



Variações espaciais das anomalias de precipitação nas Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos dos rios Aguapeí e Peixe (Estado de São Paulo, Brasil)

Spatial Variations of Precipitation Anomalies in the Water Resources Management Units of the Aguapeí and Peixe Rivers (State of São Paulo, Brazil)

Historial del Artículo

Recibido:
4 de marzo de 2025
Revisado:
8 de julio de 2025
Aceptado:
21 de julio de 2025

Rafaela Melissa Andrade Ferreira , Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP/FCT-Presidente Prudente, Brasil

*Contacto: rafaela.andrade-ferreira@unesp.br

Palavras chave

Climatologia, chuvas, mapeamento, variabilidade

RESUMO

Este estudo analisou a variabilidade espacial e temporal da precipitação no oeste do estado de São Paulo, especificamente nas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos dos Rios Aguapeí e Peixe, utilizando o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) para identificar padrões de heterogeneidade pluviométrica em diferentes escalas. Os mapeamentos foram realizados no software livre QGIS, empregando o método de interpolação geoespacial Inverso da Distância Ponderada (IDW) para estimar valores de precipitação em áreas não monitoradas diretamente pelos pluviômetros. A análise evidenciou uma predominância de condições secas (classe “Seco”) na maior parte da região, intercaladas por áreas com chuvas acima da média (classe “Úmido”). Foram identificados eventos extremos tanto de seca quanto de precipitação excessiva, especialmente nas últimas décadas, destacando uma intensificação da variabilidade climática. A análise temporal, baseada em séries históricas, indicou tendências sazonais moderadas, com declínios mais evidentes na transição entre verão e outono e relativa estabilidade nos meses críticos da estação chuvosa. Os resultados destacam a importância de monitoramento contínuo e da integração de ferramentas geoespaciais no estudo da dinâmica climática regional. Além disso, enfatizam a necessidade de estratégias adaptativas para mitigação dos impactos de eventos climáticos extremos em setores sensíveis, como a agricultura, a gestão de recursos hídricos e as sociedades assentadas em áreas urbanas de vulnerabilidade.

Keywords

Climatology, rainfall, variability, mapping

ABSTRACT

This study analyzed the spatial and temporal variability of precipitation in the western region of São Paulo state, specifically in the Water Resource Management Units of the Aguapeí and Peixe Rivers, using the Rainfall Anomaly Index (IAC) to identify patterns of rainfall heterogeneity at different scales. The mappings were carried out using the free QGIS software, employing the Inverse Distance Weighted (IDW) geospatial interpolation method to estimate precipitation values in areas not directly monitored by rain gauges. The analysis revealed a predominance of dry conditions (“Dry” class) in most of the region, interspersed with areas of above-average rainfall (“Humid” class). Extreme events of both drought and excessive precipitation were identified, particularly in recent decades, highlighting an intensification of climatic variability. The temporal analysis, based on historical series, indicated moderate seasonal trends, with more evident declines during the transition from summer to autumn and relative stability during the critical months of the rainy season. The results highlight the importance of continuous monitoring and the integration of geospatial tools in studying regional climatic dynamics. Moreover, they emphasize the need for adaptive strategies to mitigate the impacts of extreme climatic events on sensitive sectors such as agriculture, water resource management, and urban societies located in vulnerable areas.

Introdução

Dentro do complexo sistema climático, a precipitação pluvial representa uma variável de fundamental importância para a manutenção dos ecossistemas. Além disso, os períodos de maior ou menor disposição hídrica nas localidades influenciam diretamente a vida humana na Terra a partir dessa variabilidade. Em um contexto de discussão hodierna dos extremos de seca ou de chuva, alguns estudos sugerem impactos socioambientais, principalmente, nos espaços urbanos que são áreas consideradas suscetíveis à severidade das excepcionalidades climáticas (Estrada et al., 2024; Giulio et al., 2019; Nobre et al., 2010).

Na Climatologia especializada em mensurar tais impactos supramencionados, concorda-se que os momentos nos quais a habitualidade das condições atmosféricas é perturbada, acontecem os maiores danos à sociedade civil, denotando a necessidade do conhecimento aprofundado desses desvios pautado na multidimensionalidade das escalas de observação (Fontão e Ferreira, 2022; Marchezini et. al., 2023). Nessa perspectiva, técnicas estatísticas são comumente utilizadas para mensurar o comportamento dos dados climáticos a depender dos objetivos do pesquisador e do problema de pesquisa que se pretende responder.

Ao longo do tempo, diversas técnicas foram desenvolvidas para mensurar e analisar a precipitação, refletindo a necessidade de compreender os padrões hídricos que sustentam ecossistemas e influenciam as atividades humanas. No início, as medições eram realizadas de forma manual, com pluviômetros simples que registravam o volume acumulado de chuva em um determinado período. Apesar de úteis, esses métodos tinham limitações em termos de abrangência espacial e precisão temporal, especialmente em áreas remotas ou de difícil acesso (Barbosa et al., 2022). À medida que as demandas por dados mais detalhados cresceram, técnicas mais avançadas começaram a ser implementadas, permitindo análises mais robustas sobre a variabilidade climática.

Com o avanço da tecnologia, as técnicas estatísticas foram integradas a sistemas computacionais e geoespaciais, ampliando ainda mais o alcance e a precisão das análises. A combinação de estatística com geoprocessamento permitiu mapear padrões espaciais de precipitação de forma detalhada, integrando dados de pluviômetros, radares meteorológicos e satélites. Essa evolução possibilitou não apenas a identificação de tendências climáticas locais e regionais, mas também a modelagem de cenários futuros (Ban et al., 2024; Salcedo-Sanz et al., 2024).

Adicionalmente, a proposta em termos de técnica quantitativa considerada melhor adequada está diretamente relacionada com o recorte espacial, temporal e escalar do estudo, uma vez que a definição de parâmetros como intensidade e frequência dos eventos, por exemplo, dependem da adequação de abordagem espaço-temporal com o conjunto de técnicas analíticas empregadas no processo de investigação. Em consonância com as perspectivas apresentadas anteriormente, García (1996) incrementa que a análise estatística não apenas melhora a compreensão dos fenômenos pluviométricos, mas também permite que os dados sejam explorados de forma prática na climatologia aplicada, fornecendo subsídios para tomar decisões mais informadas sobre a alocação de recursos hídricos, prevenção de enchentes e manejo agrícola em face da variabilidade climática.

No entanto, apesar do notável avanço e incremento metodológico que a adoção de procedimentos robustos em estatística representou para a Climatologia, sobretudo, a eminentemente geográfica, alerta-se para o seu acoplamento com as análises da dinâmica da atmosfera e a sucessão/repercussão dos seus tipos de tempo no espaço (Monteiro, 1991). Esse agrupamento é essencial para que as análises sejam contextualizadas dentro da complexidade do sistema climático, permitindo entender como os eventos extremos e os padrões de precipitação interagem com os sistemas atmosféricos que os geram.

Apesar dos avanços na modelagem espacial da precipitação, ainda existem lacunas significativas quanto à representatividade temporal das séries históricas utilizadas. Muitos estudos concentram-se em médias anuais ou decadais, deixando em segundo plano a variabilidade interanual e pluriestacional que pode revelar padrões de seca ou eventos extremos pouco frequentes (Medeiros et al., 2024; Nath et al., 2024; Vinod & Mahesha, 2024;). Dessa maneira, a escassez de análises que integrem séries com resolução mensal ou diária em conjunto com indicadores de anomalia limita a capacidade de identificar tendências emergentes, sobretudo em contextos de mudança climática, nos quais a frequência e intensidade de eventos extremos podem não seguir a lógica histórica estabelecida.

