



ALAGAMENTOS, ENXURRADAS, INUNDAÇÕES E TENDÊNCIAS DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO NOS MÉDIOS E BAIXO CURSOS DA BACIA DO RIO IGUAÇU¹

Flooding, runoff, inundations and trends of extreme precipitation in the middle and lower courses of the Iguaçu River Basin

Anegamientos, aluviones, inundaciones y tendencias de precipitaciones extremas en los cursos medio y bajo de la Cuenca del Río Iguaçu

Claudiane da Costa 

Universidade Estadual do Centro-Oeste
clau_dianecosta@hotmail.com

Aparecido Ribeiro de Andrade 

Universidade Estadual do Centro-Oeste
apaandrade@gmail.com

Resumo: A precipitação pluviométrica é um dos principais elementos do clima que pode em horas, ou até mesmo em minutos, causar danos econômicos, sociais e ambientais. Por isso, pesquisas desenvolvidas para investigar e observar sua variabilidade são de grande importância. O presente trabalho tem como objetivo identificar quais municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu, no estado do Paraná, no Brasil, apresentam os maiores números de ocorrências de alagamentos, enxurradas e inundações e, por sua vez, a tendência dos índices de extremos da precipitação nos municípios em que se manifestam os maiores números desses eventos. Para isso, foram utilizados dados de ocorrências da Defesa Civil do Paraná, tabulados e organizados em formato de gráficos por meio do programa Microsoft Excel. Para a análise de tendências, foi empregado o software Rclimdex, em que é possível observar as tendências e se elas são estatisticamente significativas. Os maiores números de alagamentos foram encontrados em Guarapuava, os maiores números de ocorrências de enxurradas, em Francisco Beltrão e em Santo Antônio do Sudoeste, e os índices mais altos de inundações, em União da Vitória. Apenas Santo Antônio do Sudoeste apresentou tendência significativamente alta para o R95, enquanto União da Vitória demonstrou tendência significativamente positiva para o CDD e

¹ A presente pesquisa teve parte de seus resultados publicados nos anais do XIV Simpósio Brasileiro de Climatologia e também no XIV Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia.

negativa para o CWD. Guarapuava e Francisco Beltrão não demonstraram significância estatística. Entretanto, todos os quatro municípios apresentaram tendência positiva para CDD, RX1, R20mm e PRCPTOT.

Palavras-chave: Precipitação pluviométrica. Índices extremos. Clima regional.

Abstract: Rainfall is one of the main elements of the climate that can cause economic, social, and environmental damage in hours, or even minutes. Therefore, research developed to investigate and observe its variability is of great importance. This paper aims to identify which cities in the Iguaçu River Basin, in the state of Paraná, Brazil, present the highest number of occurrences of flooding, runoff, and inundations and, in turn, the trend of extreme precipitation rates in the cities where the highest number of these events occur. For this purpose, data on occurrences from the Civil Defense of Paraná were used, tabulated and organized in graph format using the Microsoft Excel program. For trend analysis, the Rclimdex software was used, in which it is possible to observe trends and whether they are statistically significant. The highest number of floods was found in Guarapuava, the highest number of occurrences of runoffs in Francisco Beltrão and Santo Antônio do Sudoeste, and the highest inundations rates in União da Vitória. Only Santo Antônio do Sudoeste presented a significantly high trend for R95, while União da Vitória showed a significantly positive trend for CDD and a negative trend for CWD. Guarapuava and Francisco Beltrão did not demonstrate statistical significance. However, all four cities showed a positive trend for CDD, RX1, R20mm and PRCPTOT.

Keywords: Rainfall. Extreme rates. Regional climate.

Resumen: La precipitación pluviométrica es uno de los principales elementos climáticos con la capacidad de en pocas horas, o incluso en minutos, causar daños económicos, sociales y ambientales. Así que, los estudios desarrollados para investigar y observar su variabilidad son de gran importancia. El presente trabajo tiene como objetivo identificar qué municipios de la Cuenca Hidrográfica del Río Iguaçu, en el estado de Paraná, en Brasil, presentan los más altos números de ocurrencia de anegamientos, aluviones e inundaciones y, a su vez, la tendencia de los índices de precipitación extrema en los municipios donde se manifiestan los mayores números de estos eventos. Para ello, se utilizaron datos de incidentes registrados por la Defensa Civil del estado de Paraná, tabulados y organizados en gráficas hechas en el Microsoft Excel. Para el análisis de tendencias, se utilizó el software Rclimdex, donde es posible observar las tendencias y si son estadísticamente significativas. Los más altos números de anegamientos se encontraron en Guarapuava, el más alto número de casos de aluviones, en Francisco Beltrão y Santo Antônio do Sudoeste, y los índices más altos de inundación en União da Vitória. Solo Santo Antonio do Sudoeste presentó tendencia significativamente alta para el R95, mientras que União da Vitória demostró tendencia significativamente positiva para el CDD y negativa para el CWD. Guarapuava y Francisco Beltrão no demostraron significación estadística. Sin embargo, los cuatro municipios presentaron tendencia positiva para el CDD, el RX1, el R20mm y el PRCPTOT.

