

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**MARCOS ADRIANO MARTINS JOAQUIM**

**ESTUDO DA MUDANÇA NOS PADRÕES DE PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO  
PARANÁ**

**TOLEDO**

**2025**

versão 11.0 (abr.25)

**MARCOS ADRIANO MARTINS JOAQUIM**

**ESTUDO DA MUDANÇA NOS PADRÕES DE PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO  
PARANÁ**

**Study of changes in precipitation patterns in the state of Paraná**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador(a): Wagner Alessandro Pansera.

**TOLEDO**

**2025**



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**MARCOS ADRIANO MARTINS JOAQUIM**

**ESTUDO DA MUDANÇA NOS PADRÕES DE PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO  
PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia civil, da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 17 / Novembro / 2025

---

Wagner Alessandro Pansera  
Doutor em Engenharia Agrícola  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Toledo

---

Rafael Bertolini Frigori  
Doutor em Física  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Toledo

---

Gustavo Henrique Dalposso  
Doutor em Engenharia Agrícola  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Toledo

**TOLEDO**

**2025**

## **AGRADECIMENTOS**

Por meio desse tópico quero expressar meu agradecimento a todas pessoas que fizeram parte da minha graduação, foram anos de muito crescimento intelectual e humano.

Quero agradecer a minha parceira, minha confidente, meu amor, Maria Eduarda, que desde o primeiro dia de faculdade foi minha maior parceira na graduação e na vida, seu apoio foi essencial para todo processo ser mais fácil e feliz.

Também quero agradecer a minha família, minha mãe Adriana e meu irmão João Paulo que deram todo apoio necessário desde a minha escolha pelo curso, além de meu anjo da guarda, meu pai Marcos Roberto, que mesmo não presente em vida foi a força necessária para mim vencer todas batalhas.

Além disso, deixo meus agradecimentos aos amigos e colegas, que deixaram essa caminhada mais leve.

Não poderia deixar de agradecer todos professores que fizeram parte da minha formação, em especial ao meu orientador Wagner, que sempre esteve disponível para ajudar e disposto a tornar o trabalho o melhor possível.

Deixo aqui meus sinceros muito obrigado a todos que participaram de alguma forma dessa etapa maravilhosa da minha vida.

## RESUMO

Os eventos de precipitação têm apresentado mudanças significativas em seu comportamento nas últimas décadas, influenciado principalmente pelas alterações climáticas globais. Compreender essas variações é essencial para o dimensionamento adequado de estruturas hidráulicas, planejamento urbano, gestão dos recursos hídricos e para agricultura. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar as tendências temporais do tempo entre eventos de chuva (IET) e do número anual de chuvas ( $\lambda$ ) no estado do Paraná, buscando identificar possíveis mudanças no regime pluviométrico ao longo do tempo. Foram utilizadas séries históricas de precipitação com mais de 50 anos de registros, obtidas de 66 estações pluviométricas distribuídas por todo o estado. A metodologia baseou-se na aplicação de testes estatísticos, como o teste t e o teste F, para comparação de médias e variâncias entre dois períodos distintos a fim de detectar mudanças no padrão, além da análise das diferenças entre valores médios do passado e do presente para estações com mudanças estatisticamente significativas. O estudo considerou três limiares de precipitação: 25 mm, 50 mm e 75 mm. Os resultados demonstraram que a maior parte das alterações significativas ocorreu no limiar de 25 mm, indicando um aumento na frequência das chuvas de menor magnitude e uma redução no intervalo médio entre eventos, sugerindo um regime de chuvas mais frequente. Em contrapartida, para limiares mais elevados, as mudanças foram menos expressivas, porém evidenciaram a intensificação de eventos diários médios e extremos em algumas regiões. A análise espacial revelou que as transformações não ocorrem de forma uniforme no estado, sendo mais acentuadas na região Leste, possivelmente devido à influência orográfica e marítima. Conclui-se que o regime pluviométrico do Paraná apresenta sinais de uma possível não estacionariedade, refletindo um cenário de maior variabilidade temporal e espacial das chuvas. Tais resultados reforçam a importância de revisões nos modelos hidrológicos e no planejamento de infraestrutura, bem como a necessidade de políticas públicas voltadas à adaptação e mitigação dos impactos decorrentes das mudanças climáticas.

Palavras-chave: precipitação; mudanças climáticas; estatística.

## ABSTRACT

Precipitation events have undergone significant changes in their behavior over the past decades, primarily influenced by global climate change. Understanding these variations is essential for the proper design of hydraulic structures, urban planning, and the management of water and agricultural resources. In this context, the present study aimed to analyze the temporal trends of the inter-event time (IET) and the annual number of rainfall events ( $\lambda$ ) in the state of Paraná, seeking to identify potential changes in the rainfall regime over time. Historical precipitation series with more than 50 years of records, obtained from 66 meteorological stations distributed throughout the state, were used. The methodology was based on the application of statistical tests, such as the t-test and F-test, for the comparison of means and variances between two distinct periods in order to detect changes in the pattern, in addition to the analysis of differences between past and present mean values for stations with statistically significant changes. The study considered three precipitation thresholds: 25 mm, 50 mm, and 75 mm. The results showed that most of the significant changes occurred at the 25 mm threshold, indicating an increase in the frequency of lower-magnitude rainfall events and a reduction in the average interval between events, suggesting a more frequent rainfall regime. In contrast, for higher thresholds, changes were less pronounced, although they evidenced the intensification of extreme events in some regions. Spatial analysis revealed that the transformations do not occur uniformly across the state, being more pronounced in the Eastern region, possibly due to orographic and maritime influences. It is concluded that the rainfall regime in Paraná shows signs of potential non-stationarity, reflecting greater temporal and spatial variability of rainfall. These results reinforce the importance of reviewing hydrological models and infrastructure planning, as well as the need for public policies aimed at adapting to and mitigating the impacts of climate change.

Keywords: Precipitation; Climatic changes; statistics.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1: Fluxograma metodológico da pesquisa.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 2: Distribuição das chuvas diárias da estação exemplo com diferentes limiares.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 3: Mapa das divisões adotadas para o Paraná em 4 regiões .....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 4: Estações com diferenças significativas para o número anual de chuvas (<math>\lambda</math>).....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 5: Estações com diferenças significativas para o intervalo entre eventos de chuva (IET).....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 6: Boxplot comparativo entre IET e <math>\lambda</math> para limiar de 25mm.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 7: Boxplot comparativo entre IET e <math>\lambda</math> para limiar de 50mm.....</b>	<b>43</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados da aplicação dos testes t e F para o IET .....	28
Tabela 2: Resultados da aplicação dos testes t e F para o $\lambda$ .....	29
Tabela 3: Porcentagem de estações com diferenças significativas por região	34
Tabela 4: Diferença entre médias passado e presente IET e $\lambda$ para limiar de 25mm .....	38
Tabela 5: Diferença entre médias passado e presente IET e $\lambda$ para limiar de 50mm .....	41
Tabela 6: Diferença entre médias passado e presente IET e $\lambda$ para limiar de 75mm .....	44

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativa.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Chuvas extremas e seus impactos hidrológicos.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Identificação de tendência em séries de chuvas.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3</b>	<b>Estudos de análise de tendência em séries de chuvas .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4</b>	<b>Análise de frequência de chuvas sob a hipótese de não-estacionariedade .....</b>	<b>21</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1</b>	<b>Parâmetros, dados e métodos .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2</b>	<b>Escolha do limiar.....</b>	<b>25</b>
<b>3.3</b>	<b>Métodos estatísticos .....</b>	<b>26</b>
<b>3.4</b>	<b>Análise dos resultados .....</b>	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1</b>	<b>Resultados teste t e teste F .....</b>	<b>28</b>
<b>4.2</b>	<b>Comparações entre as métricas (IET e <math>\lambda</math>) .....</b>	<b>32</b>
<b>4.3</b>	<b>Análise dos padrões espaciais .....</b>	<b>33</b>
<b>4.4</b>	<b>Discussão interpretativa sobre os resultados do teste t e teste F...35</b>	<b>35</b>
<b>4.5</b>	<b>Análise das médias do IET e <math>\lambda</math> para limiar de 25mm.....</b>	<b>37</b>
<b>4.6</b>	<b>Análise das médias do IET e <math>\lambda</math> para limiar de 50mm.....</b>	<b>41</b>
<b>4.7</b>	<b>Análise das médias do IET e <math>\lambda</math> para limiar de 75mm.....</b>	<b>44</b>
<b>4.8</b>	<b>Considerações gerais dos resultados .....</b>	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O conhecimento de como a chuva se comporta ao longo do tempo é de extrema importância para o dimensionamento de estruturas hidráulicas, como reservatórios e galerias pluviais, além de relevante para setores essenciais como a construção civil em geral e a agricultura. Entender parâmetros como a frequência, intensidade e duração da precipitação é fundamental para garantir estruturas seguras e eficientes, planejamento adequado de obras e uma melhor gestão de plantios, irrigação e manejo do solo. Dessa forma, ignorar essas variáveis pode acarretar em falhas estruturais, atrasos em obras, perdas de colheitas, além de outras consequências que geram prejuízos financeiros e até perdas de vidas humanas.

Entretanto, essas variáveis não são fáceis de estimar, principalmente em função das mudanças climáticas. Diante disso, as alterações no clima global causadas por fenômenos naturais e antropogênicos afetam diretamente os parâmetros do regime pluviométrico, provocando uma mudança no comportamento de eventos de chuva e tornando a distribuição temporal e espacial cada vez mais instável. Como consequência, tem-se observado, com maior frequência, a ocorrência de enchentes, deslizamentos de terra, rompimentos de estruturas e prejuízo na lavoura.

Um dos principais fatores que contribuem para esses desastres é o fato de que a maioria dos planejamentos e dimensionamentos são feitos com base em modelos hidrológicos tradicionais, os quais consideravam o regime pluviométrico como estacionário, ou seja, sem alterações significativas nos parâmetros estatísticos ao longo do tempo. Contudo, com a possível mudança no comportamento das chuvas, esses modelos podem fornecer resultados que não refletem a realidade, demandando revisões e atualizações. Nesse contexto, destaca-se que os estudos sobre as precipitações devem ser aperfeiçoados para que incorporem as alterações climáticas e reconheçam a possibilidade de não estacionariedade nas séries históricas de precipitação, de acordo com o cenário atual do local analisado.

Pesquisas atuais devem, inicialmente, analisar se as séries pluviométricas são estacionárias ou não, isto é, se seus parâmetros estatísticos permanecem constantes ou variam ao longo do tempo. A partir dessa avaliação, pode-se então determinar a metodologia estatística mais adequada para analisar os dados e produzir informações confiáveis.

Nesse cenário, dois parâmetros se destacam para um planejamento mais eficaz dos recursos hídricos: o tempo entre eventos de chuvas (IET) e o número anual de chuvas ( $\lambda$ ). O Intervalo entre eventos de chuva (IET) é definido como o período de tempo transcorrido entre dois eventos de precipitação diária cujo volume excede um limiar previamente estabelecido, sua análise permite avaliar a frequência dos eventos pluviométricos. Por sua vez, o parâmetro  $\lambda$  representa o número anual de dias com precipitação acima do limiar, possibilitando uma quantificação da ocorrência de chuvas diárias ao longo do ano na área estudada. Assim, compreender o comportamento dessas variáveis auxilia na resposta a questões fundamentais, como: as chuvas estão se tornando mais ou menos frequentes? Os eventos extremos estão se tornando mais comuns ou raros? Como está o processo de recarga hídrica do solo na região? Tais questões são de extrema relevância, sobretudo no estado do Paraná, onde a diversidade climática e a intensa atividade agrícola e urbana tornam indispensável uma gestão eficiente dos recursos hídricos.

Portanto, o presente estudo propõe-se a investigar o IET e o  $\lambda$  no estado do Paraná, buscando detectar tendências por meio da aplicação dos testes estatísticos  $t$  e  $F$  que permitam identificar a existência de possíveis alterações nesses parâmetros quando comparado o passado e o presente. Além disso, também tem como objetivo avaliar a diferença das médias entre os dois períodos para as estações que apresentarem diferenças significativas nos testes. Assim, este trabalho busca contribuir para a formulação de estratégias de adaptação às mudanças climáticas, bem como para o aperfeiçoamento na estimativa de eventos pluviométricos.

## **1.1 Justificativa**

O Paraná é um dos maiores produtores de grãos do Brasil, destacando-se como um importante polo da economia nacional, além de abrigar em seu território reservatórios de extrema importância, como a usina de Itaipu. Nesse contexto, mudanças nos regimes pluviométricos afetam diretamente a produção de energia e a produção agrícola, uma vez que tanto a ocorrência de estiagens quanto a de eventos extremos impactam no setor. Por conseguinte, os eventos extremos comprometem o rendimento das safras e, conseqüentemente, a economia do país (Anjos; Nery, 2005).

Estudos recentes, como o de Schmoeller e Limberger (2023), que analisaram o comportamento das chuvas no estado do Paraná, indicam uma tendência de aumento no número de eventos extremos na região. Diante disso, pesquisas como

essa fornecem indícios relevantes de alterações nos padrões pluviométricos, reforçando a necessidade de ampliar os estudos que busquem confirmar essas tendências e aprimorar as estimativas relacionadas à precipitação.

Diante desse cenário, destaca-se a relevância de investigações que analisem parâmetros como o tempo entre eventos de chuvas (IET) e o número anual de chuvas ( $\lambda$ ). O IET, além de outros fatores, permite compreender como está ocorrendo a recarga hídrica do solo, aspecto fundamental para o planejamento da agricultura e da gestão dos recursos hídricos.

Além das implicações para o setor agrícola, é imprescindível considerar os riscos associados ao aumento da frequência e magnitude das chuvas, que podem elevar significativamente a probabilidade de ocorrência de enchentes e alagamentos. Pois, esses eventos, na maioria das vezes, resultam em prejuízos econômicos expressivos e, em casos mais graves, em perdas humanas. Um exemplo significativo ocorre na cidade de Guarapuava, onde, entre 2005 e 2011, diversos episódios de alagamentos foram registrados, sendo três deles de grandes proporções, afetando cerca de 3.300 habitantes (Vestena; Almeida; Geffer, 2020). Vale destacar ainda que muitas dessas enchentes afetam principalmente locais de moradias de baixa renda, evidenciando ainda um problema socioambiental (Goudard; Mendonça, 2020; Silva; Silva; Mendonça, 2022)

Portanto, um conhecimento mais aprofundado sobre o atual comportamento das chuvas é essencial para o dimensionamento mais eficiente de estruturas de drenagem. Com isso, visa-se a prevenção de alagamentos e a redução dos impactos negativos sobre as populações urbanas e rurais.

Assim, a presente pesquisa pretende colaborar com os estudos já existentes sobre o comportamento dos parâmetros hidrológicos das chuvas, com o objetivo de tornar esses resultados mais robustos e confiáveis, visando à mitigação dos impactos socioeconômicos adversos. Além disso, pretende fornecer dados científicos atualizados que possam ser utilizados por futuras pesquisas e políticas públicas, considerando as possíveis mudanças em curso nos padrões de precipitação.

## **1.2 Objetivo geral**

Analisar as tendências temporais de intervalo entre eventos de chuva (IET) e do número anual de eventos de precipitação ( $\lambda$ ) no estado do Paraná, por meio da aplicação de métodos estatísticos sobre séries históricas de dados pluviométricos.

### **1.3 Objetivos específicos**

- Coletar e organizar dados de precipitação de estações meteorológicas do Paraná, abrangendo um período mínimo de 50 anos.
- Aplicar métodos estatísticos (teste t e teste F) para identificar mudanças nos padrões de precipitação.
- Avaliar diferenças significativas entre períodos históricos e recentes em relação ao IET e  $\lambda$ .
- Discutir causas das possíveis mudanças nos padrões de precipitação.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Chuvas extremas e seus impactos hidrológicos

A gestão das águas pluviais tem se tornado cada vez mais importante nos últimos anos, especialmente com a crescente concentração de pessoas nas regiões urbanas. Após a implementação da política nacional de recursos hídricos (PNRH) em 1997, esse monitoramento do uso da água ficou ainda mais criterioso (Farias; Gomes, 2023). Para um controle satisfatório dos recursos hídricos é imprescindível entender o comportamento da chuva na área de análise. Para isso é fundamental o estudo sobre os eventos pluviométricos a fim de se obter planejamentos e dimensionamentos eficientes, evitando desastres hidrológicos que causam enormes prejuízos econômicos e sociais ao local afetado (Back; Cadorin, 2020).