Em nível espacial, observa-se uma carência de estudos que avaliem comparativamente diferentes métodos de interpolação em populações pluviométricas heterogêneas como as do oeste paulista. Embora o IDW seja amplamente empregado por sua simplicidade. Essa lacuna compromete a confiabilidade dos mapas gerados e impede recomendações firmes para o uso de técnicas alternativas, como krigagem ou métodos baseados em aprendizado de máquina, que

podem aprimorar a estimativa de precipitação em áreas com estações escassas (Bonsoms & Ninyerola, 2024; Li et al., 2023).

Diante dos pressupostos iniciais apresentados, o principal objetivo desse estudo é o de avaliar as tendências nas anomalias de precipitação pluvial no oeste do estado de São Paulo, com foco nas Unidades de gerenciamento de recursos hídricos dos Rios Aguapeí e Peixe, a fim de identificar e compreender as variações espaciais ao longo dessa delimitação. Como objetivos específicos, a presente pesquisa intencionou mapear e classificar espacialmente as condições pluviométricas da região com base no Índice de Anomalia de Chuva (IAC), empregando o software QGIS e o método de interpolação Inverso da Distância Ponderada (IDW).

Materiais e métodos

Delimitação espacial e caracterização da área de estudo (meio físico)

A área de estudo que compreende a bacia dos rios Aguapeí e Peixe (Figura 1), no oeste paulista, está inserida em uma região de transição ambiental e socioeconômica, caracterizada por suas particularidades geográficas, históricas e ecológicas. Essa área engloba aspectos que são relevantes tanto do ponto de vista natural quanto humano, sendo um ponto estratégico para estudos de gestão ambiental, planejamento territorial e avaliação de impactos socioeconômicos. Os rios Aguapeí e Peixe são afluentes do rio Paraná, e suas bacias hidrográficas apresentam um

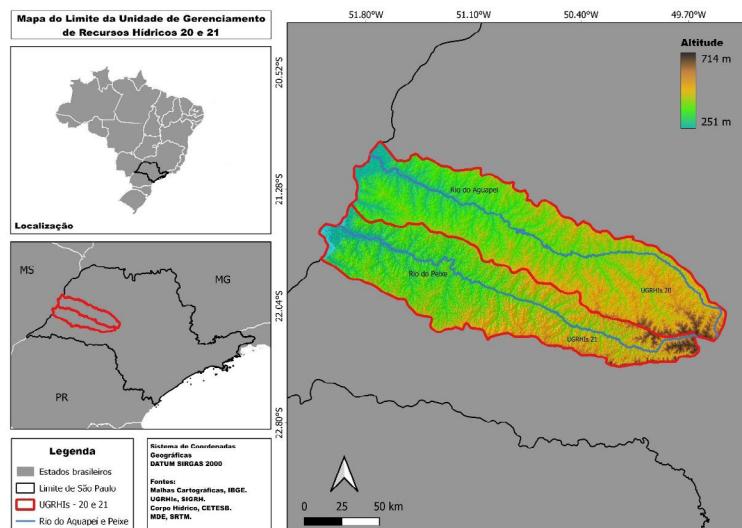
papel importante no equilíbrio hídrico regional. Além disso, os rios possuem importância ecológica, abrigando rica biodiversidade e sendo essenciais para o abastecimento e a irrigação agrícola (Andrade, 2014; Rocha e Santos, 2018; Rocha e Tommaselli, 2012).

Em termos geomorfológicos, a bacia dos rios Aguapeí e Peixe estão localizadas na unidade morfológica do Planalto Ocidental. O relevo dessa província apresenta uma forte correspondência com a estrutura geológica da região, composta por camadas sub-horizontais que se inclinam suavemente em direção ao oeste. Essa configuração forma uma plataforma nivelada, com altitudes que variam de aproximadamente 500 metros nos limites orientais até 247 metros na foz do Rio do Peixe (Fernandes, 2019; Ross e Moroz, 1997).

A rede hidrográfica da área é dominada por rios consequentes, cujo desenvolvimento ocorre majoritariamente dentro dos limites da província. Esses cursos d'água seguem uma orientação principal paralela ao eixo noroeste-sudeste (NW-SE) e são acompanhados por planícies aluviais de diferentes tamanhos. O relevo do Planalto Ocidental é caracterizado por colinas e pequenas elevações, com destaque para a região mais acidentada que abrange as áreas de Marília, Garça e Echaporã.

O substrato geológico das bacias dos rios Aguapeí e do Peixe é composto por rochas vulcânicas e sedimentares da Bacia do Paraná, datadas do Mesozóico, além de depósitos aluvionares cenozóicos. A Formação Serra Geral, do Grupo São Bento, inclui basaltos toleíticos juro-cretácicos

Figura 1. Localização da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 20 (Aguapeí)



e arenitos similares aos da Formação Botucatu, além de corpos intrusivos. Nas UGRHI 20 e 21, essa formação ocorre de forma limitada, como na calha do Rio Aguapeí (Guararapes a Salmourão e Piacatu a Rinópolis) e no Rio do Peixe, próximo à PCH Quatiara (Parapuã a Rancharia). Após os eventos vulcânicos, um soerguimento epirogênico elevou a Plataforma Sul-Americana, mas a porção norte da Bacia do Paraná tornou-se uma área de subsidência, acumulando o Grupo Bauru no Cretáceo Superior, que cobre as lavas basálticas do Planalto Ocidental (Prandi, 2010).

No que diz respeito às características pedológicas da área, os solos do Oeste Paulista têm origem em rochas areníticas do Grupo Bauru e rochas básicas do Grupo São Bento (Formação Serra Geral). Conforme Santos (2013), o Relatório Zero das Bacias dos Rios Aguapeí e Peixe (CBH-AP, 1997 destaca Latossolos Vermelhos distróficos, profundos e bem drenados, com textura argilosa, e Argissolos Vermelho-Amarelos, de drenagem moderada e textura variada. Em áreas declivosas, esses solos apresentam alta vulnerabilidade à erosão, potencializada pelo uso inadequado da terra, com 70% das bacias apresentando elevado risco erosivo.

Delimitação temporal e dados secundários utilizados

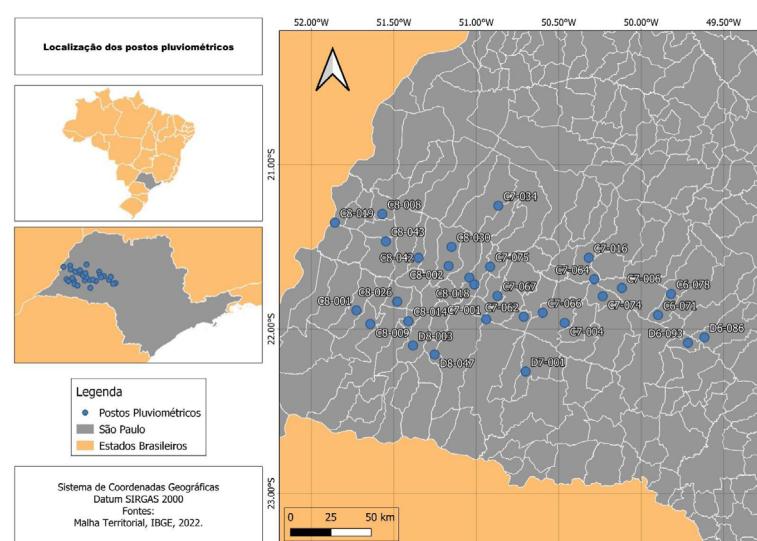
Os dados utilizados foram adquiridos acessando o banco disponibilizado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE-SP)¹. Os dados de chuva