Palabras clave: Precipitación pluviométrica. Índices extremos. Clima regional.

Submetido em: 14/02/2024

Aceito para publicação em: 18/12/2024

Publicado em: 10/01/2025

1. INTRODUÇÃO

A precipitação pluviométrica é um dos principais elementos ou atributos climáticos com capacidade de causar impactos negativos no meio social em poucas horas ou até mesmo em minutos. Alguns dos processos mais comuns de representação desses impactos são as enchentes, os alagamentos e as enxurradas, que podem provocar perdas socioeconômicas e ambientais significativas.

Esses processos ocorrem, principalmente, devido à intensidade e à duração da precipitação, pois a relação entre uma e outra é determinante para o grau de impacto, que pode ir desde pequenos transtornos até episódios de mortes. Por isso, observar e analisar a gênese e a evolução, tanto temporal quanto espacial, de eventos potencialmente causadores de impactos negativos possibilita sua mitigação, seja na cidade ou no campo (Vestena *et al.*, 2020).

Ashcrofta *et al.* (2019) afirmam que eventos extremos de chuva com prazos mais curtos são críticos para a gestão da água, além da avaliação de riscos potenciais à vida e à propriedade. Em junho de 2016, por exemplo, um forte evento de chuva ao longo da costa leste da Austrália, associado a uma tempestade, causou danos de cerca de US\$ 420 milhões, desconsiderando o impacto social, difícil de ser quantificado (Ascrofta *et al.*, 2019).

No Brasil, especificamente em novembro de 2008, chuvas intensas ocorreram no estado de Santa Catarina, ocasionando severas inundações e deslizamentos que afetaram 1,5 milhão de pessoas, resultando em 120 vítimas fatais e 69 mil pessoas desabrigadas (Marengo, 2009). As estimativas não oficiais das perdas econômicas devido às chuvas extremas foram da ordem de US\$ 350 milhões (Marengo, 2009).

Um estudo realizado por Castellano e Nunes (2010), em Campinas-SP, evidenciou que fenômenos atmosféricos extremos deflagram sérios problemas no meio urbano, afetando mais forte e rotineiramente os grupos sociais menos favorecidos economicamente, que se instalaram em locais de menor valor imobiliário e de maior grau de risco. Contudo, independentemente do extrato social, em todos os bairros houve registro de algum tipo de ocorrência, mostrando que praticamente toda a população local pode estar exposta a riscos.

Além da cidade, a área rural também é prejudicada por eventos de chuvas fortes e extremas. Nesse sentido, os estudos relativos a impactos de eventos extremos não devem

desconsiderar áreas agrícolas, pois o prejuízo na produção de grãos e de carne, principalmente bovina, também pode ser significativo.

Em Caicó-RN, foi observado que a produção de milho e de feijão diminuiu tanto em anos considerados chuvosos, quanto em anos considerados secos. A produção agrícola no ano mais chuvoso – 2009 – e nos anos mais secos – 1998 e 1999 – apresentou significativas perdas em relação à média (Lucena *et al.*, 2012). Assim, é possível observar que a atividade agrícola está sujeita a eventos climáticos extremos, mesmo com as tecnologias empregadas na atualidade. O planejamento deve estar voltado ao alerta, por exemplo, emitido pelos órgãos competentes para as possibilidades de variações temporais, muitas vezes, inesperadas (Lucena *et al.*, 2012).

Rocha *et al.* (2021) realizaram correlações com os dados de perdas de safra, os veranicos e o Índice de Distribuição de Chuva – IDC de duas culturas – milho e feijão. Nesse estudo, constataram que para a maior parte do estado do Ceará existe correlação direta, ou seja, quanto maior a frequência de eventos de veranicos, maior a perda de safra.

Veranico é caracterizado por ser um período de dias sucessivos sem chuva dentro do período chuvoso, onde apresenta, em média, valores baixos de umidade relativa do ar e elevação da temperatura do ar. Os veranicos prolongados causam o déficit hídrico na cultura e consequentemente a quebra da safra agrícola, provocando prejuízo aos agricultores (Araújo Filho, 2019, p. 2).