Para contextualizar, chuvas extremas podem ser definidas como aquelas que ultrapassam os valores médios verificados na região, de variadas magnitudes e com maior raridade na frequência dos eventos. Esses eventos são fatores cruciais nos impactos que as questões fluviais podem causar na sociedade (Sousa; Lucena, 2023).

A ocorrência de chuvas máximas é influenciada por fatores naturais, como fenômenos climáticos que alteram a temperatura, umidade e pressão atmosférica, quanto por fatores antropogênicos, como desmatamento e uso descontrolado do solo. Esses agentes causadores podem atuar em conjunto ou isolados, alterando o comportamento da chuva em termos de espaço, tempo e intensidade (Moreira; Naghettini; Eleutério, 2016). Diante disso, se verifica que é essencial compreender como esses fatores influenciam as características da precipitação ao longo do tempo.

Entre os fatores naturais que podem afetar o comportamento fluvial, um dos mais estudados é o fenômeno El Niño - Oscilação Sul (ENOS), que se refere ao aquecimento e resfriamento das águas superficiais do Oceano Pacífico, conhecidos como El Niño e El Niña, respectivamente (Marcuzzo; Romero, 2013). Segundo esses autores, o ENOS é um dos principais responsáveis pelas alterações na distribuição temporal das chuvas no Brasil, apresentando tendências de mudança no regime de precipitação, dependendo da região.

Quanto aos fatores antropogênicos, diversas atividades humanas, como o desmatamento e a impermeabilização do solo, associadas a fenômenos naturais, exercem influência significativa sobre o clima global. O aumento das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera terrestre é um dos principais responsáveis pelo

aquecimento global, o qual, por sua vez, altera diretamente o regime de precipitação (Schmoeller; Limberger, 2023). Contudo, os efeitos negativos que os parâmetros antropogênicos têm sobre as mudanças no comportamento das chuvas ainda não são completamente compreendidos, o que torna esse tema um campo de estudo em constante debate na área acadêmica.

Embora o conhecimento sobre as precipitações seja fundamental, esse estudo torna-se ainda mais urgente quando a sociedade enfrenta desastres hidrológicos, como inundações, erosões do solo e deslizamentos de terra que causam enormes prejuízos econômicos, sociais e ambientais. Esses desastres têm se tornado mais frequentes devido ao crescimento urbano desordenado, especialmente pela alta taxa de impermeabilização do solo e pela falta de infraestrutura de drenagem adequada. Todos esses pontos resultam em um escoamento superficial mais intenso e um não direcionamento adequado da água, provocando os danos mencionados acima (Duarte; Santos; Castelhadro, 2021). Conforme apontam os mesmos autores, os efeitos da chuva extrema são ainda mais acentuados nas regiões onde classes sociais menos favorecidas residem, onde geralmente ocupam áreas de risco e de infraestrutura inadequada, evidenciando, além dos problemas já citados, um grave problema socioambiental.

Em vista disso, o conhecimento prévio do comportamento das chuvas é imprescindível para garantir um eficiente manejo das águas pluviais. Para isso, métodos de monitoramento e estimativa de chuvas são essenciais. Quanto ao monitoramento, ele busca encontrar padrões e mudanças na ocorrência de precipitações ao longo do tempo. Um dos métodos utilizados para isso é a análise de índices fornecidos a partir dos dados de precipitação, por meio de testes paramétricos e não paramétricos. O uso desses modelos possibilita verificar tendências nas séries temporais, ou seja, se está ocorrendo aumento ou redução na ocorrência de precipitações no decorrer dos anos (Rodrigues *et al.*, 2023).

Já para estimativa de chuvas, as metodologias usadas são semelhantes às de monitoramento, mas com objetivo de estudar a série de dados a partir de modelos estatísticos. O objetivo da estimativa é encontrar uma relação entre a intensidade, duração e frequência no local estudado, porém a maior dificuldade para se chegar a isso é a restrição de dados disponíveis para análise (Borges; Thebaldi, 2016). Uma forma de se fazer essa observação é adequar a série de dados em uma distribuição teórica de probabilidade, podendo ser usado para isso modelos estatísticos como o

de Gumbel, que é o mais usado, além de Log Normal, Fréchet máximos, entre outros (Mousinho *et al.*, 2024).

Diante do exposto, fica claro que um estudo eficiente do comportamento das chuvas é de extrema importância para se evitar desastres que causam grandes prejuízos para a sociedade. Para exemplificar a gravidade da falta de organização para enfrentar chuvas extremas, pode-se citar a enchente no Rio Grande do Sul que ocorreu em maio de 2024, uma das maiores tragédias por questões hidrológicas ocorridas no Brasil. Essa catástrofe hidrológica afetou mais de 2 milhões de pessoas e causou danos econômicos e humanos significativos (Rizzoto; Costa; Lobato, 2024). A catástrofe foi provocada por uma combinação de fatores, como alterações climatológicas no oceano Atlântico, o fenômeno El Niño, entre outros. Os fatores citados causaram um aumento na duração e na intensidade, além de uma diminuição do intervalo entre as chuvas na região, resultando no mês mais chuvoso no estado desde 1910 (Marengo *et al.*, 2024). Portanto, fica evidente que o conhecimento sobre os eventos pluviométricos é essencial para conseguir minimizar seus efeitos negativos na população, e que buscar suas causas é fundamental para esse prognóstico.

## **2.2 Identificação de tendência em séries de chuvas**

Compreender a variabilidade climatológica é fundamental para um eficiente planejamento e gestão de recursos hídricos, principalmente pelo fato de vários estudos no mundo indicar mudanças no comportamento dos índices hidrológicos (Sheshukov; Siebenmorgen; Mankin, 2011). Pode-se observar isso na pesquisa feita por Song *et al.* (2019), que focou na investigação do regime pluviométrico de Pequim, capital da China, com auxílio dos testes de Mann Kendall, Sen's Slope, e Pettitt e constataram declínio nas chuvas médias anuais, além de variações nas mensais e sazonais. Já no Brasil o artigo de Lira *et al.* (2020) estudou o comportamento da chuva na cidade de Belém (PA) a partir dos mesmos testes e detectaram um aumento na média pluviométrica anual e mensal. Diante disso, é visto que a análise de tendência das precipitações se torna essencial, pois o padrão está em constante mudança. Para se examinar esse comportamento são utilizados métodos estatísticos capazes de identificar padrões nos dados de chuvas, como os três testes citados acima. Esses testes são considerados não paramétricos, ou seja, não exigem suposições rígidas sobre a distribuição dos dados. (Rodrigues *et al.*, 2023).

O teste de Mann Kendall é um dos métodos estatísticos mais utilizados na análise de tendências em séries de precipitações. Ele permite identificar se há presença de uma tendência crescente ou decrescente na série hidrológica (Coelho, 2014). Esse teste tem como premissa verificar se há tendências monotônicas nas séries analisadas, ou seja, se está ocorrendo mudanças consistentes no comportamento dos dados ao longo do tempo. Uma de suas vantagens é a robustez frente a valores anômalos presente na série de dados, o que garante resultados confiáveis mesmo se os dados apresentarem desvios de normalidade (Moreira; Naghettini; Eleutério, 2016; Bezerra *et al.*, 2023).

Devido à sua ampla aceitação, muitos estudos têm recorrido ao teste de Mann-Kendall obtendo resultados satisfatórios. Isso foi evidenciado por Bačević *et al.* (2024) que examinaram o regime pluviométrico na Sérvia central com o teste, observando uma elevação na quantidade de chuva anual média em 17 cidades e diminuição em outras 7 cidades. Já em região brasileira, Junqueira *et al.* (2020) estudaram o padrão de chuva em Juazeiro (BA), verificando um decréscimo no volume médio precipitado na região. Além de analisar precipitações, o teste permite outras aplicações em séries de dados, como na interpretação do padrão da temperatura. Um exemplo disso é a aplicação feito por Anjum *et al.* (2017) em estação localizadas em áreas urbanas do Paquistão, que investigaram o padrão da temperatura média e máxima anual, mostrando uma tendência de aumento em 27 de 30 estações.

Outra ferramenta frequentemente empregada para análise de tendência é o teste de Sen's Slope, muitas vezes utilizado como complemento do teste de Mann Kendall para se obter uma abordagem mais completa. Enquanto o teste de Mann-Kendall fornece a existência ou não de uma tendência, esse método quantifica a sua intensidade, ou seja, a taxa de variação dos parâmetros ao longo do tempo. Essa técnica estatística é de boa aplicabilidade, pois além de ser resistente a dados faltantes e outliers, ela não exige premissa sobre a distribuição dos dados (Tam *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2023).

Entre os estudos que aplicaram o Sen's Slope, destaca-se o feito por Alcântara *et al.* (2019), que avaliou os dados pluviométricos da cidade de Toritama (PE), identificando uma taxa de 1,65 mm/ano de decréscimo na quantidade de chuva anual. No mesmo sentido, Pessoa *et al.* (2023) estudaram o comportamento das precipitações em Recife (PE), e constataram tendências nas precipitações sazonais,

tendo taxas de acréscimo no outono e decréscimo nos demais períodos. Faquseh e Grossi (2024) pesquisaram a série histórica de precipitação e temperatura em Lombardia, norte da Itália, verificando uma taxa de crescimento por ano de 5,42mm no total anual precipitado, e de 0,0436C° na temperatura anual média.

Os testes mencionados fornecem informações valiosas sobre as possíveis tendências no padrão das chuvas, ainda assim muitos autores utilizam em conjunto o teste de Pettitt para encontrar em que momento ocorreu a mudança no comportamento da série histórica (Rodrigues *et al.*, 2023).

Esse teste também é não paramétrico e tem como objetivo detectar pontos de variações abruptas no comportamento de uma série de dados, possibilitando correlacionar o momento da alteração com sua causa. Quanto ao seu uso, o teste é sensível a quebras nos dados, sendo um ponto positivo para se localizar o instante que ocorre a mudança. No entanto, essa mesma sensibilidade é uma desvantagem quando a série apresenta valores anormais (outliers) (Timur, 2022; Agha; Bagçaci; Sarlak, 2017). Sanches *et al.* (2024) ainda trazem que pela característica distinta de encontrar a ruptura na série de dados, o teste de Pettitt pode ser utilizado em conjunto com o teste de Mann-Kendall, quando este aponta tendências expressivas na série hidrológica.

Exemplificando, Fernandes *et al.* (2022) usaram ambos os testes para analisar a precipitação na região semiárida pernambucana, concluindo o padrão observado nas precipitações médias mensais é homogêneo. Já Casavecchia *et al.* (2016) aplicaram-no para analisar tendências nas séries de chuvas na região amazônica do Mato Grosso (Brasil), identificando acréscimo de 24% na média anual de chuvas a partir do ano 2001. Bezerra *et al.* (2023), ao aplicarem o teste de Pettitt em Natal (RN - Brasil), também observaram um ponto de mudança em 2001 no padrão da precipitação média mensal, porém sem tendências observadas pelo teste de Mann-Kendall. Os autores trazem que isso pode acontecer por causa de fenômenos naturais de curto prazo, como El Niño, não significando mudanças permanentes nos padrões, ressaltando a necessidade de estudos adicionais para correlacionar a causa com o efeito.

### **2.3 Estudos de análise de tendência em séries de chuvas**

Como dito anteriormente, o estudo da tendência das séries de precipitações é imprescindível para conhecer como a chuva se comporta ao longo do tempo, e com

isso obter um melhor planejamento para lidar com ela. A fim de contextualizar o assunto, será abordado nesse tópico algumas pesquisas sobre mudanças nos padrões de chuvas máximas em diversas regiões, fazendo uma revisão de estudos feitos no mundo, no Brasil e especificamente no Paraná.

No continente africano, pode se enfatizar o estudo feito por Harrison, Funk e Peterson (2019) que analisaram o comportamento dos dados de precipitação na África Subsaariana em busca de detectar padrões na região. Os autores observaram que mesmo com uma diminuição na quantidade de chuvas anuais, há um aumento no número de precipitação extremas na região, ou seja, as chuvas são menos frequentes, mas com maior intensidade. O trabalho de Masingi e Maposa (2021), realizado na África do Sul, confirmou em parte a observação supracitada, verificando tendência de aumento na ocorrência de eventos extremos em algumas regiões, e estabilização em outras.

Já na Oceania, a pesquisa de Osburn, Hope e Dowdy (2021) observou uma mudança no padrão das precipitações intensas em Victoria, Austrália, detectando um aumento na intensidade e na frequência desses eventos, principalmente na estação quente. Contribuindo ao estudo acima, pode se citar o artigo de Liu *et al.* (2020) que de forma mais abrangente analisou as chuvas máximas na região das monções Ásia-Australiana, mostrando uma tendência positiva na intensidade das chuvas extremas na Austrália. Além disso, os mesmos autores também investigaram a interferência das atividades humanas nesses eventos, chegando na conclusão que as mesmas têm significativa influência no aumento da intensidade dos eventos com período de retorno de 2, 10 e 50 anos.

Quanto à Ásia, Gu *et al.* (2022) investigaram as chuvas máximas na China, verificando um aumento na frequência e magnitude desses eventos em maior parte do país, sendo ainda mais significativos nas áreas costeiras, tendo grande influência dos fenômenos La Niña e El niño. Os autores apontam que a não estacionariedade deve ser incorporada na modelagem estatística das precipitações na região, a fim de se obter um resultado mais realista, incorporando a mudança que está ocorrendo no clima. Solidificando os resultados trazidos acima, Xu, Chen e Wang (2022) constataram que a maioria dos índices extremos de precipitação em território chinês tem apresentado crescimento na ocorrência e na intensidade. Além disso, os mesmos complementaram que a influência humana é uma das principais causas desse crescimento nos eventos intensos.

Na Europa, destacam-se alguns estudos, como a investigação feita na região mediterrânea da França por Blanchet e Creutin (2022), onde observaram que está acontecendo uma tendência de aumento nos índices extremos de chuva. Os índices estudados foram o de precipitação máxima diária, que apresentou aumento em 80% dos pluviômetros, a chuva máxima anual, que aumentou 18%, e ainda chuvas com período de retorno de 20 anos, que agora acontecem a cada 8 anos. Já na Itália, a pesquisa de Ubaldi e Lussana (2018) feita na região da Lombardia apontou que há um aumento na intensidade de chuvas anuais de longa duração, porém um decréscimo nas de curta duração. Os dois estudos concordaram entre si na confirmação da hipótese de não estacionariedade da série de precipitação, devendo usar modelagens que levam em conta essa hipótese para se obter resultados mais realistas.

Na América do Norte, mais especificamente no Estados Unidos, o estudo feito por Shao *et al.* (2023) confirmou a não estacionariedade nas séries de chuvas na região. A pesquisa mostrou que precipitações que antes eram estimadas para período de retorno de 2, 5, 10, 50 e 100 anos agora acontecem com mais frequência, confirmando que os eventos pluviométricos estão se tornando mais frequentes e mais intensos. No mesmo sentido, Dollan *et al.* (2022) fizeram projeções de como se comportará a precipitação em solo americano até 2100, resultando que as chuvas máximas diárias devem aumentar em todas estações estudadas, confirmando o que foi dito no artigo anterior.

Focando no Brasil, Junior *et al.* (2024) examinaram a série de chuvas em Acará, no Pará, e constataram que, apesar de não ocorrer tendências na média anual de chuvas, há uma frequência crescente de eventos intensos em curtos períodos. Outrossim, Carvalho e Wanderley (2022) confirmaram essa tendência não estacionária em terras brasileiras a partir de uma análise feita nas séries de chuva na região sul do estado do Rio de Janeiro, identificando aumento da frequência e intensidade das chuvas extremas.