disponibilizados pelo DAEE-SP estão disponíveis desde 1940. No entanto, devido a muitas falhas e inconsistências na maioria dos postos pluviométricos nos primeiros anos, foram selecionados apenas os dados a partir de 1970, que oferecem uma melhor consistência. Ainda assim, alguns registros apresentavam falhas, que foram preenchidas para garantir a continuidade e confiabilidade das análises no mapeamento das anomalias de precipitação pluvial. Dessa forma, a série temporal definida para o estudo foi de 1970 a 2023, totalizando 54 anos de dados pluviométricos. Essa extensão permitiu uma análise abrangente das variações climáticas ao longo das décadas. Outrossim, os dados adquiridos para a análise da precipitação nas bacias dos rios Aguapeí e Peixe estão bem distribuídos ao longo de toda a extensão dessas áreas hidrográficas, abrangendo o alto, médio e baixo curso dos rios, conforme pode ser observado na Figura 2.

Procedimentos metodológicos para a correção de possíveis falhas nas séries temporais

O método de preenchimento utilizado foi a ponderação regional. Neste método são selecionados pelo menos 3 postos que possuam dados consistentes em 10 anos de observações, e que se localizem em uma região climática semelhante ao posto a ser preenchido, de preferência, dentro do raio de 100 km (Bielenki et al., 2018; Mello, 2017; Santos et al., 2023; Tucci, 2001). A equação utilizada foi

Figura 2. Mapa de distribuição dos postos pluviométricos aproveitados no estudo



¹ Os dados pluviométricos podem ser acessados por meio do seguinte link: <http://www.hidrologia.daae.sp.gov.br/>. O recorte foi feito utilizando a divisão por UGRHI.

$$y = \frac{1}{3} \left(\frac{x_1}{xm1} + \frac{x_2}{xm2} + \frac{x_3}{xm3} \right) ym$$

Onde:

y = precipitação do posto a ser estimada;

x_1, x_2, x_3 = precipitações correspondentes ao ano que se deseja preencher, observadas em 3 estações vizinhas;

ym = a precipitação média do posto y ;

$xm1, xm2, xm3$ = precipitações médias das 3 estações circunvizinhas.

A escolha pelo método de ponderação regional fundamenta-se na necessidade de garantir a representatividade climática dos valores estimados, minimizando os vieses que podem advir de estações isoladas ou com histórico de dados descontínuo (Ruezzene, 2020). Ao selecionar, obrigatoriamente, ao menos três postos com séries de observação consistentes por dez anos e situados em uma região de características climáticas análogas à do posto em questão, assegura-se que as variáveis meteorológicas subjacentes, como padrões de circulação atmosférica e influências orográficas, sejam semelhantes, o que confere maior plausibilidade às estimativas de precipitação faltante.

Após a etapa de preenchimento de falhas, foram realizadas as análises estatísticas iniciais para conhecimento dos dados pluviométricos. Os gráficos apresentados foram elaborados utilizando a linguagem de programação Python, por meio de bibliotecas especializadas para manipulação de dados e visualização gráfica. A biblioteca Pandas foi utilizada para ler os dados, organizar em tabelas (*DataFrames*) e realizar operações matemáticas, como cálculo de médias anuais do Índice de Anomalia Climática (IAC). A biblioteca *Matplotlib* foi utilizada para criar os gráficos. *Matplotlib* é extremamente versátil e permite a criação de gráficos de linhas, barras, pizza, dispersão, entre outros.

Os mapeamentos apresentados foram realizados utilizando o *software* livre QGIS, uma plataforma de sistema de informações geográficas (SIG) amplamente reconhecida por sua flexibilidade, acessibilidade e eficiência na análise espacial. O QGIS permite a integração de diferentes camadas de informações geográficas e dados de pluviômetros para a criação de mapas precisos e visualmente informativos, como os que representam o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) e a espacialização das precipitações médias anuais.

Aplicação do Índice de Anomalias de Chuva (IAC) e mapeamento da dinâmica especial com base na geoestatística

Com os dados devidamente organizados e tratados, iniciou-se o processo de aplicação do Índice de

Anomalia de Chuvas (IAC) que foi idealizado por 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).

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

Quadro 1

Categorização da precipitação conforme a metodologia do IAC

Faixa do Índice de Anomalia de Chuvas (IAC)	Classificação da pluviosidade
≥ 4	62
Extremamente chuvoso	18
Entre 2 e 4	Muito chuvoso
Entre 0 a 2	Chuvoso
0	Sem Anomalia
Entre 0 e -2	Seco
Entre -2 e -4	Muito Seco
≤ -4	
Extremamente Seco	

Fonte: adaptado de Rooy (1965).

O método IDW (*Inverse Distance Weighting*, ou “Interpolação por Ponderação Inversa da Distância”) é uma técnica de interpolação espacial amplamente usada em climatologia para estimar variáveis climáticas em áreas onde não há dados observados diretamente, como a precipitação, temperatura, umidade, entre outros parâmetros. No IDW, a estimativa de um valor em um ponto desconhecido é calculada como uma média ponderada

dos valores conhecidos de pontos próximos. A premissa básica é que pontos mais próximos influenciam mais o valor estimado do que pontos mais distantes. A influência de cada ponto é ponderada pela sua distância ao ponto onde se deseja estimar a variável (Antal et al., 2021; Chen e Liu, 2012; Kebblouti et al., 2012; Tan et al., 2021). Segundo Workneh et al. (2024), a fórmula de ponderação de distância inversa para estimar um valor Z em um local

$$Z(x_0, y_0) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Onde, $w_i = \frac{1}{d_i^p}$ desconhecido (x_0, y_0) é dada por:

d_i é a distância entre o ponto conhecido i e o ponto desconhecido, e p é um expoente positivo definido pelo usuário que controla a taxa de decaimento da influência com a distância. O IDW é indicado quando os dados são escassos e onde não há grandes variações espaciais bruscas, como é o caso da presente área de estudo na qual o controle dinâmico do clima é praticamente o mesmo, embora se reconheça a importância das influências locais nos totais pluviométricos que apresentam algumas diferenças não tão discrepantes (como supõe-se a partir desse estudo).

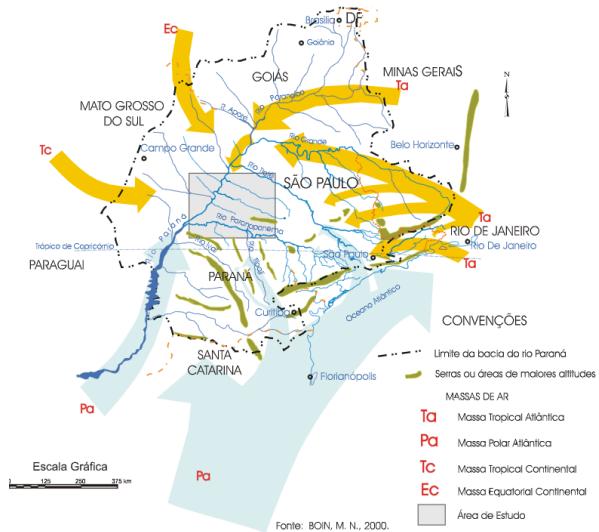
Ademais, o mapeamento das variações espaciais com base no índice de anomalias de chuva foi realizado no software SIG QGIS. O QGIS é uma plataforma de código aberto amplamente utilizada para análise e processamento de dados geoespaciais, permitindo a aplicação de métodos como o IDW para interpolação e visualização espacial dos dados climáticos.

