distribution of the daily precipitation concentration index in Southern Russia. *Atmospheric Research*, 203: 36-43, 2018.

WANDERLEY, L. S. A. et al. As chuvas na cidade do Recife: uma climatologia de extremos. *Revista Brasileira de Climatologia*, 22, 2018.

WANDERLEY, L. S. A. et al. Weather types associated with daily intense rainfall events in the city of Recife – PE, Brazil. *Sociedade & Natureza*, 33, 2021.

WANDERLEY, L. S. A.; NOBREGA, R. S. Desenvolvimento de um sistema de classificação climática com base na metodologia dos tipos sinóticos de tempo para a região Nordeste do Brasil. *GEOUSP Espaço e Tempo* (online), 26(1): e-175243, 2022.

ZHANG, K. et al. Various characteristics of precipitation concentration index and its cause analysis in China between 1960 and 2016. *International Journal of Climatology*, 39(12): 4648–4658, 2019.

ZUBIETA, R. et al. Spatial analysis and temporal trends of daily precipitation concentration in the Mantaro River basin: central Andes of Peru. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 31: 1305-1318, 2017.