Ainda no Brasil, mas com foco no Paraná, Terassi *et al.* (2024) analisaram as chuvas extremas diárias no leste do estado, chegando em resultados que apresentaram tendências positivas e negativas nos dados históricos a depender da região. Esses diferentes resultados em cada local indicaram que além do padrão das precipitações estar mudando, sua distribuição não ocorre de forma uniforme, evidenciando uma heterogeneidade espacial entre as bacias. Outro exemplo no

estado é o de Szapak, Baldo e Zandonadi (2023) que analisaram as séries de chuvas em Campo Mourão e Maringá, e apresentaram que tem indícios de não estacionariedade nos eventos extremos na área analisada. Os autores trazem que as precipitações com índices maiores que 50mm em um dia estão acontecendo com muito mais frequência.

Resumindo os principais pontos dos exemplos citados, conclui-se que na maioria dos estudos feitos pelo mundo os pesquisadores detectam tendências de aumento nos padrões de chuvas máximas, impulsionado por fenômenos climáticos e antropogênicos. Pelo fato desses estudos indicar tais resultados, os autores indicam que deve se levar em conta a hipótese da não estacionariedade para a modelagem das precipitações, a fim de buscar resultados confiáveis. Com esse comportamento não estacionário dos dados, os artigos indicaram que os modelos mais usados são o *Generalized Extreme Value* (GEV) e o *Peaks Over Threshold* (POT), que incorporam mais informações sobre os dados, trazendo resultados mais realistas. Para finalizar, grande parte dos estudos mencionados sugerem uma revisão de políticas de drenagem urbana, dimensionamento de infraestrutura e monitoramento climático contínuo, para acompanhar as mudanças nos padrões.

## **2.4 Análise de frequência de chuvas sob a hipótese de não-estacionariedade**

Como mencionado anteriormente, quando o comportamento de eventos de precipitação não é conhecido, tragédias como enchentes, deslizamentos de terra, entre outros, não são mitigadas. Por isso, é evidente que o conhecimento da frequência das chuvas ajuda no planejamento e na gestão da água, viabilizando projetos hidráulicos adequados e eficientes planos de combate a desastres (Gonzaga *et al.*, 2024). Dito isso, para se estimar como se comportam as precipitações no tempo, o ideal é obter, por meio de métodos estatísticos, a equação intensidade-duração-frequência (IDF), que expressa o comportamento dos eventos de chuva no tempo (Mousinho *et al.*, 2024).

Porém, para se modelar a equação IDF, em muitos casos é assumida como premissa a estacionariedade da série de dados, o que nem sempre é válido, levando, assim, a resultados equivocados e afetando os projetos que utilizarão esses números (Coelho; Junior, 2013). Como vimos nos exemplos já citados, a não estacionariedade é observada em várias regiões do mundo, evidenciando que as modelagens devem levar essa variação dos parâmetros no tempo em consideração. Para se incorporar

essa característica na análise dos dados, estudos como os de Moreira, Naghettini e Eleutério (2015), Aguirre, Nogueira e Beijo (2020) e Pansera e Gomes (2021) indicam as distribuições GEV (Generalized Extreme Value), que tem integrada a Gumbel não estacionária, como uma boa alternativa.

O modelo geral da distribuição GEV não estacionária é  $GEV(\mu(t), \sigma(t), \xi(t))$ , sendo que as variáveis de posição ( $\mu$ ), escala ( $\sigma$ ) e forma ( $\xi$ ) variam no tempo, por isso apresentam resultados satisfatórios na modelagem de séries de chuvas. O fato de os parâmetros da GEV variarem no tempo permite incorporar à sua formulação a mudança no comportamento da chuva, integrando covariáveis que afetam o regime pluviométrico, ou seja, as mudanças climáticas. Porém, o fator de forma ( $\xi$ ), por ser mais difícil de estimar e exigir períodos maiores de observação, é considerado, em alguns casos, constante no tempo ou igual a zero, sendo, nesse último caso, chamado de distribuição Gumbel não estacionária. Para se estimar os parâmetros citados, utilizam-se métodos de inferência estatística, como o de máxima verossimilhança, inferência bayesiana e de momentos L. Ainda, a determinação das variáveis deve buscar o modelo mais simples e representativo, a fim de facilitar a compreensão dos resultados. Para essa escolha, podem ser utilizados o teste de razão de verossimilhança (LRT) e o critério de informação de Akaike (AIC). Portanto, todos esses artifícios são usados a fim de tornar a modelagem, seja pela GEV ou pela Gumbel, o mais próximo possível da realidade, incluindo as mudanças climáticas no estudo e tornando, assim, os dados obtidos confiáveis (Moreira; Naghettini; Eleutério, 2016; Isensee; Pinheiro; Detzel, 2021; Aguirre; Nogueira; Beijo, 2020; Aranda, 2021).

### 3 METODOLOGIA

Para elaboração deste tópico foi utilizada a metodologia proposta por Jiang *et al.* (2024). O trabalho de referência propõe avaliar a mudança no comportamento do regime pluviométrico, analisando o tempo entre eventos de chuva (*Inter Event Time* - IET) e a quantidade anual de eventos de precipitação ( $\lambda$ ). Essa estrutura metodológica serviu de base para a adaptação e descrição dos procedimentos apresentados a seguir.

#### 3.1 Parâmetros, dados e métodos

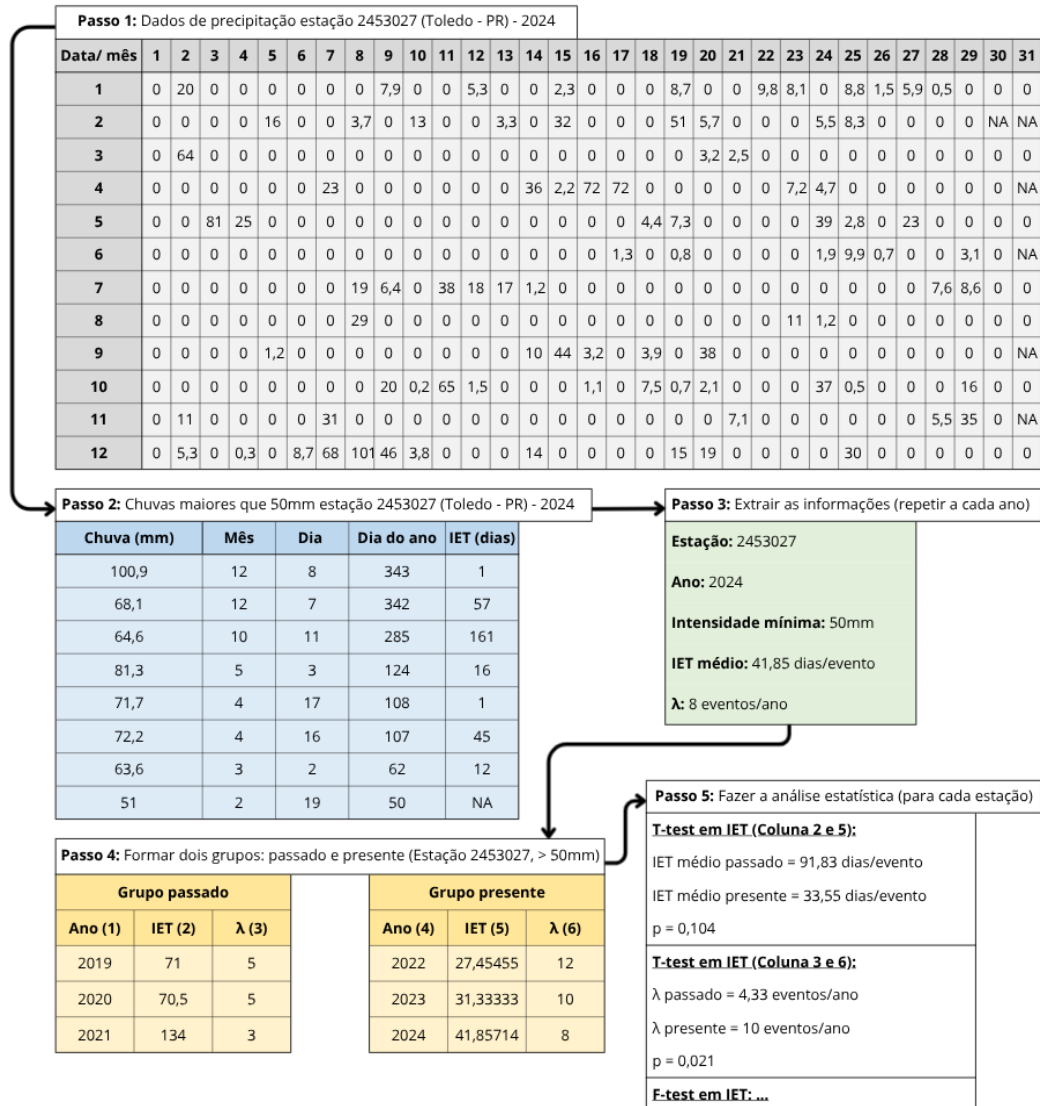
Para compreender as mudanças no padrão das chuvas ao longo do tempo, é necessário realizar uma análise multidimensional, que considere não apenas a magnitude e a frequência, mas também a dimensão temporal dos eventos pluviométricos. Neste estudo, foram utilizados dois parâmetros principais: o tempo entre eventos de chuva (IET) e o número anual de chuvas ( $\lambda$ ), adotando a chuva diária como unidade de análise.

O IET representa o número de dias entre dois eventos de chuva sucessivos acima de um limiar mínimo pré-estabelecido, expressando o espaçamento temporal entre ocorrências (em dias/evento). Já o  $\lambda$  corresponde ao número total de dias com chuva diária acima de determinado limite ao longo de um ano. É importante destacar que o IET não representa o período de seca entre chuvas, mas sim o intervalo entre eventos com magnitude superior ao limiar adotado, podendo haver precipitações menores entre eles.

A Figura 1 apresenta o fluxograma metodológico utilizado na pesquisa, ilustrando o procedimento de análise dos dados pluviométricos. Para fins de exemplificação, é apresentado um conjunto de dados da estação de Toledo – Paraná (ID: 2453027), abrangendo o período de 2019 a 2024.

O Passo 1 consiste em extrair do banco HidroWeb da ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) o conjunto de dados pluviométricos de interesse, contendo a precipitação diária e suas respectivas datas (dia, mês e ano). Foram selecionadas apenas as estações com no mínimo 50 anos de registros, até 5% de falhas e sem mais de quatro meses consecutivos de ausência de dados.

**Figura 1: Fluxograma metodológico da pesquisa**



Fonte: Adaptado de Jiang et al. (2024, p.448)

No Passo 2, são selecionados os valores de precipitação acima de um limiar definido (por exemplo, 25 mm, 50 mm e 75 mm), que serviram como base para o cálculo dos parâmetros. Em seguida, no Passo 3 foi realizado o cálculo do IET e do λ para cada ano da série histórica. No exemplo apresentado no Quadro 1, para o limiar de 50 mm, o ano de 2024 apresentou oito eventos de chuva e um IET médio de 41,85 dias/evento.

Os resultados anuais obtidos são resumidos no Passo 4, em que os dados são divididos em dois períodos distintos: passado e presente. Essa divisão é feita de modo que cada grupo contenha o mesmo número de anos, podendo o tamanho dos intervalos variar conforme o histórico de cada estação. Essa diferença não compromete a análise, pois o objetivo é comparar os resultados individualmente para

cada pluviômetro, reconhecendo a variabilidade espacial da precipitação. A finalidade principal dessa separação é verificar se há mudanças de longo prazo nos padrões de chuva.

Por fim, no Passo 5, foi feita a comparação estatística entre os períodos passado e presente. Para isso, utilizou-se o teste t, aplicado às médias de IET e  $\lambda$ , e o teste F, empregado para avaliar a igualdade das variâncias. Esses testes permitem verificar se as diferenças observadas entre os dois períodos são estatisticamente significativas, evitando conclusões equivocadas.

No exemplo apresentado, o período presente apresentou redução do IET médio de 91,83 para 33,55 dias/evento, resultado considerado significativo pelo teste t. Já o  $\lambda$  aumentou de 4,33 para 10 eventos anuais, com p-valor de 0,021, indicando um aumento significativo na frequência de chuvas intensas.

Os procedimentos descritos no fluxograma do Quadro 1 foram aplicados a todas as estações pluviométricas utilizadas neste estudo, variando-se os limiares de precipitação definidos. Dessa forma, foi possível avaliar o comportamento do IET e do  $\lambda$  em diferentes volumes de chuva diária e identificar tendências associadas a possíveis mudanças climáticas na região.

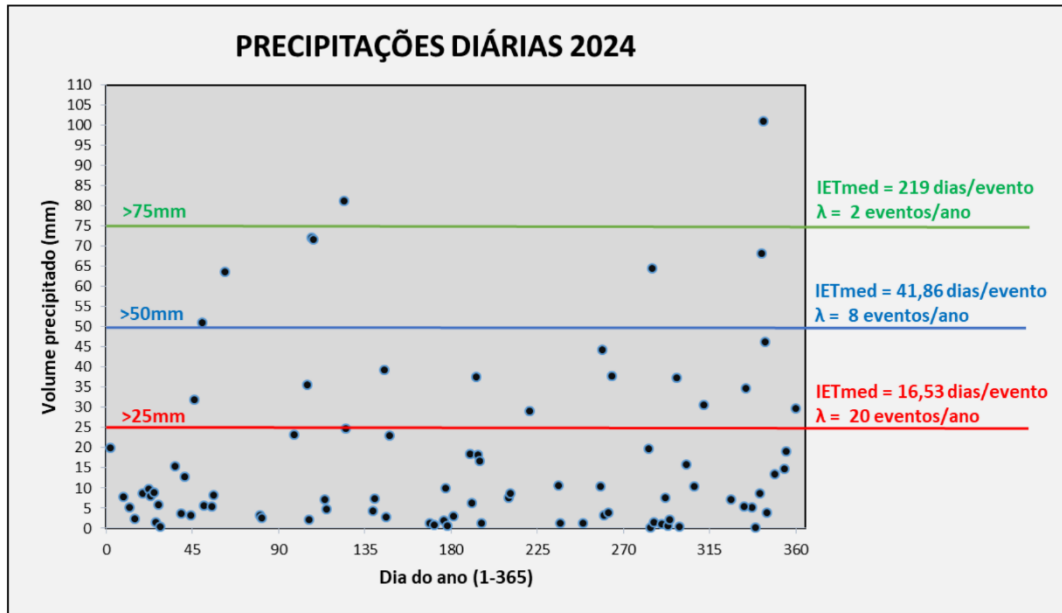
### **3.2 Escolha do limiar**

O estudo analisou a quantidade de chuvas diárias, não avaliando diferentes durações de chuvas, por não haver essa discriminação no banco de dados usado. Outrossim, apenas pluviômetros que tiveram mais de 50 anos de dados foram levados em consideração, porém a quantidade de anos de dados pode variar de estação para estação.

O limiar é a volume mínimo da precipitação diária, usado para filtrar os valores de chuvas de maior significância e interesse para pesquisa. No exemplo do quadro 1 é escolhido um limiar de 50mm.

A escolha do limiar deve buscar um nível que gere pontos de dados suficientes, mas não insignificantes para a comparação entre os períodos. A Figura 2 representa todas chuvas diárias que ocorreram no ano de 2024 na mesma estação utilizada como exemplo no fluxograma:

Figura 2: Distribuição das chuvas diárias da estação exemplo com diferentes limiares.



Fonte: Adaptado de Jiang et al. (2024, p.449)

Como pode se observar na Figura 2, para demonstrar as diferenças na escolha do limiar foi utilizado 3 limites, de 25mm, 50mm e 75mm, abaixo do limiar de 25mm existem muitos dados, o que pode ser não adequado para o estudo por trazer muitas chuvas insignificantes, e acima de 75mm tem poucos dados, porém com o suficiente para se fazer comparações. Baseando-se nisso, foi escolhido para a avaliação dos dados de chuva diária no Paraná os limiares indicados no Figura 2.

### 3.3 Métodos estatísticos

No passo 5 foi aplicado os testes estatísticos nos conjuntos de dados. Dois métodos estatísticos foram empregados nesta pesquisa, cada um com o objetivo de contribuir para uma análise mais robusta e abrangente dos dados. Para verificar se há diferenças significativas entre as médias de IET e  $\lambda$  nos grupos "passado" e "presente", foi utilizado o teste t, uma ferramenta estatística amplamente reconhecida e aplicada em estudos relacionados à precipitação. Já para comparar a variância do passado e do presente dos dados, que é a dispersão dos dados em volta da média, foi usado o teste F.