Resultados e discussões

Breve exposição sobre a Climatologia Dinâmica do Oeste Paulista

A Climatologia das chuvas na porção oeste do estado de São Paulo pode ser compreendida através da confluência de importantes sistemas atmosféricos que são responsáveis pela gênese pluvial nessa zona de transição climática. Dessa forma, a área, em termos gerais, pode ser caracterizada pela presença de um período seco (inverno), sob influência predominante dos sistemas polares e um período chuvoso (verão), influenciado pelos sistemas tropicais (Monteiro, 1973). Tomando por base o trabalho de Boin (2000) infere-se que o estudo das características da circulação atmosférica e dos sistemas atmosféricos geradores dos tipos de tempo, nesta região, permite análises capazes de traçar um quadro preciso da distribuição temporal e espacial das precipitações.

Figura 3. Direções e trajetórias das massas de ar que atingem o Oeste Paulista com base na precipitação média para trinta anos (1967-1996)



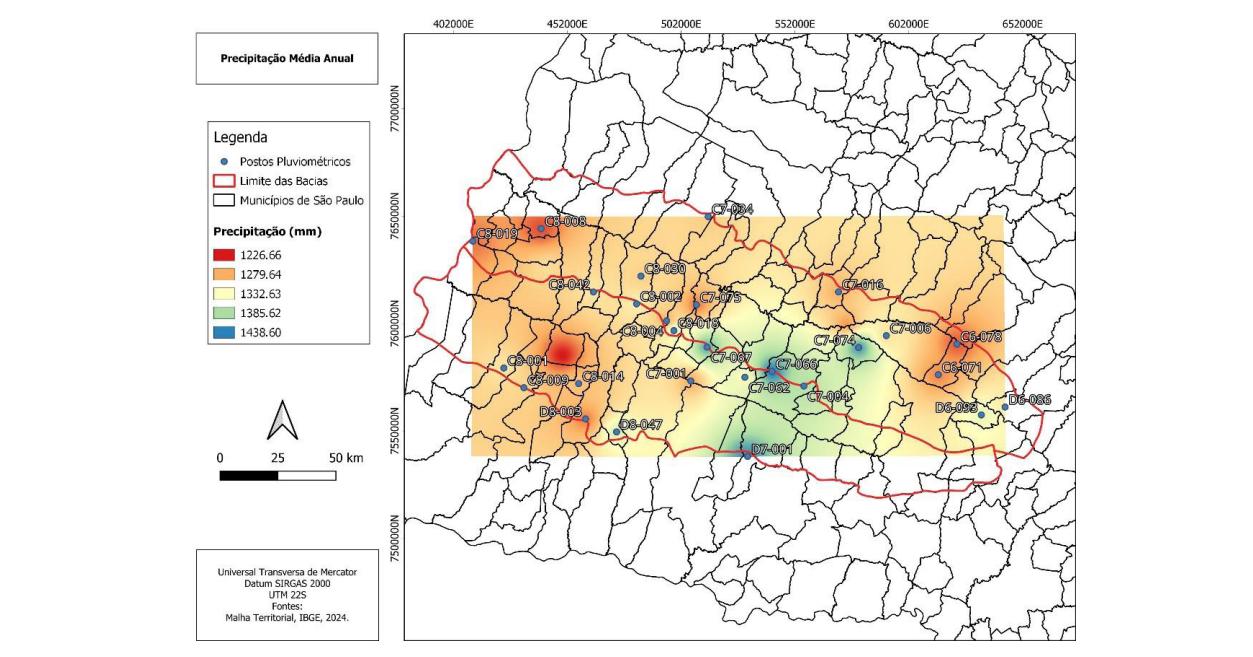
Fonte: Boin & Zavattini (2002).

Neste amplo sentido, o autor identificou que as frentes frias são as maiores responsáveis pelas chuvas na região e às correntes do sul, pelos avanços da Massa Polar Atlântica (MPA), ora “com trajetos de longitudes mais orientais e úmidos, ora com percursos de longitudes mais ocidentais e secos, manifestando maior intensidade quando canalizados pelos principais vales dos rios” (Boin & Zavattini, 2002, p. 8). Na Figura 4 acima, as espessuras dos trajetos indicam qualitativamente a intensidade de ação das massas de ar.

A análise do mapa de precipitação média anual (Figura 4) revela a distribuição espacial dos volumes precipitados nas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos dos Rios Aguapeí e Peixe, no oeste do estado de São Paulo. A classificação da precipitação varia entre 1226,66 mm e 1438,60 mm, destacando uma heterogeneidade significativa na distribuição das chuvas na região, mesmo em uma área relativamente limitada.

As áreas em tons vermelhos, que indicam precipitações médias mais baixas (entre 1226,66 mm e 1279,64 mm), estão concentradas principalmente na porção central e nordeste do mapa. Esses valores mais baixos podem estar associados à influência de características locais, como o relevo ou a cobertura do solo, que podem impactar a retenção e o direcionamento da umidade. Esses locais de menor precipitação representam áreas de potencial atenção, especialmente em contextos de gestão hídrica e agrícola, devido à maior suscetibilidade a déficits hídricos.

Figura 4. Espacialização da precipitação média anual nas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos dos Rios Aguapeí e Peixe (UGRHII's 20 e 21)



Entretanto, as áreas em azul, que representam os maiores volumes médios de precipitação (acima de 1385,62 mm), estão localizadas predominantemente na porção sudeste e em pontos específicos ao longo da área estudada. Essas regiões podem estar associadas a fatores favoráveis à concentração de umidade, como a proximidade de vales ou outros aspectos geográficos que facilitam a ocorrência de chuvas. A transição gradativa de volumes médios de chuva, representada pelos tons intermediários (amarelos e verdes), reflete a continuidade espacial dos padrões pluviométricos. No contexto geral, a análise indica que a precipitação na região apresenta padrões moderadamente heterogêneos, com diferenças perceptíveis entre áreas de maior e menor volume pluviométrico.

Dinâmica da precipitação, variabilidade e tendência temporais

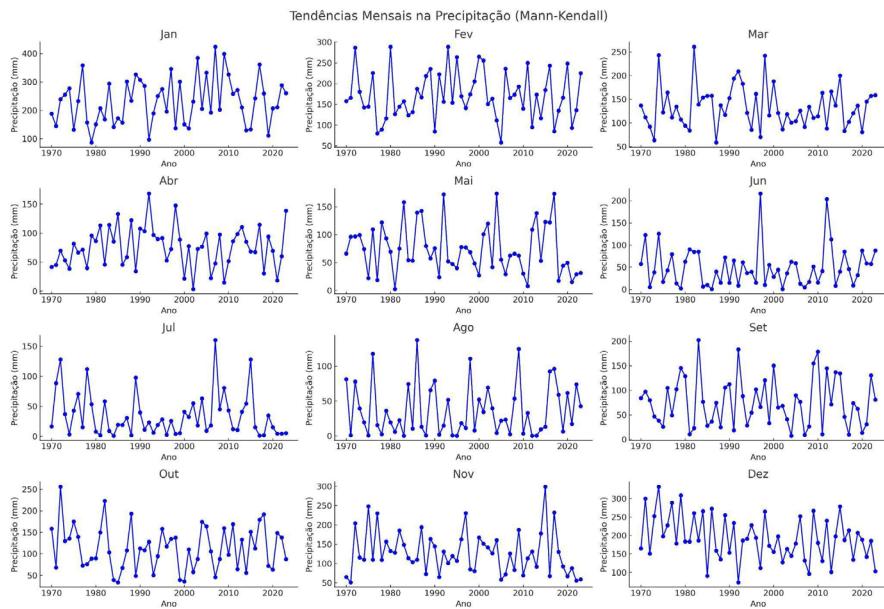
Os gráficos individuais (Figura 5), foram construídos para cada mês do ano e associados aos resultados do teste Mann-Kendall, permitem identificar padrões específicos de pluviosidade nas localidades de estudo. Dessa forma, os meses de janeiro e abril apresentaram um leve aumento na precipitação ao longo do tempo, mas sem significância estatística expressiva. Maio apresentou uma das tendências negativas mais marcantes, com uma redução consistente na precipitação ao longo das décadas, refletindo uma possível alteração sazonal que se associa à variabilidade, não sendo possível definir esse resultado como indicativo