Em anos chuvosos, com a redução de veranicos, também ocorreram perdas de safra para as duas culturas. Isso é explicado em virtude do excesso de chuva, que ocasiona um solo saturado do ponto de vista hídrico, prejudicando o plantio (Rocha *et al.*, 2021). Como exemplo desse processo tem-se a diminuição da infiltração da água devido ao excesso de umidade, o que aumenta o escoamento superficial, ou seja, a erosão hídrica, diminuindo a ação de coloides minerais e orgânicos, enriquecidos de elementos minerais (Bertol *et al.*, 2007).

Os resultados desses estudos demonstram um pouco dos impactos que podem ocorrer devido às chuvas intensas/extremas e até mesmo à falta dela. Outras pesquisas, como as de Dickel e Godoy (2016) e de Son *et al.* (2019), também chegaram a resultados importantes sobre os impactos socioeconômicos e ambientais causados pela variabilidade da precipitação em áreas rurais.

Nesse sentido, investigações sobre o tema, utilizando metodologias das mais variadas, podem auxiliar o poder público local e regional, definindo estratégias para a prevenção de riscos e de danos.

Outra questão a ser debatida quando se trata da utilização de índices climáticos para a definição de chuvas intensas ou extremas, por exemplo, é o critério de escolha. Argumentando que essa escolha pode se tornar uma armadilha, Van Oldenborg *et al.* (2021) discutem a necessidade de se analisar cada uma das etapas que precede a opção por um índice, a saber: 1. escolha e definição do evento; 2. coleta e avaliação de observações e estimativa de probabilidade e tendências a partir dessas; 3. avaliação de modelos climáticos; 4. estimativa de tendências de perigo modeladas e sua significância e 5. síntese da atribuição do perigo, avaliação de tendências de vulnerabilidade e exposição e comunicação.

Os autores concluem que, muitas vezes, é possível encontrar nos resultados do estudo observações imperfeitas e simulações de modelos variadas, ou seja, os resultados podem ser corretos, mas o uso deles pode apontar projeções das mais diversas.

Os resultados das pesquisas sobre os impactos negativos causados por chuvas intensas/extremas e pela falta de chuva, como os citados, normalmente buscam observar e analisar as tendências de precipitação, focando na observação de seu padrão de variabilidade. Essas observações podem indicar possíveis mudanças, principalmente nos valores extremos.

Marengo (2010) considera que grandes desvios de um estado climático moderado podem ser considerados eventos extremos que ocorrem em diferentes escalas e que podem variar desde dias até milênios. Contudo, o mais importante para as atividades humanas são os eventos de curto prazo.

Para Monteiro e Zanella (2019, 2023), os acumulados máximos de precipitação que se destacam em relação à média, tanto diária quanto mensal ou anual, podem ser denominados eventos extremos de chuva e geralmente possuem potencial para deflagrar desastres de grande magnitude.

Ainda nessa perspectiva, Goudard (2019, p. 32) salienta que “do ponto de vista específico das chuvas, os extremos podem ser considerados aqueles cujo total anual, sazonal ou diário demonstra desvios de valores superiores ou inferiores à apresentação dos habituais da área no período analisado”.

Estudos sobre eventos pluviométricos extremos permitem identificar a gravidade dos eventos excepcionais ou as anomalias de chuva de prazos mais curtos, principalmente por serem mais destrutivos (Ashcrofta *et al.*, 2019; Sanches *et al.*, 2013).

Costa *et al.* (2020), ao analisar o uso de índices climáticos para a Região Nordeste do Brasil, enfatizaram que a escolha do índice de evento extremo deve ser cuidadosamente testada, principalmente em regiões com alta variabilidade climática. Nesse estudo, os autores utilizaram 23 dos 27 índices climáticos formulados pelo CCI/CLIVAR/JCOMM Expert Team – ET on Climate Change Detection and Indices – ETCCDI para detectar mudança climática derivada de dados diários de precipitação e de temperaturas máximas e mínimas, com definições e unidades.

Suas conclusões em relação à precipitação demonstraram que na maioria das estações meteorológicas pesquisadas “[...] onde existe aumento em dias secos consecutivos, há também uma tendência de aumento significativo em dias úmidos consecutivos, intensificando a sazonalidade, com as estações secas se tornando mais secas e as chuvosas mais úmidas” (Costa *et al.*, 2020).

Na tentativa de contribuir para a ampliação do conhecimento de técnicas e de processos vinculados a eventos extremos climáticos, notoriamente aqueles potencialmente causadores de alagamentos, de enchentes e de enxurradas, a presente pesquisa adota parte da Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu (Figura 1) como objeto de estudo.