### 3.4 Análise dos resultados

O nível de significância a se adotar é um assunto muito discutido nas pesquisas que envolvem o estudo do comportamento da precipitação. O artigo de

Jiang *et al.* (2024) traz que os valores podem variar de 0,01 até 0,2 a depender do autor, com alguns sugerindo que valores maiores diminuem a incerteza, porém outros indicam como excessivo.

Em consonância com a pesquisa original, o presente estudo adotou o mesmo nível de significância de  $p \leq 0,1$ . O valor foi adotado com o objetivo de verificar sinais sutis que ocorrem de forma lenta, ou seja, a análise se torna mais sensível a detectar mudanças. Outro ponto é que a escolha depende do contexto da pesquisa, e como a pesquisa é exploratória, que busca identificar padrões ainda não compreendidos, o nível de significância pode ser menos rigoroso.

Com a aplicação dos testes se avaliou onde estão acontecendo as mudanças, se está ocorrendo concentração em alguma região, qual a quantidade de estações que estão com valores significativos, qual limiar apresenta mais mudanças significativas. Além disso foi feita uma análise espacial das estações com mudanças significativas nos testes, a fim de verificar em qual região do estado está ocorrendo mais ou menos mudanças, assim avaliando possíveis interferências locais no regime pluviométrico do estado.

Ainda, após se conhecer quais estações apresentam mudanças significativas, se comparou as médias do passado e do presente para essas estações, observando se as estações estão apresentando um aumento ou diminuição na média do IET e  $\lambda$ . Para interpretação dos resultados, utilizou-se as diferenças entre as médias do presente subtraído pelas médias do passado, para o IET, faz-se a seguinte avaliação:

- $IET_{\text{presente}} - IET_{\text{passado}} < 0$ : O tempo entre eventos de chuva está diminuindo, ou seja, as chuvas estão mais frequentes.
- $IET_{\text{presente}} - IET_{\text{passado}} > 0$ : O tempo entre eventos de chuva está aumentando, ou seja, as chuvas estão acontecendo mais espaçadas.

Já para o  $\lambda$ , a interpretação é diferente, sendo:

- $\lambda_{\text{presente}} - \lambda_{\text{passado}} < 0$ : O número de eventos climáticos diários no ano acima do limiar adotado está diminuindo, ocorrendo menos chuvas comparado ao passado.
- $\lambda_{\text{presente}} - \lambda_{\text{passado}} > 0$ : O número de eventos climáticos diários no ano acima do limiar adotado está aumentando, ocorrendo mais chuvas comparado ao passado.

Após isso, para se obter uma análise ainda mais robusta, se optou por fazer boxplot comparativos entre o IET e  $\lambda$  utilizando o software R (R CORE TEAM, 2025).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Resultados teste t e teste F

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir da aplicação dos testes estatísticos (teste t e teste F) às séries pluviométricas do estado do Paraná, sendo apresentados na Tabela 1 e 2. Como dito na metodologia, a análise considerou 66 estações, escolhidas após filtragem com requisitos mínimos já apresentados na metodologia, distribuídas ao longo do estado, abrangendo os limiares de 25, 50 e 75 mm. Foram avaliadas duas métricas principais: o intervalo entre eventos de chuva médio anual (IET médio) e o número anual de eventos de chuva ( $\lambda$ ), para cada limiar escolhido.

A Tabela 1 a seguir mostra os resultados dos testes t e F para o IET:

**Tabela 1: Resultados da aplicação dos testes t e F para o IET**

(continua)

ESTAÇÕES	IET					
	25mm		50mm		75mm	
	Teste t (p-valor)	Teste f (p-valor)	Teste t (p-valor)	Teste f (p-valor)	Teste t (p-valor)	Teste f (p-valor)
Adrianópolis	0,020	0,000	0,882	0,111	0,355	0,102
Amperé	0,357	0,076	0,262	0,005	0,592	0,376
Andirá	0,010	0,000	0,761	0,098	0,616	0,854
Antonina	0,000	0,005	0,199	0,182	0,262	0,315
Bituruna 13	0,849	0,002	0,494	0,012	0,642	0,877
Bituruna 15	0,124	0,906	0,462	0,000	0,695	0,585
Bom Sucesso	0,002	0,001	0,075	0,398	0,434	0,226
Cambará	0,140	0,060	0,136	0,000	0,629	0,516
Campina Da Lagoa	0,002	0,002	0,296	0,940	0,276	0,168
Campo Largo	0,002	0,000	0,013	0,109	0,466	0,164
Cândido de Abreu	0,418	0,347	0,811	0,506	0,771	0,003
Castro	0,156	0,029	0,021	0,012	-	-
Cerro Azul	0,000	0,001	0,570	0,685	-	-
Céu Azul	0,051	0,025	0,934	0,112	0,859	0,518
Cruzeiro do Iguaçu	0,385	0,011	0,751	0,082	0,682	0,510
Curitiba	0,001	0,000	0,167	0,568	0,253	1,000
Doutor Ulysses	0,001	0,000	0,393	0,859	0,409	0,906
Entre rios do Oeste	0,927	0,427	0,651	0,294	0,767	0,374
Figueira	0,968	0,707	0,543	0,790	0,677	0,507
Foz do Iguaçu (01)	0,423	0,678	0,783	0,046	0,626	0,968
Foz do Iguaçu (02)	0,096	0,019	0,234	0,057	0,603	0,726
General Carneiro	0,035	0,640	0,302	0,009	0,366	0,019
Grandes Rios	0,999	0,511	0,972	0,189	0,876	0,697
Guaira	0,207	0,007	0,619	0,937	0,086	0,016
Guaraniaçu	0,098	0,014	0,007	0,000	0,744	0,957

Tabela 1: Resultados da aplicação dos testes t e F para o IET  
(conclusão)

ESTAÇÕES	IET					
	25mm		50mm		75mm	
	Teste t (p-valor)	Teste f (p-valor)	Teste t (p-valor)	Teste f (p-valor)	Teste t (p-valor)	Teste f (p-valor)
Guarapuava (00)	0,004	0,020	0,314	0,002	0,493	0,197
Guarapuava (04)	0,050	0,420	0,724	0,492	0,487	0,277
Iguatu	0,884	0,284	0,823	0,210	0,119	0,419
Inácio Martins	0,997	0,000	0,842	0,129	0,160	0,204
Ivaiporã	0,741	0,913	0,186	0,000	0,407	0,390
Jataizinho	0,002	0,000	0,131	0,215	0,279	0,774
Lapa	0,000	0,150	0,312	0,004	-	-
Mallet	0,025	0,183	0,815	0,810	0,251	0,370
Mamborê	0,008	0,077	0,345	0,064	0,139	0,009
Manoel Ribas	0,005	0,000	0,097	0,000	0,448	0,742
Marechal Cand Rondon	0,400	0,702	0,118	0,223	0,176	0,252
Mariluz	0,090	0,191	0,724	0,007	0,359	1,000
Mariópolis	0,330	0,158	0,969	0,648	0,192	0,062
Morretes (00)	0,000	0,057	0,315	0,250	0,492	0,099
Morretes (02)	0,234	0,439	0,112	0,986	0,564	0,013
Ortigueira	0,056	0,827	0,399	0,157	0,279	0,238
Palmas	0,481	0,122	0,495	0,013	0,991	0,426
Piraquara	0,989	0,517	0,010	0,060	0,256	0,737
Pitanga	0,033	0,028	0,451	0,000	0,605	0,503
Ponta Grossa	0,033	0,000	0,724	0,113	0,685	0,366
Porto Amazonas	0,007	0,005	0,139	0,600	0,686	0,684
Porto Vitória	0,724	0,512	0,016	0,000	0,424	0,963
Prudentópolis	0,002	0,012	0,046	0,084	0,946	0,474
Quedas do Iguaçu	0,065	0,604	0,453	0,000	0,255	0,076
Quintandinha	0,000	0,000	0,776	0,420	0,065	0,382
Rio Negro	0,000	0,008	0,835	0,076	-	-
Roncador	0,174	0,294	0,940	0,257	0,548	0,453
Rondon	0,409	0,361	0,662	0,475	0,149	0,202
Santa Isabel	0,133	0,138	0,362	0,090	0,702	0,017
São Jorge do Ivaí	0,088	0,377	0,111	0,934	0,135	0,000
São Mateus do Sul	0,000	0,139	0,074	0,011	0,607	0,318
São Miguel Do Iguaçu	0,943	0,503	0,492	0,453	0,432	0,332
Teixeira Soares	0,307	0,077	0,056	0,053	0,353	0,113
Telemâco Borba	0,011	0,711	0,128	0,005	-	-
Tibagi (02)	0,037	0,000	0,074	0,000	0,291	0,150
Tibagi (09)	0,012	0,000	0,768	0,852	0,594	0,371
Tomazina	0,053	0,000	0,278	0,029	-	-
Ubiratã	0,891	0,900	0,824	0,065	0,091	0,028
União da Vitória (00)	0,000	0,512	0,114	0,016	0,431	0,302
União da vitória (05)	0,222	0,344	0,898	0,697	0,664	0,590
União da vitória (16)	0,865	0,177	0,277	0,065	0,111	0,122
<b>% de estações p&lt;0.1</b>	<b>56%</b>	<b>52%</b>	<b>17%</b>	<b>50%</b>	<b>5%</b>	<b>17%</b>

Fonte: Autor (2025)

Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos mesmos testes mencionados acima, mas para o número anul de chuvas ( $\lambda$ ):

Tabela 2: Resultados da aplicação dos testes t e F para o  $\lambda$ 

(continua)

ESTAÇÕES	$\lambda$					
	25mm		50mm		75mm	
	Teste t (p-valor)	Teste F (p-valor)	Teste t (p-valor)	Teste F (p-valor)	Teste t (p-valor)	Teste F (p-valor)
Adrianópolis	0,000	0,085	0,000	0,629	0,096	0,845
Amperé	0,379	0,572	0,921	0,314	0,403	0,629
Andirá	0,009	0,427	0,294	0,617	0,094	0,182
Antonina	0,000	0,928	0,001	0,889	0,000	0,170
Bituruna 13	0,852	0,698	0,128	0,503	0,178	0,744
Bituruna 15	0,049	0,322	0,000	0,022	0,010	0,247
Bom Sucesso	0,001	0,707	0,048	0,686	0,237	0,364
Cambará	0,269	0,105	0,628	0,508	0,984	0,294
Campina Da Lagoa	0,001	0,158	0,162	0,477	0,058	0,284
Campo Largo	0,001	0,761	0,303	0,724	0,892	0,777
Cândido de Abreu	0,397	0,992	0,878	0,560	0,977	0,029
Castro	0,925	0,029	0,524	0,545	0,026	0,000
Cerro Azul	0,000	0,991	0,315	0,668	0,530	0,653
Céu Azul	0,069	0,291	0,130	0,222	0,267	0,127
Cruzeiro do Iguaçu	0,468	0,360	0,993	0,994	0,636	0,645
Curitiba	0,000	0,415	0,004	0,073	0,021	0,181
Doutor Ulysses	0,000	0,018	0,000	0,906	0,012	0,484
Entre rios do Oeste	0,856	0,354	0,957	0,380	0,134	0,055
Figueira	0,420	0,821	0,676	0,927	0,691	0,241
Foz do Iguaçu (01)	0,164	0,592	0,756	0,573	0,833	0,315
Foz do Iguaçu (02)	0,168	0,270	0,626	0,939	0,312	0,147
General Carneiro	0,047	0,056	0,027	0,094	0,019	0,155
Grandes Rios	0,852	0,991	0,646	0,724	0,254	0,145
Guaíra	0,165	0,059	0,256	0,042	0,788	0,115
Guaraniaçu	0,133	0,336	0,002	0,483	0,071	0,639
Guarapuava (00)	0,002	0,810	0,246	0,387	0,330	0,743
Guarapuava (04)	0,027	0,849	0,004	0,227	0,035	0,001
Iguatu	0,548	0,470	0,844	0,963	0,549	0,295
Inácio Martins	0,042	0,276	0,685	0,633	0,609	0,315
Ivaiporã	0,504	0,804	0,222	0,505	0,721	0,450
Jataizinho	0,007	0,254	0,056	0,588	0,203	0,968
Lapa	0,000	0,080	0,010	0,491	0,014	0,000
Mallet	0,017	0,888	0,020	0,626	0,045	0,314
Mamborê	0,001	0,118	0,028	0,000	0,006	0,141
Manoel Ribas	0,000	0,369	0,040	0,682	0,154	0,865
Marechal Cand Rondon	0,418	0,636	0,044	0,298	0,013	0,578
Mariluz	0,021	0,329	0,042	0,351	0,320	0,763
Mariópolis	0,404	0,396	0,140	0,869	0,279	0,089
Morretes (00)	0,000	0,231	0,032	0,054	0,001	0,175
Morretes (02)	0,123	0,964	0,162	0,303	0,440	0,403
Ortigueira	0,050	0,074	0,131	0,165	0,599	0,667
Palmas	0,373	0,558	0,581	0,234	0,880	0,440
Piraquara	0,939	0,108	0,017	0,002	0,401	0,000
Pitanga	0,032	0,910	0,016	0,331	0,001	0,007
Ponta Grossa	0,014	0,361	0,010	0,585	0,156	0,465
Porto Amazonas	0,009	0,609	0,005	0,841	0,272	0,535
Porto Vitória	0,954	0,082	0,370	0,609	0,583	0,640
Prudentópolis	0,001	0,721	0,000	0,166	0,027	0,001
Quedas do Iguaçu	0,020	0,657	0,262	0,567	0,371	0,001
Quintandinha	0,000	0,684	0,225	0,307	0,805	0,098
Rio Negro	0,000	0,480	0,001	0,052	0,010	0,001

**Tabela 2: Resultados da aplicação dos testes t e F para o  $\lambda$**   
(conclusão)

ESTAÇÕES	$\lambda$					
	25mm		50mm		75mm	
	Teste t (p-valor)	Teste F (p-valor)	Teste t (p-valor)	Teste F (p-valor)	Teste t (p-valor)	Teste F (p-valor)
Roncador	0,042	0,281	0,734	0,588	0,862	0,353
Rondon	0,171	0,787	0,106	0,979	0,106	0,386
Santa Isabel	0,014	0,051	0,024	0,003	0,029	0,013
São Jorge do Ivaí	0,016	0,102	0,009	0,268	0,011	0,934
São Mateus do Sul	0,000	0,340	0,001	0,405	0,004	0,089
São Miguel Do Iguaçu	0,852	0,118	0,352	0,942	0,774	0,675
Teixeira Soares	0,549	0,387	0,721	0,180	0,387	0,129
Telemâco Borba	0,007	0,385	0,394	0,262	0,858	0,382
Tibagi (02)	0,019	0,115	0,013	0,098	0,038	0,015
Tibagi (09)	0,043	0,543	0,107	0,907	0,894	0,762
Tomazina	0,415	0,002	0,354	0,056	0,683	0,872
Ubiratã	0,951	0,859	0,650	0,640	0,780	0,456
União da Vitória (00)	0,000	0,005	0,000	0,036	0,001	0,016
União da vitória (05)	0,216	0,279	0,923	0,095	0,133	0,286
União da vitória (16)	0,533	0,656	0,140	0,802	0,125	0,607
<b>% de estações <math>p &lt; 0.1</math></b>	<b>58%</b>	<b>17%</b>	<b>42%</b>	<b>20%</b>	<b>36%</b>	<b>24%</b>

Fonte: Autor (2025)

Cabe destacar que os valores marcados com a cor vermelha são aqueles em que o resultado dos testes detectou uma diferença significativa entre períodos. Além disso, outro ponto é que os testes aplicados não permitem determinar a direção da mudança (se houve aumento ou diminuição das métricas), mas apenas se existe diferença estatisticamente significativa entre os dois intervalos de tempo (passado e presente).

Analisando de forma abrangente as Tabelas 1 e 2, os resultados indicam que há um número considerável de estações indicando mudanças de comportamento entre o período passado e o presente, especialmente no limiar de 25 mm. Tanto para o IET quanto para  $\lambda$ , esse limiar concentrou a maior proporção de séries históricas com resultados estatisticamente distintos entre o passado e o presente. Isso sugere que nos eventos pluviométricos maiores que 25mm, os sinais de não-estacionariedade se apresentam de forma mais intensa.