de uma possível mudança climática na região. Em seguida, fevereiro e março demonstraram estabilidade relativa, sem mudanças significativas em seus volumes de chuva ao longo do tempo.

Os resultados sugerem uma alteração sazonal moderada, com alguns meses (especialmente na transição do verão para o outono) mostrando declínios mais evidentes nas chuvas. Essa variação pode estar associada a mudanças no padrão climático global, como o aumento da frequência de fenômenos como El Niño e La Niña, que afetam significativamente a distribuição de chuvas em regiões tropicais (Ikefuti, 2012). A estabilidade observada em meses críticos da estação chuvosa (como dezembro a fevereiro) é um indicativo positivo, já que essa é uma época fundamental para a agricultura e o abastecimento hídrico na região. No entanto, é importante destacar os valores extremos, como secas e chuvas intensas, que podem ocorrer em um curto espaço de tempo.

Nos meses de março a junho, as séries temporais indicam uma maior estabilidade na precipitação após os anos 2000, com uma redução da variabilidade observada em décadas anteriores. Contudo, não é evidente uma tendência consistente de aumento ou redução nos valores médios de precipitação. Por outro lado, os meses de julho a setembro apresentam um comportamento mais irregular, com picos isolados de precipitação em algumas décadas, como nos

Figura 5. Tendências mensais de precipitação nas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos dos Rios Aguapeí e Peixe (UGRHII's 20 e 21)

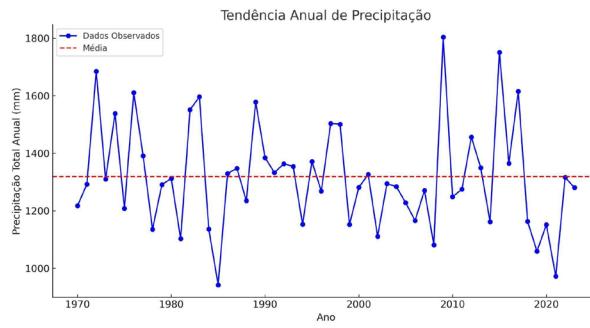


anos 1980 e 2000. Nos meses de outubro a dezembro, há uma maior regularidade na precipitação nas últimas décadas. Outubro apresenta oscilações interdecadais mais evidentes, enquanto novembro e dezembro mostram padrões relativamente estáveis. Esse comportamento sugere que a precipitação nesses meses pode ser menos sensível a variabilidades climáticas de curto prazo, sendo mais associada à dinâmica sazonal da região (Bonfim et al., 2020).

A análise da tendência anual de precipitação total, apresentada no gráfico da figura 6, revela uma significativa variabilidade interanual no período de 1970 a 2020. Os registros de precipitação anual oscilam entre aproximadamente 1000 mm e 1800 mm, evidenciando anos com chuvas excepcionalmente intensas ou muito abaixo da média. Apesar dessa variação expressiva, a linha de tendência média no gráfico indica relativa estabilidade ao longo do período, sem apontar para um aumento ou redução consistente nas últimas cinco décadas. Durante as décadas de 1970 e 1980, nota-se uma maior prevalência de anos com precipitações superiores à média, o que pode ser atribuído a condições climáticas específicas, como os eventos de El Niño. Segundo Andreoli e Kayano (2005), tais eventos tendem a aumentar as chuvas no Sudeste do Brasil, justificando o padrão observado.

Já nas décadas de 1990 e 2000, há uma redução na precipitação média anual, com maior frequência de

Figura 6. Tendências anuais de precipitação nas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos dos Rios Aguapeí e Peixe (UGRHII's 20 e 21)



anos abaixo da média. No entanto, na década de 2010, a variabilidade volta a se intensificar, com anos de extrema precipitação, como os picos registrados em 2010 e 2016, seguidos de períodos de seca mais acentuados. Essa avaliação aponta para a influência de variabilidades climáticas regionais e globais no regime de precipitação, mas não evidencia uma tendência significativa que indique alterações substanciais no padrão de chuvas anuais. Isso reforça a importância de considerar tanto os fatores de longo prazo, como mudanças climáticas, quanto os de curto prazo, como padrões sazonais e eventos extremos, na gestão de recursos hídricos e no planejamento de atividades sensíveis à variabilidade climática.

Aspectos espaço-temporais do Índice de Anomalia de Chuva (IAC)

A análise do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) ao longo das décadas revelou padrões importantes de variabilidade climática na distribuição das chuvas, com alternância entre períodos de seca e de chuva intensa. Durante a década de 1970, o padrão predominante foi de anos classificados como secos ou muito secos, embora alguns episódios úmidos tenham ocorrido de forma esporádica. A ausência de eventos extremamente úmidos sugere uma relativa estabilidade climática, ainda que marcada por valores negativos do IAC em sua maioria. Na década de 1980, os dados indicam uma intensificação das condições de seca, com maior ocorrência de anos classificados como muito secos (eventos como os de 1985, classificados como extremamente secos, marcam um período de variabilidade negativa acentuada). Todavia, houve também anos classificados como úmidos, demonstrando que, apesar da predominância de déficits hídricos, a década apresentou flutuações consideráveis na anomalia de chuvas.

Durante os anos 90, observa-se uma recuperação relativa, com um aumento na frequência de anos úmidos e muito úmidos. Embora eventos secos ainda fossem registrados, a década apresentou maior estabilidade em relação à distribuição das chuvas. É importante destacar que alguns anos muito úmidos, como 1989 e 1997, contribuíram para atenuar a variabilidade negativa observada nas décadas anteriores. A década de 2000, por sua vez, trouxe um retorno à maior variabilidade, com eventos muito secos marcando o início do período, seguidos de anos úmidos e muito úmidos na segunda metade.

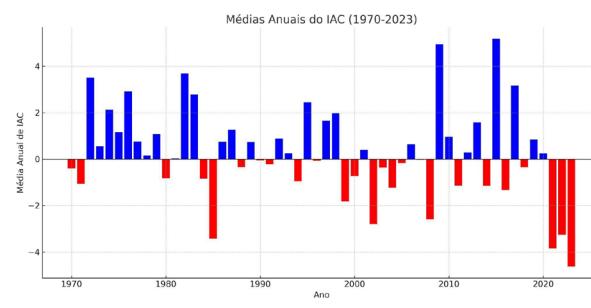
Na década de 2010, os dados destacam um aumento na intensidade e na frequência de eventos extremos, tanto de seca quanto de chuva excessiva. Anos como 2014 e 2016 foram classificados como muito secos, enquanto 2015 e 2017 se destacaram como extremamente úmidos. A década de 2020, embora ainda em andamento, mantém a tendência de grande variabilidade observada na década anterior. Anos como 2021, classificados como extremamente secos, contrastam com outros períodos mais úmidos, como 2022. Essa alternância evidencia a persistência de um regime climático caracterizado por extremos, o que reforça a necessidade de monitoramento constante (Silva, 2024). Em uma análise interdecadal, é possível identificar um padrão oscilatório ao longo do tempo, com períodos de maior predominância de seca, como nos anos 1980 e início dos anos 2000, e períodos com maior frequência de eventos úmidos, como nos anos 1990 e na segunda metade da década de 2010. Outro aspecto relevante é a intensificação

das anomalias a partir da década de 2010, indicando uma maior sensibilidade do regime pluviométrico a fatores externos, possivelmente relacionados às intensificações dos eventos extremos. Essa amplificação de extremos é consistente com as projeções científicas, que apontam para o aumento na frequência de eventos climáticos severos, como secas prolongadas e chuvas intensas (Ballarin et al., 2024; Fowler et al., 2021; Martínez-Villalobos & Neelin, 2023; Moustakis et al., 2021).

A análise da porcentagem das classes do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) ao longo do tempo também destacou importantes características do regime pluviométrico regional. A classe “Seco” é a mais frequente, correspondendo a mais de 30% do total, indicando uma predominância de anos com precipitação abaixo da média. Por outro lado, a classe “Úmido” também é bastante representativa, correspondendo a pouco menos de 30% do total. Isso sugere que, apesar da predominância de anos secos, uma proporção relevante de anos apresentou chuvas acima da média, o que contribuiu para compensar, parcialmente, os períodos de déficits. As classes “Muito Seco” e “Muito Úmido” aparecem em proporções próximas, indicando que extremos tanto de seca quanto de chuvas intensas ocorreram com frequência relativamente semelhante. No entanto, a classe “Extremamente Seco” é mais frequente do que a “Extremamente Úmido”, evidenciando uma ligeira inclinação para a ocorrência de eventos de seca severa em relação a chuvas excepcionais.

De maneira geral, o padrão de distribuição das classes de IAC evidenciou um regime climático caracterizado por alta variabilidade, com predominância de eventos secos e uma menor frequência de extremos úmidos. Esse comportamento reforçou a necessidade de estratégias de monitoramento e planejamento que levem em conta a possibilidade de extremos climáticos cada vez mais frequentes, especialmente em um cenário de mudanças climáticas globais.

Figura 7. Médias anuais do IAC nas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos dos Rios Aguapeí e Peixe (UGRHII's 20 e 21)



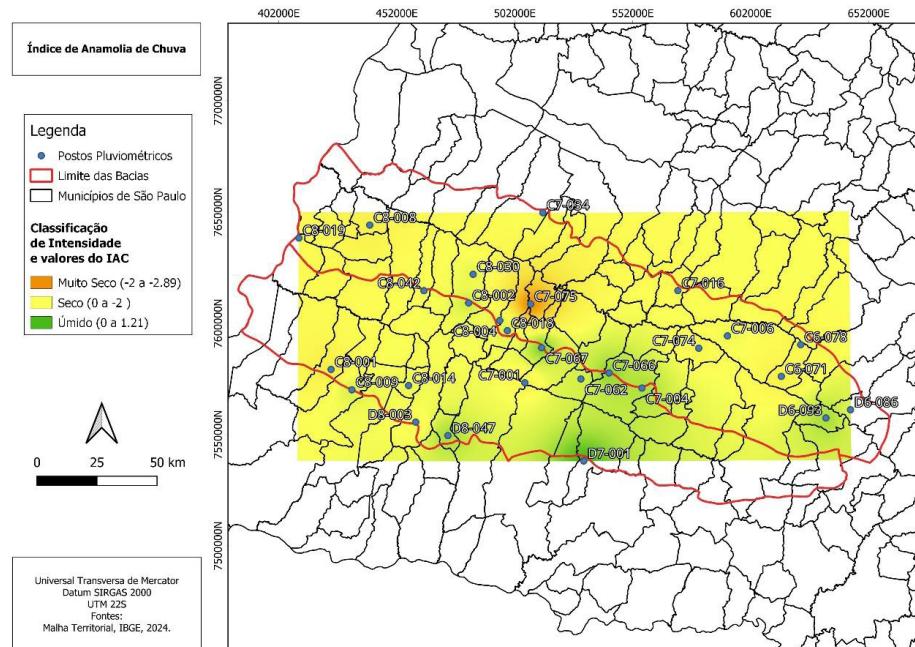
O mapa apresentado na figura 8, referente ao Índice de Anomalia de Chuva (IAC) na região, destacam as áreas classificadas quanto à intensidade das condições de umidade. As classes representadas incluíram “Muito Seco” (valores de -2 a -2.89), “Seco” (0 a -2) e “Úmido” (0 a 1.21), indicando diferentes condições de anomalias pluviométricas em relação ao período de referência. No contexto geral, a predominância das áreas amarelas (condição “Seco”) sugeriram um regime de chuvas abaixo da média histórica em boa parte do território classificado. As áreas classificadas como “Muito Seco”, destacadas em laranja, representam os locais onde as condições de seca foram mais severas. Estas regiões, concentradas principalmente na porção central do mapa, evidenciam a presença de anomalias significativas na distribuição das chuvas, possivelmente influenciadas por mecanismos climáticos de ordem regional ou eventos extremos. Esse padrão pode ter impactado tanto os ecossistemas locais quanto as atividades econômicas, como a agricultura nas localidades, que é fortemente dependente da regularidade das chuvas.

Por outro lado, observou-se a presença de áreas classificadas como “Úmido” em tons verdes, localizadas predominantemente na porção sudeste do mapa. Estas áreas indicaram condições pluviométricas superiores à média, que podem ser atribuídas a eventos específicos, como

frontes frias ou sistemas de baixa pressão que favoreceram a precipitação nessas localidades (Berezuk & Neto, 2006; Brigatti & Neto, 2003; Silva, 2024). Esse contraste entre regiões úmidas e secas evidencia a variabilidade espacial da distribuição das chuvas, comum em áreas com relevo e condições locais variadas. Dessa forma, a análise geral do mapa sugeriu uma predominância de condições secas na maior parte da região, intercaladas por áreas localizadas com chuvas acima da média. Comparando esses achados com os resultados discutidos por Bonfim et al., (2020), ambos os estudos são concordantes quanto à variabilidade interanual da precipitação no oeste paulista, influenciada por fenômenos climáticos de grande escala, como o El Niño e a La Niña.

Enquanto o estudo atual identificou uma predominância de condições secas na maior parte da região, intercaladas por áreas com chuvas acima da média, o estudo mencionado enfatizou a intensidade dos eventos chuvosos, apesar da maior frequência de secas. Em síntese, a comparação entre essas pesquisas evidencia a complexidade do regime pluviométrico no oeste paulista, caracterizado por alta variabilidade e influências de fenômenos climáticos de grande escala. Com isso, a integração de diferentes metodologias e abordagens analíticas, como o uso do IAC e do SPI, enriquece a compreensão dos padrões de precipitação e subsidia a formulação de medidas

Figura 8. Variações espaciais do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) nas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos dos Rios Aguapeí e Peixe (UGRHII's 20 e 21)



eficazes para enfrentar os desafios impostos por períodos climáticos adversos.