Para o IET médio, aproximadamente 56% e 52% das estações apresentaram diferenças significativas em 25 mm no teste t e teste F, respectivamente, como se observa nas Tabelas 1. Enquanto nos demais, esses percentuais caíram quanto maior o limiar, para cerca de 18% e 52% para 50mm, e 5% e 17% para 75 mm. Isso indica que o espaçamento entre eventos de chuva de baixa magnitude sofreu mais alterações do que o espaçamento entre eventos mais intensos.

Por meio da análise da tabela 2, no caso do número anual de eventos ( $\lambda$ ), os resultados concordaram com a análise do IET. Para o limiar de 25 mm, aproximadamente 58% das estações apresentando diferenças nas médias entre períodos, porém apenas 18% com mudança na variabilidade dos eventos. Em 50 mm, esse valor foi para 41% e 20%, e em 75 mm para 38% e 24%, para o teste t e teste F respectivamente. Esses resultados revelam que o regime de chuvas de baixa intensidade mostra maior propensão a alterações, atestando os resultados do IET. Outro ponto a se ressaltar é que a variabilidade dos eventos de baixa magnitude apresenta porcentagem baixa de estações com diferenças significativas quando comparado a diferença entre as médias. Ou seja, para o número anual de eventos as mudanças se apresentam de forma mais intensa na diferença entre as médias dos dois períodos, enquanto a variabilidade é menos afetada.

#### **4.2 Comparações entre as métricas (IET e $\lambda$ )**

Ao se comparar as duas métricas avaliadas, percebe-se por meio das Tabelas 1 e 2 que o número anual de eventos ( $\lambda$ ) é ligeiramente mais sensível na detecção de mudanças na média do que o IET médio. Porém, quanto a variância dos eventos, o IET médio apresenta mais estações com indicativos de mudanças no presente. Isso demonstra que o número de chuvas anuais está sofrendo mais alterações na sua média ao longo do tempo, aumentando ou diminuindo o número de eventos. Já a média de dias entre os eventos de chuva é menos impactada, no entanto, a variância está sendo mais afetada, em outras palavras, pode ocorrer anos com chuvas muito frequentes seguidos de anos com grandes períodos de estiagem.

Para o teste t do limiar de 25 mm nas Tabelas 1 e 2, a proporção de estações significativas foi semelhante entre IET (56%) e  $\lambda$  (58%), evidenciando consistência nos resultados. Entretanto, nos limiares de 50 e 75 mm, o número de mudanças detectadas em  $\lambda$  foi superior ao de IET, sugerindo que, para eventos mais intensos, a alteração na média ocorre mais na quantidade anual de chuvas do que no espaçamento médio entre elas. Porém nota-se que para o IET, quanto maior o limiar adotado, fica mais difícil de se analisar seu resultado, pois os eventos são cada vez mais raros.

Quanto ao teste F, para os limiares de 25 mm e 50 mm, o IET apresentou resultados significativos superiores ao  $\lambda$ , entretanto no limiar de 75 mm, esse padrão inverte. Para 25 e 50 mm, no teste F, o IET apresentou mais de 50% das estações

com mudanças entre o presente e o passado, demonstrando tendência a uma maior variabilidade quanto a frequência de chuvas de magnitudes baixas e moderadas.

Estudos recentes, como o de Szapak, Baldo e Zandonadi (2023), têm apontado que chuvas moderadas, como as maiores de 50 mm, têm acontecido com muito mais frequência, concordando com as mudanças confirmadas pelos testes estatísticos apresentados na Tabela 1 e 2.

### 4.3 Análise dos padrões espaciais

Para se fazer a análise espacial das estações, optou-se por dividir o estado em 4 regiões, conforme o mapa da Figura 3 a seguir:

**Figura 3: Mapa das divisões adotadas para o Paraná em 4 regiões**



**Fonte: Autor (2025)**

Como se observa na Figura 3, para a realização deste estudo, optou-se por adotar a divisão regional do estado do Paraná conforme as macrorregiões definidas pela Secretaria de Estado da Saúde (SESA). Essa escolha foi feita com o objetivo de simplificar a análise espacial e permitir uma interpretação mais geral e representativa dos resultados. A utilização de apenas quatro grandes regiões possibilita uma visão ampla das variações climáticas, evitando a fragmentação excessiva que ocorreria com divisões mais detalhadas. Além disso, essa divisão apresenta coerência geográfica e climática, agrupando áreas com características semelhantes de relevo, vegetação e regime de chuvas, o que favorece a comparação entre regiões distintas do estado. Dessa forma, a classificação da SESA foi considerada adequada para uma análise macroespacial, atendendo ao propósito deste trabalho.

A divisão ficou da seguinte forma:

- A região Leste compreende Adrianópolis, Antonina, Bituruna, Campo Largo, Castro, Cerro Azul, Curitiba, Doutor Ulysses, Guarapuava,

Inácio Martins, Lapa, Mallet, Morretes, Ortigueira, Palmas, Piraquara, Pitanga, Ponta Grossa, Porto Amazonas, Porto Vitória, Prudentópolis, Quintandinha, Rio Negro, São Mateus do Sul, Teixeira Soares, Telemâco Borba, Tibagi, Tomazina, União da Vitória.

- A região Oeste inclui Amperé, Céu Azul, Cruzeiro do Iguaçu, Entre Rios do Oeste, Foz do Iguaçu, General Carneiro, Guaíra, Guaraniaçu, Iguatu, Marechal Cândido Rondon, Mariópolis, Quedas do Iguaçu e São Miguel do Iguaçu.
- A região Norte engloba Andirá, Bom Sucesso, Cambará, Cândido de Abreu, Figueira, Grandes Rios, Ivaiporã, Jataizinho e Manoel Ribas.
- A região Noroeste abrange Campina da Lagoa, Mamborê, Mariluz, Roncador, Rondon, Santa Isabel, São Jorge do Ivaí e Ubiratã.

Na Tabela 3 é apresentado qual porcentagem de estações com diferenças significativas para cada região:

**Tabela 3: Porcentagem de estações com diferenças significativas por região**

Região	25mm		50mm		75mm	
	Teste t (p-valor)	Teste F (p-valor)	Teste t (p-valor)	Teste F (p-valor)	Teste t (p-valor)	Teste F (p-valor)
<i>IET</i>						
<b>Leste</b>	69%	60%	23%	51%	3%	6%
<b>Oeste</b>	36%	43%	7%	50%	7%	29%
<b>Norte</b>	44%	56%	22%	44%	0%	11%
<b>Noroeste</b>	50%	25%	0%	50%	13%	50%
<i>λ</i>						
<b>Leste</b>	71%	23%	51%	26%	46%	31%
<b>Oeste</b>	21%	14%	21%	14%	21%	21%
<b>Norte</b>	44%	0%	33%	0%	11%	11%
<b>Noroeste</b>	75%	13%	50%	25%	50%	13%

Fonte: Autor (2025)

Conforme a Tabela 3, a região Leste apresentou a maior concentração de estações com diferenças significativas, tanto no IET quanto em  $\lambda$ . Para o limiar de 25 mm, por exemplo, cerca de 70% das estações do Leste mostraram resultados estatisticamente distintos entre o passado e o presente no teste t, seja para o IET seja para o  $\lambda$ . Esse resultado reforça a sensibilidade climática dessa região, influenciada pela orografia da Serra do Mar e pela proximidade com o oceano Atlântico, fatores que podem influenciar no comportamento do regime de chuvas.

Na mesma análise, a região Noroeste também se destacou, principalmente quanto ao número anual de eventos ( $\lambda$ ), com 75%, 50% e 50% das estações

apresentando diferenças no teste t para o limiar de 25, 50 e 75mm, respectivamente. Já para o IET médio a região apresentou quantidade expressiva de resultados com diferença significativa entre as médias para 25mm e na diferença da variância para os limiares de 50mm e 75mm, com 50% das estações com diferenças para ambos. Essa área, caracterizada por clima mais quente e menor influência direta do mar, pode estar sofrendo mudanças ligadas ao aumento da instabilidade atmosférica e da convecção local.

Ainda na Tabela 3, na região Oeste, os resultados foram mais moderados, sendo mais expressivos a variância do IET, com 50% das estações indicando diferenças no limiar de 50 mm. Seguindo o mesmo padrão, a região Norte apresentou resultados intermediários, com as porcentagens de estações significativas para mudança sendo mais expressiva para o limiar de 25mm, onde 56% das estações apresentou alterações no teste F para o IET.

Esse padrão espacial indica que as mudanças no regime de chuvas não ocorrem de forma uniforme em todo o Estado, mas tendem a se manifestar com maior intensidade em áreas influenciadas por fatores orográficos e marítimos (como o Leste) ou sujeitas a maior instabilidade atmosférica (como o Noroeste).

A análise espacial revelou que as mudanças não se distribuem de forma homogênea no território paranaense, concordando com a análise feita por Terassi *et al.* (2024), que evidenciou uma heterogeneidade espacial entre as bacias do Paraná.

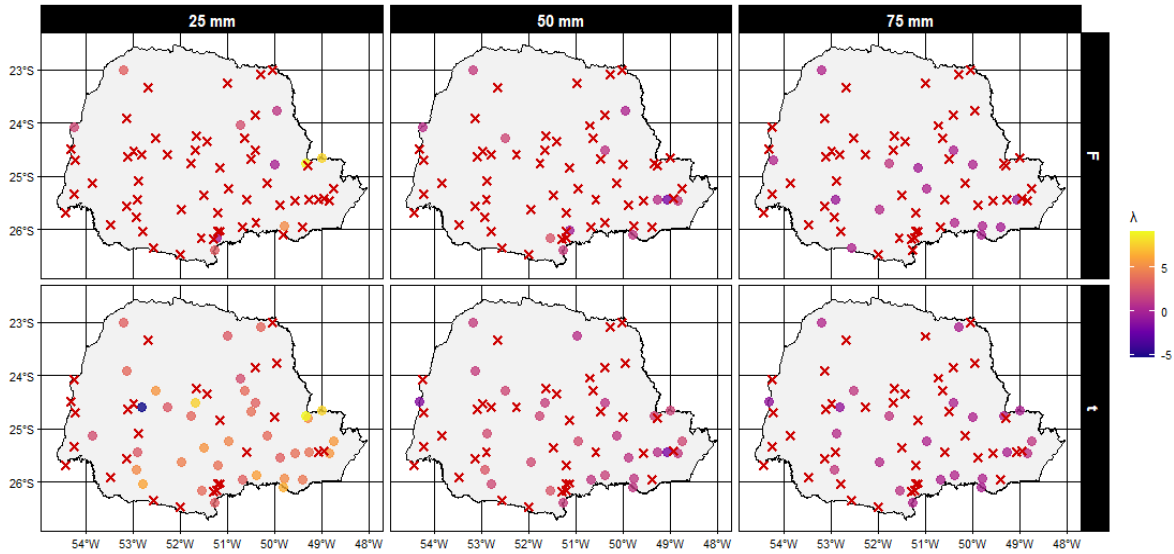
#### **4.4 Discussão interpretativa sobre os resultados do teste t e teste F**

Os resultados obtidos evidenciam que o regime pluviométrico do Paraná apresenta sinais de alteração ao longo do tempo, ainda que os testes aplicados não permitam determinar a direção dessas mudanças. O fato de um número expressivo de estações, especialmente em 25 mm e 50 mm, ter apresentado diferenças significativas sugere que os padrões de frequência e espaçamento das chuvas moderadas não se mantiveram estáveis ao longo das décadas. A presença de mudanças em chuvas de 75 mm, embora em menor proporção, também é relevante, pois indica que até mesmo eventos mais intensos estão sujeitos a modificações.

Nas Figuras 4 e 5 são apresentados mapas que indicam as estações que apresentaram diferenças significativas entre o passado e o presente, onde os círculos coloridos são estações com  $p < 0,1$  e as marcadas com X são as que não apresentaram diferenças no respectivo teste.

**Figura 4: Estações com diferenças significativas para o número anual de chuvas ( $\lambda$ )**

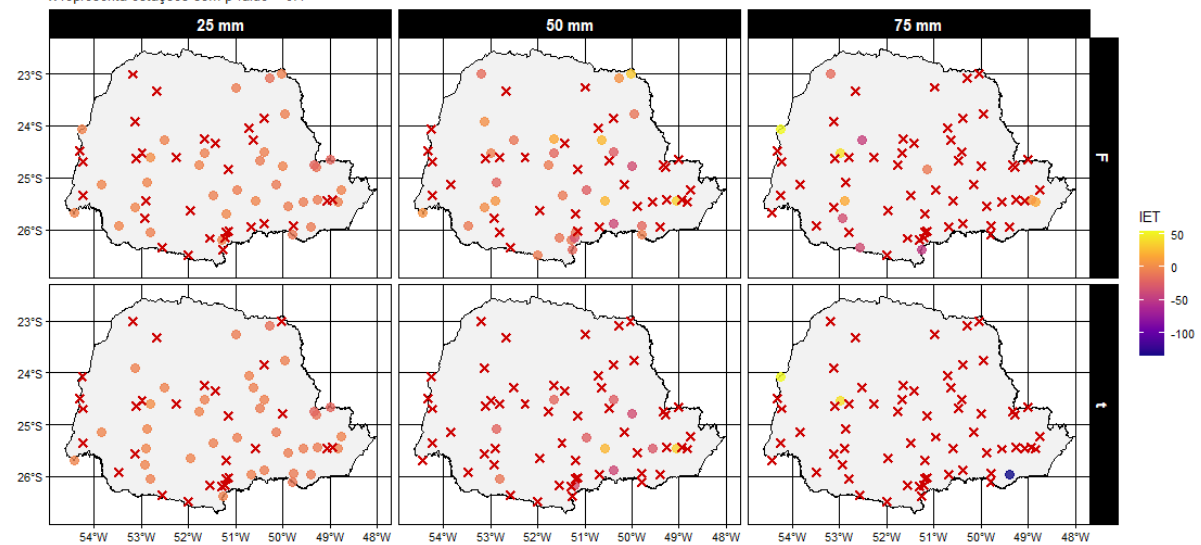
x representa estações com p-value > 0.1



Fonte: Autor (2025)

**Figura 5: Estações com diferenças significativas para o intervalo entre eventos de chuva (IET)**

x representa estações com p-value > 0.1



Fonte: Autor (2025)

Por meio dos mapas das Figuras 4 e 5, é possível analisar a distribuição das estações estudadas no estado e onde estão mais concentradas aquelas com resultados significativos nos testes estatísticos. Observa-se que, quanto maior o limiar, menos estações com diferenças encontradas nos testes. Outro ponto é que das estações estudadas nesse trabalho, após filtradas com os requisitos mínimos adotados, se concentraram mais para leste, obtendo uma maior representatividade na região. Também como já mencionado anteriormente, na Figura 4 nota-se que, para o  $\lambda$ , o teste t apresentou mais estações significativas em relação ao teste F. Demais

observações já foram tratadas nos tópicos anteriores, sendo o mapa um artifício visual ideal para dar mais clareza às informações apresentadas.

A heterogeneidade espacial dos resultados sugere que os fatores regionais desempenham papel importante na modificação do regime pluviométrico. Enquanto a região Leste parece responder de forma mais evidente às alterações climáticas, outras áreas, como o Oeste e o Norte, apresentam estabilidade maior, com mudanças mais pontuais.

Outro aspecto a ser considerado é a influência de fenômenos climáticos de grande escala, como o El Niño e a La Niña, que afetam diretamente o regime de chuvas no Paraná. A alternância entre períodos mais úmidos e mais secos, característica desses fenômenos, pode ter contribuído para as diferenças detectadas entre os períodos analisados. Contudo, como o objetivo deste trabalho foi a comparação estatística direta entre as duas metades da série histórica, não é possível, com os testes aplicados, separar o efeito pontual desses fenômenos das tendências climáticas de longo prazo.

As mudanças identificadas têm implicações relevantes para diversos setores do Paraná. Na agricultura, a alteração no número de eventos anuais pode impactar diretamente o calendário agrícola, afetando o desenvolvimento de culturas sensíveis à irregularidade das chuvas, como a soja e o milho. Demais setores também podem ser afetados, uma vez que a maior variabilidade no regime de chuvas implica em desafios adicionais para a gestão de recursos hídricos e para o planejamento de obras.