Vale ressaltar que a consideração das condições e do efeito das configurações da rede de pluviômetros na interpolação espacial é fundamental para garantir a precisão e a representatividade das análises de precipitação, já que uma rede de pluviômetros bem configurada permite captar com maior precisão os microclimas locais, que podem ser influenciados por fatores como o relevo, a proximidade de corpos d'água e a ocupação do solo (Girons-Lopez et al., 2015; Merino et al., 2021; Simoyama et al., 2023). Essas características podem gerar variações significativas na distribuição da chuva em escalas espaciais reduzidas. Uma rede de baixa densidade ou mal distribuída pode subestimar ou superestimar as condições de precipitação em áreas específicas, dificultando a identificação de padrões reais de anomalias climáticas, mesmo que sob condições de dinâmica climática homogênea.

Conclusões

As análises apresentadas destacam a complexidade e variabilidade do regime pluviométrico no oeste do estado de São Paulo, uma região caracterizada por influências climáticas dinâmicas e uma alternância de períodos secos e úmidos. A predominância de condições secas em grande parte do território reforça a necessidade de uma gestão hídrica eficiente, considerando a vulnerabilidade da região a períodos de déficit hídrico. Esse padrão seco, intercalado com eventos de chuvas intensas localizadas, evidencia a sensibilidade climática da região a fatores externos, como eventos de grande escala, incluindo El Niño e La Niña.

A análise do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) revelou a prevalência da classe “Seco”, representando mais de 30% dos anos avaliados, o que reforça a predominância de déficits pluviométricos na região. No entanto, a significativa presença de anos classificados como “Úmido” e “Muito Úmido” demonstra a capacidade de compensação parcial desses períodos de seca ao longo do tempo. Tal comportamento oscilatório ressalta a importância de estratégias que considerem tanto períodos de escassez quanto de excesso, em especial devido aos impactos significativos que ambos podem causar nas atividades agrícolas, nos ecossistemas locais e nas áreas urbanas envolvidas.

Em termos climáticos, a alternância de condições secas e úmidas observada ao longo das décadas reflete uma interação complexa entre os sistemas atmosféricos polares e tropicais, com destaque para a influência das frentes frias e da Massa Polar Atlântica (MPA) no regime de chuvas da região. Essa dinâmica sazonal evidencia a importância

dos sistemas atmosféricos de larga escala na determinação das precipitações locais, indicando que o monitoramento contínuo desses padrões climáticos é essencial para a previsão de eventos extremos e o planejamento das atividades diversas nas regiões.

A frequência de anos classificados como “Extremamente Seco” e “Extremamente Úmido” sugere uma amplificação da variabilidade climática, possivelmente relacionada às mudanças climáticas globais. Essa intensificação reforça a necessidade de ações que corroborem para a minimização dos impactos desses extremos, como políticas públicas voltadas para a adaptação climática e a preservação dos recursos naturais.

Por fim, o estudo ressalta a importância de um planejamento integrado e sustentável para a região do Oeste paulista. A análise das tendências e variações espaciais do IAC, associada ao entendimento da climatologia dinâmica local, pode subsidiar medidas mais eficazes de gestão hídrica e territorial. Além disso, a conscientização sobre os impactos das variações climáticas e a implementação/ampliação de tecnologias para monitoramento e minimização dos efeitos dos extremos climáticos são essenciais para garantir a resiliência socioeconômica e ambiental da região no futuro.

Conflitos de interesses

A autora destaca que não há conflito de interesses.

Declaração de autoria

Rafaela Melissa Andrade Ferreira: Conceitualização, Investigação, Metodologia, Curadoria dos dados, Softwares, Administração do projeto, Supervisão, Redação (rascunho original), Redação (revisão e original).

Agradecimentos

A autora principal agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Doutorado concedida no âmbito do Programa de Excelência Acadêmica (Processo - 88887.967007/2024-00) para o desenvolvimento da presente pesquisa vinculada ao Programa de Pós-graduação em Geografia da FCT/UNESP-Presidente Prudente.

Referências bibliográficas

Andrade, L. F. (2014). *Análise espaço-temporal do escoamento fluvial nas bacias hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe, oeste paulista, Brasil* [Dissertação Mestrado em Geografia - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente-SP].

- Andreoli, R. V., & Kayano, M. T. (2005). ENSO-related rainfall anomalies in South America and associated circulation features during warm and cold Pacific decadal oscillation regimes. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 25(15), 2017-2030. <https://doi.org/10.1002/joc.1222>
- Antal, A., Guerreiro, P. M. P., & Cheval, S. (2021). Comparison of spatial interpolation methods for estimating the precipitation distribution in Portugal. *Theoretical and Applied Climatology*, 145(3), 1193-1206. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-329689/v1>
- Ballarin, A. S. et al. (2024). Frequency rather than intensity drives projected changes of rainfall events in Brazil. *Earth's Future*, 12(1), e2023EF004053. <https://doi.org/10.1029/2023EF004053>
- Ban, J., Lu, K., Liu, Y., Zang, J., Zhou, Z., Zhang, C., ... & Li, T. (2024). Projecting future excess deaths associated with extreme precipitation events in China under changing climate: an integrated modelling study. *The Lancet Planetary Health*, 8(10), e723-e733. [https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196\(24\)00202-X/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196(24)00202-X/fulltext)
- Barbosa, J. P. M., De Campos, A. B., & Dos Santos, V. M. N. (2022). Metodologias e escala na climatologia geográfica-técnicas estatísticas e visão multi-escalares para a compreensão do comportamento do clima. *Geografia (Londrina)*, 31(1), 277-296.
- Berezuk, A. G., & Neto, J. L. S. (2006). Eventos climáticos extremos no oeste paulista e norte do Paraná, nos anos de 1997, 1998 e 2001. *Revista Brasileira de Climatologia*, 2. <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25370>
- Bielenki, C. et al. (2018). Alternative methodology to gap filling for generation of monthly rainfall series with GIS approach. *RBRH*, 23, e29. <https://www.scielo.br/j/rbrh/a/krsV8WGmGL9Rt9WtTFKCbkG/?format=pdf&lang=en>
- Boin, M. N. (2000). *Chuvas e erosões no Oeste Paulista: uma análise climatológica aplicada* [Tese Doutorado em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro].
- Boin, M. N., & Zavattini, J. A. (2002). Chuvas e erosões no Oeste Paulista: uma análise climatológica aplicada. *Geografia*, 27(1), 95-118. <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/1757>
- Boin, M. N., & Zavattini, J. A. (2005). Variações do ritmo pluvial no Oeste Paulista: gênese e impactos erosivos. *Geografia*, 30(1), 115-139. <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/674/581>
- Bonfim, O. E. T. et al. (2020). Análise dos eventos climáticos extremos e de suas causas climáticas para redução de riscos nas bacias hidrográficas Aguapeí e Peixe, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 35(spe), 755-768. <https://doi.org/10.1590/0102-7786355000004>
- Bonsoms, J., & Ninyerola, M. (2024). Comparison of linear, generalized additive models and machine learning algorithms for spatial climate interpolation. *Theoretical and Applied Climatology*, 155(3), 1777-1792. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-023-04725-5>
- Brigatti, N., & Neto, J. L. S. (2003). Variabilidade e tendência das chuvas no extremo oeste paulista no período de 1971 a 1999: problemas e perspectivas. *Geografia em Atos (Online)*, 1(5), 1-16. <https://doi.org/10.35416/geoatos.v1i5.7632>
- Chen, F., & Liu, C. (2012). Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan. *Paddy and Water Environment*, 10, 209-222. <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/4EXRbnq7/>
- Estrada, L., Garcia, X., Saló-Grau, J., Marcé, R., Munné, A., & Acuña, V. (2024). Spatio-temporal patterns and trends of streamflow in water-scarce Mediterranean basins. *Hydrology and Earth System Sciences*, 28(24), 5353-5373. <https://egusphere.copernicus.org/preprints/2024/egusphere-2023-3007/>
- Fernandes, P. R. (2019). *Análise integrada: meio físico, cobertura da terra das bacias hidrográficas e dados fluviométricos e limnológicos dos rios Aguapeí e Peixe (UGRHIS 20 e 21)*. [Dissertação Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira]. <http://hdl.handle.net/11449/194320>