Em áreas urbanas, a alteração no comportamento das chuvas moderadas pode aumentar o risco de alagamentos e enxurradas, enquanto em áreas rurais pode contribuir para processos erosivos e perda de produtividade agrícola. Essas implicações reforçam a necessidade de monitoramento contínuo e de estratégias de adaptação voltadas para lidar com um regime de chuvas em transformação.

#### **4.5 Análise das médias do IET e $\lambda$ para limiar de 25mm**

A fim de se realizar uma análise mais profunda dos resultados obtidos, optou-se por analisar qual a diferença entre as médias para as estações que apresentaram alterações significativas no teste t.

A Tabela 4 apresenta a diferença entre as médias do intervalo entre eventos de chuva (IET) e do número anual de eventos de precipitação ( $\lambda$ ) para o limiar de

25mm, comparando os períodos classificados como passado e presente. As células destacadas em vermelho correspondem às estações que apresentaram diferença estatisticamente significativa entre os períodos analisados para o teste t, considerando o nível de significância adotado no trabalho de 10% ( $p < 0,1$ ).

**Tabela 4: Diferença entre médias passado e presente IET e  $\lambda$  para limiar de 25mm**  
(continua)

Estação	25mm					
	IET		Diferença (dias/evento)	$\lambda$		Diferença (evento/ano)
	Passado	Presente		Passado	Presente	
Adrianópolis	42,74	24,32	-18,42	7,45	15,31	7,86
Amperé	13,43	12,59	-0,83	27,59	29,17	1,59
Andirá	34,61	21,40	-13,21	14,32	17,95	3,63
Antonina	14,06	11,46	-2,60	26,87	32,63	5,76
Bituruna 13	17,88	16,02	-1,86	22,22	23,16	0,94
Bituruna 15	15,94	14,05	-1,88	23,36	27,16	3,80
Bom Sucesso	15,89	12,21	-3,68	24,25	30,45	6,20
Cambará	25,33	21,98	-3,35	15,73	17,26	1,53
Campina Da Lagoa	13,34	16,93	3,59	27,72	22,48	-5,24
Campo Largo	23,53	17,47	-6,06	16,67	20,67	4,00
Cândido de Abreu	17,70	16,55	-1,16	21,55	22,76	1,21
Castro	22,57	20,17	-2,39	17,33	17,46	0,13
Cerro Azul	34,19	22,53	-11,66	11,45	16,76	5,30
Céu Azul	13,89	12,53	-1,36	26,28	28,72	2,45
Cruzeiro do Iguaçu	14,83	13,90	-0,93	25,53	26,74	1,21
Curitiba	29,02	22,41	-6,61	12,93	17,00	4,07
Doutor Ulysses	41,68	22,88	-18,79	7,66	16,84	9,18
Entre rios do Oeste	17,13	17,25	0,12	22,27	22,00	-0,27
Figueira	21,99	21,91	-0,08	16,97	18,00	1,03
Foz do Iguaçu (01)	17,92	16,76	-1,15	20,25	22,48	2,23
Foz do Iguaçu (02)	16,28	14,45	-1,83	23,20	25,51	2,31
General Carneiro	18,68	16,18	-2,49	19,85	23,06	3,20
Grandes Rios	18,95	18,95	0,00	20,50	20,79	0,29
Guaira	22,17	19,73	-2,44	17,00	19,12	2,12
Guaraniaçu	13,59	12,19	-1,41	27,57	29,97	2,40
Guarapuava (00)	19,16	14,52	-4,64	20,30	25,89	5,59
Guarapuava (04)	15,95	13,61	-2,34	22,89	27,59	4,70
Iguatu	14,41	14,30	-0,11	25,10	25,90	0,79
Inácio Martins	18,67	18,68	0,01	19,17	23,23	4,06
Ivaiporã	15,17	15,50	0,34	25,06	24,06	-1,00
Jataizinho	26,08	19,86	-6,22	15,23	18,26	3,03
Lapa	25,52	18,49	-7,03	14,55	19,71	5,16
Mallet	21,74	18,21	-3,53	17,76	21,11	3,35
Mamborê	15,90	13,03	-2,87	23,52	29,14	5,62
Manoel Ribas	17,37	13,11	-4,27	20,96	28,69	7,73
Marechal C. Rondon	16,91	17,94	1,03	21,79	20,65	-1,15
Mariluz	21,16	17,93	-3,23	17,89	21,61	3,71
Mariópolis	13,83	12,95	-0,88	27,27	28,70	1,43
Morretes (00)	18,43	14,62	-3,81	20,15	25,83	5,68
Morretes (02)	7,49	8,22	0,73	50,67	45,39	-5,27
Ortigueira	23,76	20,58	-3,18	16,07	18,55	2,48
Palmas	15,16	14,03	-1,13	25,75	27,68	1,93
Piraquara	23,10	23,08	-0,02	16,44	16,34	-0,09
Pitanga	15,71	13,25	-2,46	24,14	27,77	3,63
Ponta Grossa	26,63	18,75	-7,88	17,16	20,95	3,79

Tabela 4: Diferença entre médias passado e presente IET e  $\lambda$  para limiar de 25mm  
(conclusão)

Estação	25mm					
	IET		Diferença (dias/evento)	$\lambda$		Diferença (evento/ano)
	Passado	Presente		Passado	Presente	
Porto Amazonas	25,26	19,39	-5,88	15,97	19,30	3,33
Porto Vitória	17,46	17,01	-0,45	21,84	21,74	-0,10
Prudentópolis	22,71	17,33	-5,38	17,07	22,00	4,93
Quedas do Iguaçu	14,47	13,23	-1,24	25,19	28,16	2,97
Quintandinha	27,33	20,13	-7,20	14,39	18,71	4,32
Rio Negro	28,11	19,16	-8,95	13,22	19,83	6,61
Roncador	14,72	13,56	-1,16	25,03	28,00	2,97
Rondon	21,65	20,38	-1,27	17,12	18,77	1,65
Santa Isabel	25,08	21,94	-3,15	14,17	17,48	3,32
São Jorge do Ivaí	14,55	12,65	-1,90	25,21	30,33	5,13
São Mateus do Sul	23,87	17,98	-5,89	15,26	21,28	6,02
São Miguel Do Iguaçu	16,41	16,51	0,10	23,23	22,90	-0,33
Teixeira Soares	20,63	18,82	-1,81	18,86	19,75	0,89
Telemâco Borba	23,17	18,90	-4,27	16,40	20,20	3,80
Tibagi (02)	22,82	18,76	-4,06	17,29	20,67	3,37
Tibagi (09)	24,74	17,89	-6,85	15,82	19,83	4,01
Tomazina	26,04	21,31	-4,73	17,19	18,42	1,23
Ubiratã	14,18	14,06	-0,12	26,25	26,34	0,09
União da Vitória (00)	21,21	16,35	-4,86	17,32	23,59	6,27
União da vitória (05)	17,44	15,96	-1,48	21,71	23,71	2,01
União da vitória (16)	16,73	16,48	-0,24	22,50	23,53	1,03
<b>Médias gerais</b>	<b>20,43</b>	<b>17,05</b>	<b>-3,38</b>	<b>20,29</b>	<b>23,11</b>	<b>2,81</b>
<b>Médias p-valor&lt;0,1</b>	<b>21,93</b>	<b>16,74</b>	<b>-5,19</b>	<b>18,08</b>	<b>22,23</b>	<b>4,14</b>

Fonte: Autor (2025)

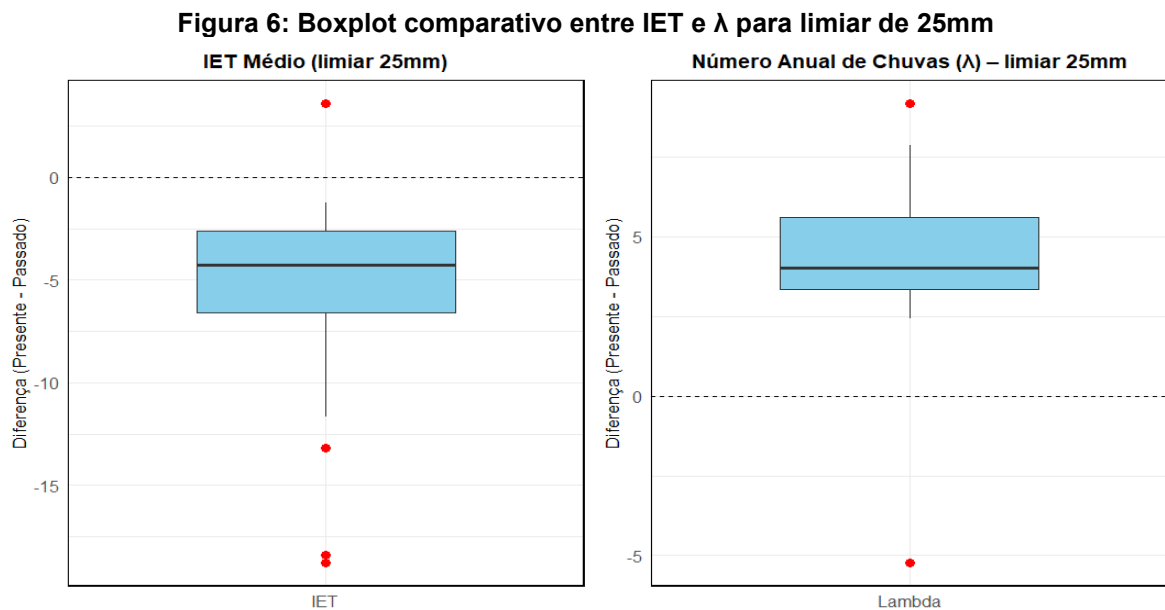
De modo geral, observa-se na Tabela 4 uma tendência de redução dos valores médios de IET ao longo do tempo, indicando que os eventos de chuva acima de 25mm se tornaram mais frequentes, com intervalos menores entre suas ocorrências. Essa tendência é evidente nas estações com diferença significativa no teste t, nas quais a média do IET passou de 21,93 dias/evento no período passado para 16,74 dias/evento no período presente, representando uma redução média de 5,19 dias/evento.

Ainda na mesma tabela, por outro lado, o número anual de eventos ( $\lambda$ ) apresentou comportamento contrário, com aumento médio significativo de 4,14 eventos por ano entre os períodos analisados. Nas estações significativas, o valor médio de  $\lambda$  passou de 18,08 no passado para 22,23 no presente, o que evidencia uma elevação na quantidade de chuvas maiores que 25mm. Esse resultado indica que os eventos estão se tornando menos espaçados, e em conjunto com uma maior recorrência de episódios de precipitação que ultrapassam o limiar de 25 mm.

Esses resultados evidenciam o que já foi trazido por Jiang *et al.* em seu artigo, que o IET tem uma relação inversa com o  $\lambda$ , ou seja, quanto maior o número de eventos diários de chuva no ano, menor o tempo de eventos entre chuvas naquele ano.

Em termos espaciais, as maiores reduções de IET foram verificadas nas estações de Doutor Ulysses (-18,79 dias/evento), Adrianópolis (-18,42 dias/evento), Andirá (-13,21 dias/evento) e Cerro Azul (-11,66 dias/evento). Já as estações que apresentaram os maiores aumentos no número de eventos  $\lambda$  são Doutor Ulysses (+9,18 eventos/ano), Manoel Ribas (+7,73 eventos/ano), Adrianópolis (+7,86 eventos/ano) e Rio Negro (+6,61 eventos/ano). Grande parte das estações com maiores diferenças são da região leste, como já citada anteriormente, é uma área que está apresentando mais sensibilidade a alterações climáticas.

Para se observar os resultados expressos neste capítulo foi elaborado um Boxplot, a fim de comparar os resultados das médias do IET e do  $\lambda$ , conforme a Figura 4 a seguir.



Fonte: Autor (2025)

Na Figura 6, para o limiar de 25 mm, observa-se um comportamento inverso entre as variáveis analisadas, como já citado. As estações com diferença estatisticamente significativa apresentaram redução dos valores de IET (intervalo entre eventos de chuva) e aumento do número anual de chuvas ( $\lambda$ ), conforme ilustrado no boxplot comparativo. A mediana negativa do IET indica que, no período presente, os intervalos entre eventos tornaram-se menores em relação ao passado, refletindo

uma maior frequência de ocorrência das chuvas intensas. Por outro lado, o aumento positivo e consistente do  $\lambda$  evidencia um acréscimo no número de eventos anuais com precipitação acima de 25 mm.

Ainda na mesma figura, observa-se que o  $\lambda$  apresenta uma distribuição levemente mais assimétrica dos dados em relação ao IET numa análise visual. Outro ponto a se destacar é que em ambas as métricas as séries de dados apresentam poucos *outliers*, ou seja, são poucos valores discrepantes.

Portanto, os resultados obtidos evidenciam uma alteração significativa no regime das chuvas entre os períodos analisados. O cenário atual é caracterizado por uma maior quantidade de eventos acima do limiar de 25 mm, acompanhada por redução nos intervalos médios entre suas ocorrências.

#### 4.6 Análise das médias do IET e $\lambda$ para limiar de 50mm

Seguindo a mesma metodologia adotada no tópico anterior, comparou-se os valores médios entre o passado e o presente para o limiar de 50mm, conforme a Tabela 5 a seguir.

**Tabela 5: Diferença entre médias passado e presente IET e  $\lambda$  para limiar de 50mm**  
(continua)

Estação	50mm					
	IET		Diferença (dias/evento)	$\lambda$		Diferença (eventos/ano)
	Passado	Presente		Passado	Presente	
Adrianópolis	91,05	87,69	-3,36	1,21	3,10	1,88
Amperé	45,41	37,57	-7,83	9,03	8,93	-0,10
Andirá	104,66	110,66	6,00	3,21	3,74	0,53
Antonina	49,92	43,31	-6,61	6,32	8,50	2,18
Bituruna 13	56,70	48,66	-8,04	4,94	6,22	1,28
Bituruna 15	60,15	50,08	-10,07	4,68	7,48	2,80
Bom Sucesso	47,81	38,02	-9,79	7,31	9,48	2,17
Cambará	76,94	109,74	32,81	3,73	3,50	-0,23
Campina Da Lagoa	50,76	57,05	6,29	6,93	5,97	-0,97
Campo Largo	84,53	57,22	-27,31	3,50	4,10	0,60
Cândido de Abreu	61,16	59,56	-1,59	5,15	5,06	-0,09
Castro	104,91	70,58	-34,34	3,03	3,36	0,33
Cerro Azul	108,05	120,78	12,73	2,36	2,79	0,42
Céu Azul	37,87	37,48	-0,39	9,14	10,69	1,55
Cruzeiro do Iguaçu	49,61	52,57	2,95	7,73	7,74	0,01
Curitiba	104,50	85,70	-18,79	2,42	3,31	0,90
Doutor Ulysses	87,43	104,64	17,22	1,34	3,18	1,84
Entre rios do Oeste	57,18	61,79	4,61	6,57	6,61	0,05
Figueira	81,12	92,48	11,36	4,00	3,76	-0,24
Foz do Iguaçu (01)	47,44	45,83	-1,61	7,47	7,25	-0,22
Foz do Iguaçu (02)	41,47	47,68	6,21	7,51	7,09	-0,43
General Carneiro	82,60	65,60	-17,00	4,03	5,66	1,63
Grandes Rios	58,93	58,51	-0,42	4,96	5,28	0,31
Guaira	58,89	62,78	3,89	4,53	5,44	0,91

Tabela 5: Diferença entre médias passado e presente IET e  $\lambda$  para limiar de 50mm  
(conclusão)

Estação	50mm					
	IET		Diferença (dias/evento)	$\lambda$		Diferença (eventos/ano)
	Passado	Presente		Passado	Presente	
Guaraniaçu	56,77	37,12	-19,65	7,40	9,70	2,30
Guarapuava (00)	55,93	47,82	-8,11	5,41	6,19	0,78
Guarapuava (04)	64,65	59,75	-4,90	4,81	7,04	2,22
Iguatu	56,29	58,16	1,87	6,76	6,62	-0,14
Inácio Martins	52,92	54,87	1,95	4,83	5,17	0,34
Ivaiporã	50,29	67,86	17,58	6,76	5,97	-0,79
Jataizinho	91,11	67,27	-23,84	3,23	4,16	0,94
Lapa	90,73	72,01	-18,73	2,70	4,00	1,30
Mallet	65,80	68,48	2,68	3,14	4,49	1,35
Mamborê	61,72	51,81	-9,92	6,28	8,34	2,07
Manoel Ribas	64,47	45,85	-18,62	5,79	7,45	1,66
Marechal C. Rondon	55,12	72,35	17,23	7,00	5,62	-1,38
Mariluz	64,56	68,67	4,11	4,82	6,43	1,61
Mariópolis	47,52	47,25	-0,26	6,87	8,27	1,40
Morretes (00)	71,64	59,54	-12,10	4,85	6,29	1,43
Morretes (02)	24,17	28,98	4,81	14,30	11,89	-2,40
Ortigueira	71,25	86,56	15,31	3,30	4,13	0,83
Palmas	52,50	45,59	-6,90	6,89	6,39	-0,50
Piraquara	66,87	103,30	36,43	4,31	2,63	-1,69
Pitanga	51,30	44,74	-6,56	5,24	7,27	2,03
Ponta Grossa	77,33	81,89	4,56	3,00	4,34	1,34
Porto Amazonas	93,59	72,82	-20,76	3,13	4,35	1,22
Porto Vitória	81,36	49,39	-31,97	4,74	5,36	0,62
Prudentópolis	82,57	59,60	-22,97	3,51	5,85	2,34
Quedas do Iguaçu	43,76	50,99	7,23	8,06	8,89	0,84
Quintandinha	98,44	93,39	-5,06	2,71	3,24	0,54
Rio Negro	83,67	80,46	-3,21	2,33	3,62	1,29
Roncador	48,60	49,03	0,44	7,17	6,97	-0,21
Rondon	67,11	62,98	-4,13	3,94	4,97	1,03
Santa Isabel	94,64	79,28	-15,36	3,60	5,20	1,60
São Jorge do Ivaí	49,21	38,32	-10,89	7,69	10,60	2,91
São Mateus do Sul	108,99	71,08	-37,90	2,87	4,71	1,84
São Miguel Do Iguaçu	50,60	55,72	5,12	6,07	6,84	0,77
Teixeira Soares	58,45	83,32	24,87	3,96	4,18	0,21
Telemâco Borba	67,68	93,54	25,86	3,40	3,88	0,48
Tibagi (02)	85,84	62,34	-23,50	3,34	4,52	1,18
Tibagi (09)	68,03	64,06	-3,97	2,59	3,75	1,16
Tomazina	77,99	67,07	-10,92	3,79	4,23	0,45
Ubiratã	60,97	57,90	-3,07	6,43	6,76	0,33
União da Vitória (00)	81,81	56,70	-25,12	3,42	6,36	2,94
União da vitória (05)	51,95	53,04	1,08	6,09	6,00	-0,09
União da vitória (16)	65,89	54,94	-10,95	4,78	5,81	1,03
<b>Média geral</b>	<b>67,62</b>	<b>64,12</b>	<b>-3,51</b>	<b>5,04</b>	<b>5,86</b>	<b>0,82</b>
<b>Média p-valor&lt;0,1</b>	<b>70,22</b>	<b>56,49</b>	<b>-13,73</b>	<b>4,28</b>	<b>5,85</b>	<b>1,57</b>

Fonte: Autor (2025)

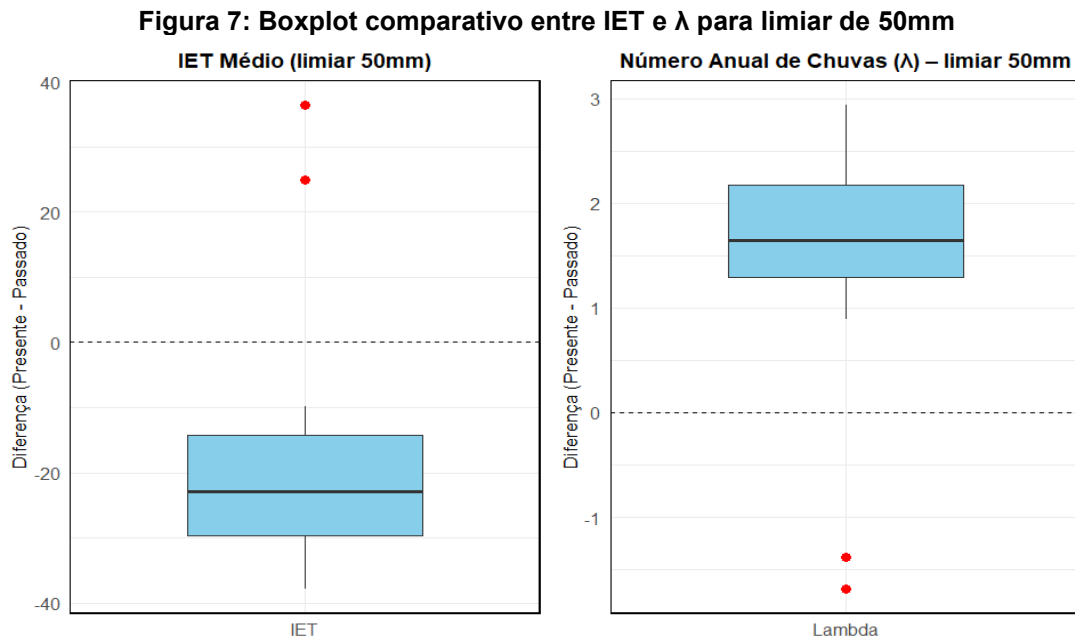
Conforme os resultados da Tabela 5, observa-se uma tendência de diminuição dos valores médios de IET ao longo do tempo, indicando maior frequência de eventos acima de 50 mm no período recente. Entre as estações com diferença significativa, a média do IET passou de 70,22 dias/evento no passado para 56,49

dias/evento no presente, representando uma redução média de  $-13,73$  dias/evento. Esse resultado reforça o indício de redução do intervalo entre eventos de magnitude média.

Em contrapartida, o número médio anual de eventos diários ( $\lambda$ ) aumentou de 4,28 para 5,85 eventos/ano, ou seja, um acréscimo de aproximadamente 1,57 evento/ano nas estações com variação significativa. Esse aumento indica uma maior quantidade de eventos diários de precipitação acima de 50 mm, reforçando o padrão de intensificação observado também para o limiar inferior (25 mm), além de confirmar o padrão inverso entre o IET e o  $\lambda$ .

Os resultados de reduções mais expressivos quanto ao IET foram verificados nas estações de Castro ( $-34,34$  dias/evento), Piraquara ( $-36,43$  dias/evento) e São Mateus do sul ( $-37,9$  dias/evento). Já sobre o número anual de eventos ( $\lambda$ ) as estações com os maiores aumentos foram Prudentópolis ( $+2,34$  eventos/ano), União da Vitória (00) ( $+2,94$  eventos/ano) e São Jorge do Ivaí ( $+2,91$  eventos/ano).

Seguindo o mesmo padrão adotado na análise do limiar de 25mm, foi elaborado o Boxplot comparativo entre IET e  $\lambda$  também para 50mm, conforme a Figura 5 a seguir.



Para o limiar de 50 mm, representativo de eventos de precipitação diária de magnitude média, observa-se uma redução dos valores de IET nas estações com diferença significativa, conforme ilustrado na Figura 7. A mediana negativa e a ampla dispersão dos valores indicam que, no período presente, os eventos de chuva

moderada passaram a ocorrer em intervalos temporais menores, ainda que de forma heterogênea entre as estações. Já o  $\lambda$  apresenta diferença positiva entre as médias presentes e passadas, indicando uma maior quantidade anual de chuva diária acima do limiar estudado.

Também se observa, em consonância com os resultados obtidos para o limiar de 25mm, o boxplot da Figura 7 também indica dados mais assimétricos para o  $\lambda$  em relação ao IET, além de apresentar poucos valores discrepantes.

Portanto, o limiar de 50 mm evidencia mudanças mais sutis, porém relevantes, na dinâmica das precipitações diárias médias no Paraná. As reduções observadas nos valores médios de IET e o aumento em  $\lambda$  nas estações significativas sugerem uma maior ocorrência de chuvas diárias de magnitude média, com resultados consistentes entre as séries de dados.

#### 4.7 Análise das médias do IET e $\lambda$ para limiar de 75mm

Seguindo a metodologia seguida para o limiar de 25mm e 50mm, a análise do limiar de 75 mm evidencia menos alterações nas estações com diferença significativa no teste t quando comparado aos demais limiares, principalmente no IET, conforme a Tabela 6 apresentada em sequência.

Tabela 6: Diferença entre médias passado e presente IET e  $\lambda$  para limiar de 75mm (continua)

Estação	75mm					
	IET		Diferença (dias/evento)	Lambda		Diferença (eventos/ano)
	Passado	Presente		Passado	Presente	
Adrianópolis	12,00	28,00	16,00	0,30	0,56	0,26
Amperé	78,85	88,51	9,67	2,82	2,45	-0,37
Andirá	116,90	138,60	21,70	0,66	1,00	0,34
Antonina	74,70	100,60	25,90	1,63	2,97	1,34
Bituruna 13	78,41	67,86	-10,55	1,16	1,63	0,47
Bituruna 15	59,77	67,35	7,58	1,08	2,28	1,20
Bom Sucesso	82,57	69,15	-13,42	2,44	3,12	0,68
Cambará	109,83	145,83	36,00	0,88	0,88	0,00
Campina Da Lagoa	88,00	122,52	34,52	2,17	1,48	-0,69
Campo Largo	134,00	96,67	-37,33	0,90	0,87	-0,03
Cândido de Abreu	81,86	73,93	-7,93	1,31	1,30	-0,01
Castro	220,25	43,38	-176,88	0,26	0,76	0,50
Cerro Azul	159,50	293,00	133,50	0,33	0,45	0,12
Céu Azul	77,25	74,81	-2,44	2,76	3,34	0,59
Cruzeiro do Iguaçu	94,10	103,27	9,16	2,20	2,00	-0,20
Curitiba	119,06	87,36	-31,71	0,46	0,79	0,33
Doutor Ulysses	136,00	197,57	61,57	0,34	0,76	0,42
Entre rios do Oeste	74,41	82,18	7,78	1,41	2,07	0,65
Figueira	94,92	75,70	-19,22	1,00	0,90	-0,10

Tabela 6: Diferença entre médias passado e presente IET e  $\lambda$  para limiar de 75mm  
(conclusão)

Estação	75mm					
	IET		Diferença (dias/evento)	Lambda		Diferença (eventos/ano)
	Passado	Presente		Passado	Presente	
Foz do Iguaçu (01)	81,48	91,03	9,55	2,34	2,25	-0,09
Foz do Iguaçu (02)	100,07	112,30	12,22	2,37	1,97	-0,40
General Carneiro	142,95	95,38	-47,58	0,85	1,51	0,66
Grandes Rios	63,95	68,00	4,05	1,29	1,68	0,39
Guaira	77,89	133,12	55,22	1,44	1,35	-0,09
Guaraniaçu	72,27	67,55	-4,72	1,97	2,77	0,80
Guarapuava (00)	105,75	82,69	-23,06	0,92	1,19	0,27
Guarapuava (04)	82,42	110,37	27,95	0,96	1,73	0,77
Iguatu	122,45	82,07	-40,39	2,07	1,83	-0,24
Inácio Martins	59,61	101,40	41,79	1,21	1,07	-0,15
Ivaiporã	103,18	128,89	25,72	1,42	1,55	0,12
Jataizinho	94,00	167,60	73,60	1,07	0,80	-0,27
Lapa	48,00	89,69	41,69	0,50	1,00	0,50
Mallet	192,17	124,15	-68,02	0,53	0,92	0,39
Mamborê	108,07	64,68	-43,39	1,59	2,96	1,37
Manoel Ribas	101,42	124,17	22,75	1,70	2,22	0,52
Marechal C. Rondon	86,73	120,48	33,75	2,62	1,76	-0,85
Mariluz	122,06	158,57	36,51	1,32	1,57	0,25
Mariópolis	117,85	82,16	-35,70	1,90	2,40	0,50
Morretes (00)	80,11	98,11	18,00	1,15	2,19	1,04
Morretes (02)	59,63	68,87	9,24	4,46	3,85	-0,61
Ortigueira	78,50	141,50	63,00	0,80	0,70	-0,10
Palmas	76,77	76,50	-0,27	1,74	1,68	-0,06
Piraquara	126,17	190,20	64,03	0,94	0,68	-0,26
Pitanga	74,95	86,45	11,50	1,07	2,43	1,36
Ponta Grossa	122,00	104,18	-17,82	0,78	1,16	0,38
Porto Amazonas	142,79	116,98	-25,81	0,74	0,98	0,23
Porto Vitória	56,26	77,84	21,58	1,21	1,38	0,17
Prudentópolis	98,75	101,55	2,80	0,81	1,34	0,53
Quedas do Iguaçu	68,20	86,64	18,44	3,36	2,92	-0,44
Quintandinha	205,67	71,23	-134,43	0,74	0,79	0,05
Rio Negro	-	68,00	-	0,30	0,65	0,35
Roncador	97,67	82,02	-15,65	2,00	2,07	0,07
Rondon	70,94	121,99	51,05	0,76	1,20	0,44
Santa Isabel	108,43	92,89	-15,53	0,87	1,53	0,67
São Jorge do Ivaí	109,72	75,98	-33,74	2,10	3,57	1,46
São Mateus do Sul	102,20	124,21	22,01	0,49	1,13	0,65
São Miguel Do Iguaçu	99,13	123,94	24,81	2,13	2,00	-0,13
Teixeira Soares	78,95	113,13	34,18	0,81	1,07	0,26
Telemâco Borba	157,17	91,75	-65,42	0,71	0,76	0,05
Tibagi (02)	183,20	130,29	-52,91	0,55	0,98	0,43
Tibagi (09)	90,94	65,88	-25,07	0,85	0,89	0,04
Tomazina	25,50	69,50	44,00	0,70	0,76	0,06
Ubiratã	60,90	104,59	43,69	1,86	1,97	0,11
União da Vitória (00)	131,17	98,19	-32,97	0,71	1,55	0,84
União da vitória (05)	79,98	94,25	14,27	1,03	1,54	0,51
União da vitória (16)	36,48	68,03	31,55	1,10	1,70	0,60
<b>Médias gerais</b>	<b>98,41</b>	<b>101,59</b>	<b>3,18</b>	<b>1,32</b>	<b>1,60</b>	<b>0,28</b>
<b>Médias p-valor&lt;0.1</b>	<b>86,11</b>	<b>77,24</b>	<b>-8,88</b>	<b>1,00</b>	<b>1,61</b>	<b>0,61</b>

Fonte: Autor (2025)

De modo geral, observa-se na Tabela 6 que, entre as estações significativas, apenas três apresentaram mudanças significativa no IET. A média do IET nas estações significativas passou de 86,11 dias/evento no passado para 77,24 dias/evento no presente, representando uma diminuição média de -8,88 dias/evento.

Já o número médio anual de eventos ( $\lambda$ ) apresentou aumento em diversas estações significativas, passando de 0,99 para 1,61 eventos/ano, ou seja, um acréscimo médio de aproximadamente 0,61 evento/ano. Esse aumento indica que os episódios de precipitações extremas se tornaram mais frequentes no estado.

As estações que apresentaram maiores diferenças significativas no número de eventos ( $\lambda$ ) incluem: São Jorge do Avaí (+1,46 eventos/ano), Mamborê (+1,37 eventos/ano), Pitanga (+1,36 eventos/ano) e Bituruna 15 (+1,19 eventos/ano), sendo 2 delas da região leste, 1 do Noroeste e uma do Norte, evidenciando que o aumento da frequência anual dos eventos intensos está acontecendo em várias regiões do estado.

Para o limiar de 75 mm, correspondente aos eventos de precipitação extrema, não foi elaborado o boxplot comparativo entre os períodos passado e presente, como foi feito para os demais limiares. Isso se deve ao fato de que apenas três estações apresentaram diferença estatisticamente significativa no IET para esse limiar, o que inviabiliza a representação gráfica de forma adequada e interpretável. Essa limitação está relacionada à natureza dos próprios dados de precipitação extrema: como eventos acima de 75 mm são relativamente raros, ocorrem em pequena quantidade ao longo do ano, o que reduz substancialmente o número de observações válidas para o cálculo do IET.