- Fontão, P. A. B., & Ferreira, R. M. A. (2022). As chuvas no Sistema Cantareira: avaliação dos reflexos no manancial visando a segurança hídrica da Região Metropolitana de São Paulo. *Revista de Geografia-ppgeo-ufjf*, 12(2), 218-238. <https://periodicos.ufjf.br/index.php/geografia/article/view/39225>
- Fowler, H. J. et al. (2021). Anthropogenic intensification of short-duration rainfall extremes. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(2), 107-122. <https://www.nature.com/articles/s43017-020-00128-6>
- García, F. F. (1996). *Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación*. Editorial Síntesis.
- Giulio, G. M. D. et al. (2019). Eventos extremos, mudanças climáticas e adaptação no estado de São Paulo. *Ambiente & Sociedade*, 22, e02771. <https://www.scielo.br/j/asoc/a/VjXMK84V3n7w88hGWT3Bxr/>?lang=pt&format=pdf
- Girons Lopez, M. et al. (2015). Location and density of rain gauges for the estimation of spatial varying precipitation. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 97(1), 167-179. https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/112590/1/2015_Girons_geoa12094.pdf
- Ikefuti, P. V. (2012). *Variabilidade climática do oeste paulista e suas ligações com a temperatura da superfície do mar dos oceanos Pacífico e Atlântico*. [Dissertação Mestrado em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/D.8.2012.tde-09012013-125512>
- Keblouti, M., Ouerdachi, L., & Boutaghane, H. (2012). Spatial interpolation of annual precipitation in Annaba-Algeria-comparison and evaluation of methods. *Energy Procedia*, 18, 468-475. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.05.058>
- Li, J., Shen, Y., Chen, L., & Ng, C. W. W. (2023). Rainfall spatial interpolation with graph neural networks. In *International conference on database systems for advanced applications* (pp. 175-191). Springer Nature Switzerland.
- Marchezini, V. et al. (2023). O que são eventos extremos? Uma reflexão sobre as diferentes perspectivas do termo. *Revista Brasileira de Climatologia*, 2. <https://climacom.mudancasclimaticas.net.br/o-que-sao-eventos-extremos/>
- Martínez-Villalobos, C., & Neelin, J. D. (2023). Regionally high risk increase for precipitation extreme events under global warming. *Scientific Reports*, 13(1), 5579. <https://www.nature.com/articles/s41598-023-32372-3>
- Mello, Y. R., Kohls, W., & de Oliveira, T. M. N. (2017). Uso de diferentes métodos para o preenchimento de falhas em estações pluviométricas. *Boletim de Geografia*.
- Merino, A., García-Ortega, E., Navarro, A., Fernández-González, S., Tapiador, F. J., & Sánchez, J. L. (2021). Evaluation of gridded rain-gauge-based precipitation datasets: Impact of station density, spatial resolution, altitude gradient and climate. *International Journal of Climatology*, 41(5), 3027-3043.
- Medeiros, E. S. D., Oliveira, W. D. S., Silva, P. V. D., Souza, A. D., Bicalho, C. C., Mauad, M., & Souza, S. A. D. (2024). Mapping Rainfall Variability in the São Francisco River Basin: Insights for Water Resource Management. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 39, e39240050. <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/LgbccFkdkCsbD7pZSsJvXR/>
- Moustakis, Y. et al. (2021). Seasonality, intensity, and duration of rainfall extremes change in a warmer climate. *Earth's Future*, 9(3), e2020EF001824. <https://doi.org/10.1029/2020EF001824>
- Monteiro, C. A. F. (1973). *A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo*. IGEOG/USP.
- Monteiro, C. A. F. (1991). *Clima e excepcionalismo: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico*. Editora da UFSC.
- Nath, H., Adhikary, S. K., Nath, S., Kafy, A. A., Islam, A. R. M. T., Alsulamy, S., ... & Shohan, A. A. A. (2024). Long-term trends and spatial variability in rainfall in the southeast region of Bangladesh: implication for sustainable water resources management. *Theoretical and Applied Climatology*, 155(5), 3693-3717. <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/IDLnPZZI/>
- Nobre, C. et al. (2010). *Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana de São Paulo*.

- Prandi, E. C. (2010). *Gestão integrada das águas do sistema aquífero Bauru nas bacias hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe / SP* [Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas].
- Rocha, P. C., & Tommaselli, J. T. G. (2012). Variabilidade hidrológica nas bacias dos rios aguapeí e peixe, região Oeste Paulista. *Revista Brasileira de Climatologia*, 10.
- Rocha, P. C., & Santos, A. A. (2018). Análise hidrológica em bacias hidrográficas. *Mercator (Fortaleza)*, 17, e17025. <https://www.scielo.br/j/mercator/a/Yp5gsvwHnrrLfY34RrbKXms/?format=pdf&lang=pt>.
- Rooy, M. P. van. (1965). A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space. *Notos*, 14, 43.
- Ross, J. L. S., & Moroz, I. C. (1997). *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo: escala 1: 500.000*.
- Ruezzene, C. B., de Miranda, R. B., Tech, A. R. B., & Mauad, F. F. (2020). Revisão bibliográfica dos principais métodos de preenchimento de falhas em dados de precipitação. *Brazilian Journal of Business*, 2(3), 2057-2071. <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJB/article/view/13347>.
- Salcedo-Sanz, S., Pérez-Aracil, J., Ascenso, G., Del Ser, J., Casillas-Pérez, D., Kadow, C., ... & Castelletti, A. (2024). Analysis, characterization, prediction, and attribution of extreme atmospheric events with machine learning and deep learning techniques: a review. *Theoretical and Applied Climatology*, 155(1), 1-44.
- Santos, B. C. et al. (2023). Efeito da orografia nas chuvas por meio da análise de índices climáticos na região do planalto ocidental paulista. *Mercator (Fortaleza)*, 22, e22030. <https://doi.org/10.4215/rm2023.e22030>
- Silva, G. H. P. (2024). *Tendências e ocorrências de episódios extremos climáticos em Presidente Prudente (SP)*. [Tese Doutorado em Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente].
- Simoyama, F. O. et al. (2023). Optimization of rain gauge networks—a systematic literature review. *Socio-Economic Planning Sciences*, 86, 101469. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101469>
- Tan, J. et al. (2021). Coupling random forest and inverse distance weighting to generate climate surfaces of precipitation and temperature with multiple-covariates. *Journal of Hydrology*, 598, 126270. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126270>
- Tucci, C. E. M. (2001). *Hidrologia: ciência e aplicação*. Ed. Universidade/UFRGS: ABRH.
- Vinod, D., & Mahesha, A. (2024). Large-scale atmospheric teleconnections and spatiotemporal variability of extreme rainfall indices across India. *Journal of Hydrology*, 628, 130584. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130584>
- Workneh, H. T. et al. (2024). Comparison of IDW, Kriging and orographic based linear interpolations of rainfall in six rainfall regimes of Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 52, 101696. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101696>