Em anos com apenas um evento acima desse limiar, por exemplo, não é possível calcular o intervalo entre ocorrências; já em anos com dois eventos, o IET pode assumir valores muito pequenos e não representativos da distribuição temporal das chuvas no período. Essa característica torna os resultados mais sensíveis a variações pontuais e dificulta a obtenção de tendências consistentes. Assim, o número reduzido de estações com diferenças significativas reflete a baixa recorrência e a alta variabilidade natural dos eventos extremos.

Portanto, o limiar de 75 mm evidencia mudanças sutis, porém relevantes, na dinâmica das chuvas extremamente intensas, quando consideradas apenas as estações significativas. A redução no IET e o aumento em  $\lambda$ , embora menos expressivos, indicam uma intensificação nas chuvas diárias de alta magnitude.

#### **4.8 Considerações gerais dos resultados**

Os resultados evidenciam alterações significativas no regime pluviométrico do Paraná, especialmente para o limiar de 25 mm, em que a maioria das estações apresentou diferenças entre o passado e o presente. Nos limiares de 50 e 75 mm, as mudanças foram menos expressivas, mas mantiveram o padrão inverso entre IET e  $\lambda$ , sugerindo uma reorganização temporal das precipitações. Em geral as chuvas tornaram-se mais frequentes e com intervalos menores entre eventos, indicando redução do IET e aumento no número anual de chuvas ( $\lambda$ )

As variações ocorrem de forma heterogênea no território, com destaque para a região Leste, onde as características de relevo e localização da região podem ter intensificado a alteração do regime de chuvas.

## 5 CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu identificar e compreender as alterações recentes no regime pluviométrico do estado do Paraná, com base na análise estatística entre períodos passado e presente das séries históricas de precipitação. A aplicação dos testes t e F nos parâmetros tempo entre eventos de chuva (IET) e número anual de chuvas ( $\lambda$ ), possibilitou uma avaliação detalhada das mudanças ocorridas entre os períodos passado e presente, considerando diferentes limiares de precipitação (25 mm, 50 mm e 75 mm).

Os resultados evidenciaram modificações significativas principalmente no limiar de 25 mm, indicando aumento da quantidade de eventos diários no ano e redução do intervalo médio entre suas ocorrências. Nos limiares superiores, as mudanças se mostraram mais sutis, porém coerentes com a tendência de intensificação dos eventos pluviométricos.

A análise espacial revelou que as alterações não ocorrem de forma homogênea no território paranaense. As regiões Leste e Noroeste destacaram-se por apresentarem maiores números de estações com diferenças significativas. Em contrapartida, as regiões Oeste e Norte mostraram padrões mais estáveis, com mudanças menos expressivas.

Essas transformações no comportamento das chuvas têm implicações diretas para diversos setores, especialmente na agricultura, na gestão de recursos hídricos e o planejamento de obras. A maior irregularidade e a tendência de aumento na frequência de chuvas intensas exigem a atualização de modelos hidrológicos, além do fortalecimento de estratégias de adaptação às mudanças climáticas.

Portanto, conclui-se que o regime de precipitação no Paraná pode estar passando por um processo de reorganização temporal e espacial, caracterizado por maior ocorrência de eventos de chuva. Tais resultados reforçam a importância do monitoramento contínuo das séries históricas e da incorporação de metodologias que considerem a não estacionariedade climática. Investigações futuras devem integrar variáveis adicionais, como temperatura, umidade e fenômenos de grande escala (El Niño e La Niña), a fim de aprimorar a compreensão dos mecanismos responsáveis por essas mudanças e subsidiar políticas públicas voltadas à mitigação e adaptação frente às novas condições climáticas.

## REFERÊNCIAS

- A. Y. SHESHUKOV; C. B. SIEBENMORGEN; K. R. DOUGLAS-MANKIN. Seasonal and Annual Impacts of Climate Change on Watershed Response Using an Ensemble of Global Climate Models. **Transactions of the ASABE**, v. 54, n. 6, p. 2209–2218, 2011.
- AGHA, O. M. A. M.; BAĞÇACI, S. Ç.; ŞARLAK, N. Homogeneity Analysis of Precipitation Series in North Iraq. **IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics**, v. 05, n. 03, p. 57–63, jun. 2017.
- AGUIRRE, A. F. L.; NOGUEIRA, D. A.; BEIJO, L. A. ANÁLISE DA TEMPERATURA MÁXIMA DE PIRACICABA (SP) VIA DISTRIBUIÇÃO GEV NÃO ESTACIONÁRIA: UMA ABORDAGEM BAYESIANA. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 496–517, 2021.
- ALCÂNTARA, L. R. P. DE et al. Análise de tendência para dados pluviométricos no município de Toritama-PE. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, p. 130–139, 28 fev. 2019.
- ANJOS, I. B. DOS; NERY, J. T. Variáveis meteorológicas associadas ao rendimento de grãos no Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, n. 1, 11 abr. 2005.
- ANJUM, R. et al. Contemporary Temperature Fluctuation in Urban Areas of Pakistan. **Atmosphere**, v. 8, n. 1, p. 12, 13 jan. 2017.
- ARAUJO RODRIGUES, A. et al. Tendência e variabilidade da chuva no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, p. 177–207, 10 jan. 2023.
- BAČEVIĆ, N. R. et al. Determination of changes in the total amount of precipitation using the Mann-Kendall trend test in Central Serbia for the period from 1949 to 2018. **Időjárás**, v. 128, n. 4, p. 451–472, 2024.
- BACK, Á. J.; CADORIN, S. B. CHUVAS EXTREMAS E EQUAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA PARA O ESTADO DO ACRE. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 55, n. 2, p. 159–170, 18 jun. 2020.
- BEZERRA, A. P. et al. Modelagem preditiva da precipitação para análise das inundações e suas consequências no município de Natal-RN. **Revista Geama**, v. 9, p. 29–41, 2023.
- BLANCHET, J.; CREUTIN, J.-D. Instrumental agreement and retrospective analysis of trends in precipitation extremes in the French Mediterranean Region. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 7, p. 074011, 1 jul. 2022.
- CAMPOS-ARANDA, D. F. Ajuste de la distribución no estacionaria GVE11 a través de momentos L. **Tecnología y ciencias del agua**, v. 12, n. 3, p. 164–203, 1 maio 2021.

CARVALHO, L. V.; WANDERLEY, H. S. Risk identification of precipitation extremes due to climate change in the southern region of the state of Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 4, p. 2073–2085, 19 jul. 2022.

CASAVECCHIA, B. H. et al. Tendências em séries históricas de precipitação na região amazônica de Mato Grosso. **Revista Ciências Agroambientais**, v. 14, p. 58–6, 2016.

COELHO, G. DE A. **Análise da não estacionariedade da precipitação em São Paulo/SP e implicações sobre os sistemas de drenagem urbana**. São Paulo: [s.n.].

COELHO, G. DE A.; MELLO JUNIOR, A. V. **Análise da não estacionariedade da precipitação na cidade de São Paulo, SP**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...**Bento Gonçalves, RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2013.

DOLLAN, I. J. et al. Seasonal variability of future extreme precipitation and associated trends across the Contiguous U.S. **Frontiers in Climate**, v. 4, 20 out. 2022.

DUARTE, T. L. S.; SANTOS, G. C.; CASTELHANO, F. J. EVENTOS DE CHUVAS EXTREMAS ASSOCIADOS AOS RISCOS DE INUNDAÇÕES E DE ALAGAMENTOS EM ARACAJU/SE. **Geosaberes**, v. 12, p. 256, 20 jun. 2021.

FAQUSEH, H.; GROSSI, G. Trend analysis of precipitation, temperature and snow water equivalent in Lombardy region, northern Italy. **Sustainable Water Resources Management**, v. 10, n. 1, p. 18, 3 fev. 2024.

FARIAS, E. DA S.; GOMES, R. L. Comportamento histórico de chuvas e vazões na bacia hidrográfica do rio Cachoeira e suas implicações na ocorrência de eventos de inundações na cidade de Itabuna-BA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 2, p. 847–872, 3 abr. 2023.

FERNANDES, A. C. G. et al. O uso do teste de mann-kendall para detecção de tendência da precipitação em região semiárida pernambucana. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, p. e546111133925, 2 set. 2022.

GALINDO MOUSINHO, F. H. et al. Caracterização pluviométrica dos últimos 50 anos em Caruaru - PE, com análise de tendências, máximas diárias, Curvas IDF e distribuição Gumbel. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 2, p. 958–973, 14 mar. 2024.

GONZAGA, V. N. B. et al. Estimativas de curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para municípios do Estado do Paraná, Brasil, usando a distribuição GEV e técnica de desagregação de chuvas. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, v. 22, n. 12, p. e8163, 11 dez. 2024.

GOUDARD, G.; MENDONÇA, F. DE A. Eventos e episódios pluviais extremos: a configuração de riscos hidrometeorológicos em Curitiba (Paraná - Brasil). **IdeAs**, n. 15, 1 mar. 2020.

GU, X. et al. Extreme Precipitation in China: A Review on Statistical Methods and Applications. **Advances in Water Resources**, v. 163, p. 104144, maio 2022.

HARRISON, L.; FUNK, C.; PETERSON, P. Identifying changing precipitation extremes in Sub-Saharan Africa with gauge and satellite products. **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 8, p. 085007, 1 ago. 2019.

ISENSEE, L. J.; PINHEIRO, A.; DETZEL, D. H. M. Estimação da vazão de projeto de barragens utilizando séries temporais não estacionárias. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 5, p. 2975–2987, 2021.

JIANG, A. et al. Changing rainfall patterns: a perspective of inter-event time between rainfall events and annual numbers of rainfall events. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 39, n. 2, p. 445–464, 5 fev. 2025.

JUNIOR, E. DOS S. F. et al. Análise da variabilidade da precipitação e eventos extremos em Acará-PA. **Brazilian Journal of Development**, v. 11, n. 1, p. e76566, 8 jan. 2025.

LIRA, B. R. P. et al. Identificação de Homogeneidade, Tendência e Magnitude da Precipitação em Belém (Pará) entre 1968 e 2018. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 4, 18 dez. 2020.

LIU, J. et al. Anthropogenic influence on the intensity of extreme precipitation in the Asian-Australian monsoon region in HadGEM3-A-N216. **Atmospheric Science Letters**, v. 22, n. 8, 25 ago. 2021.

MARCUZZO, F. F. N.; ROMERO, V. Influência do El Niño e La Niña na precipitação máxima diária do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, p. 429–440, dez. 2013.

MARENGO, J. A. et al. O maior desastre climático do Brasil: chuvas e inundações no estado do Rio Grande do Sul em abril-maio 2024. **Estudos Avançados**, v. 38, n. 112, p. 203–228, 2024.

MASINGI, V. N.; MAPOSA, D. Modelling Long-Term Monthly Rainfall Variability in Selected Provinces of South Africa: Trend and Extreme Value Analysis Approaches. **Hydrology**, v. 8, n. 2, p. 70, 23 abr. 2021.

MOREIRA, J.; NAGHETTINI, M.; ELEUTÉRIO, J. Frequência e risco sob não-estacionariedade em registros pluviométricos da bacia do alto rio Tarauacá, Acre. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 1, p. 232–241, 25 fev. 2016.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. DE A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2007.

OSBURN, L.; HOPE, P.; DOWDY, A. Changes in hourly extreme precipitation in Victoria, Australia, from the observational record. **Weather and Climate Extremes**, v. 31, p. 100294, mar. 2021.

PANSERA, W. A.; GOMES, B. M. Modelagem estocástica usando a distribuição generalizada de valores extremos e momentos LH: uma abordagem via software

livre R. **REMAT: Revista Eletrônica da Matemática**, v. 7, n. 2, p. e3003, 10 ago. 2021.

PESSOA, J. O. et al. Aplicação do Método Análise de Tendência Inovadora (ITA) para detecção de tendências da precipitação anual e sazonal na Região Metropolitana do Recife. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 6, p. 2958–2977, 29 dez. 2023.

PIVATTO SCHMOELLER, A. M.; LIMBERGER, L. Detecção de Padrões de Mudanças Climáticas no Oeste e Sudoeste do Paraná no Período de 1977-2018. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 4, p. 1697–1713, 25 jul. 2023.

R CORE TEAM. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna: **R Foundation for Statistical Computing**, 2025. Disponível em: <https://www.r-project.org/>.

RIZZOTTO, M. L. F.; COSTA, A. M.; LOBATO, L. DE V. DA C. Crise climática e os novos desafios para os sistemas de saúde: o caso das enchentes no Rio Grande do Sul/Brasil. **Saúde em Debate**, v. 48, n. 141, jun. 2024.

RODRIGUES BORGES, G. M.; THEBALDI, M. S. Estimativa da precipitação máxima diária anual e equação de chuvas intensas para o município de Formiga, MG, Brasil. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 11, n. 4, p. 891, 25 out. 2016.

SANCHES, F. DE O. et al. Mudanças na sazonalidade das chuvas tropicais no entorno de reservatórios: técnicas aplicadas ao reservatório Chapéu D’uvas (MG). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 34, p. 668–691, 14 jul. 2024.

SANTOS JUNQUEIRA, H. et al. Análise da Variação Sazonal e de Tendências na Precipitação Pluviométrica no Município de Juazeiro-BA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 6, p. 2641–2649, 26 nov. 2020.

ŞEN, Z. Innovative Trend Analysis Methodology. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 17, n. 9, p. 1042–1046, set. 2012.

SHAO, J. et al. Research on the Degree of Non-Stationarity in Extreme Precipitation in the Continental United States. **Water Resources Management**, v. 38, n. 2, p. 537–551, 7 jan. 2024.

SILVA, E. L. P. DA; DE CARVALHO RODRIGUES SILVA, M. H.; DE ASSIS MENDONÇA, F. Histórico e projeção de inundações repentinas em Morretes-Paraná-Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 31, p. 362–383, 21 set. 2022.

SILVA, M. E. R. DA et al. Variabilidade pluviométrica no município de Santa Cruz do Capibaribe - PE. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 13, n. 3, p. 471–483, 30 dez. 2023.

SONG, X. et al. A Comprehensive Analysis of the Changes in Precipitation Patterns over Beijing during 1960–2012. **Advances in Meteorology**, v. 2019, p. 1–22, 6 mar. 2019.

SOUSA, N. D. DE; LUCENA, D. B. Espacialização dos eventos extremos positivos de chuva no estado da Paraíba (1994 a 2018). **Revista de Geografia**, v. 40, n. 1, p. 86, 27 abr. 2023.

SZAPAK, L. E. F.; BALDO, M. C.; ZANDONADI, L. Análise das tendências pluviométricas em Maringá e Campo Mourão-PR. **Geographia Opportuno Tempore**, v. 9, n. 1, p. e47221, 13 abr. 2023.

TAMM, O. et al. The intensification of short-duration rainfall extremes due to climate change – Need for a frequent update of intensity–duration–frequency curves. **Climate Services**, v. 30, p. 100349, abr. 2023.

TERASSI, P. M. DE B. et al. Tendências e descontinuidades em séries históricas de chuvas diárias extremas em bacias hidrográficas do Leste do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 35, p. 678–711, 12 dez. 2024.

TIMUR, B. Spatio-Temporal Variations of Climate Variables and Extreme Indices over the Aral Sea Basin during 1960 - 2017. **Trends in Sciences**, v. 20, n. 12, p. 5664, 10 set. 2023.

UBOLDI, F.; LUSSANA, C. Evidence of non-stationarity in a local climatology of rainfall extremes in northern Italy. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 1, p. 506–516, 5 jan. 2018.

VESTENA, L. R.; ALMEIDA, D. E. F.; GEFFER, E. Análise espacial e temporal da distribuição dos alagamentos e inundações na cidade de guarapuava, paraná. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 24923–24941, 2020.

XU, H.; CHEN, H.; WANG, H. Detectable Human Influence on Changes in Precipitation Extremes Across China. **Earth's Future**, v. 10, n. 2, 15 fev. 2022.