Essa bacia hidrográfica é a maior rede de drenagem do estado do Paraná e figura entre as principais áreas com usinas – centrais – hidrelétricas da Região Sul do Brasil. Seu elevado desnível no terceiro planalto se constituiu numa característica peculiar para o aproveitamento hidrelétrico, contendo cinco grandes e vários pequenos reservatórios, que alteraram significativamente as paisagens local e regional. Essas represas transformaram corredeiras e saltos em uma sequência de reservatórios que alagam 656 quilômetros quadrados, constituindo cerca de 22,5% de toda a energia hidrelétrica produzida no estado do Paraná. (Júlio Júnior *et al.*, 1997).

Devido a suas características geomorfológicas e hidrodinâmicas, o cenário da Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu é considerado como de elevada importância ecológica. Alguns estudos enfatizam a parte do Alto Iguaçu como área de estudo (Pinheiro; Martin-Vide, 2017),

mas, normalmente, essa bacia hidrográfica é estudada na sua totalidade e, principalmente, quando se trata de eventos de precipitação (Andrade *et al.*, 2022).

O diferencial da presente pesquisa está na escolha do Médio e do Baixo Iguaçu como objeto, sobretudo por se tratar de regiões com baixo Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDHM, o que muitas vezes indica alta vulnerabilidade social. Essa escolha se justifica pelo fato de que os impactos de eventos extremos de precipitação são corriqueiros na área de estudo, principalmente no Médio Iguaçu (Ferentz; Garcia, 2020).

Nesse sentido, o presente estudo analisa somente a precipitação – buscando identificar quais municípios apresentam os maiores números de ocorrências de alagamentos e de enxurradas – e a tendência dos índices de extremos de precipitação no médio e no baixo cursos da Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu.

2. METODOLOGIA

2.1. Aspectos econômicos, populacionais e físicos da área de estudo

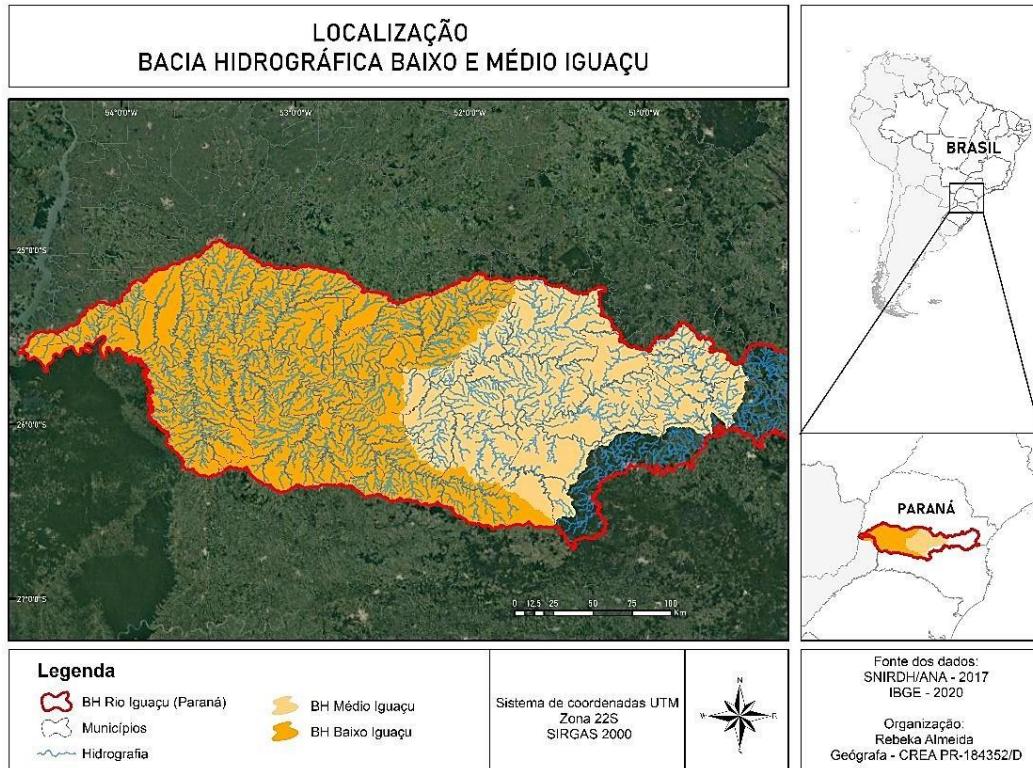
A área de estudo encontra-se na Região Sul do Brasil, especificamente no sul do estado do Paraná (Figura 1), ainda que a Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu se estenda também pelo estado de Santa Catarina. A análise foi realizada nos municípios que fazem parte do baixo e do médio cursos da bacia, no Paraná. A região em que se ela encontra apresenta relevantes números com relação à importância da agricultura no setor econômico. O estado do Paraná tem como principal economia de exportação os grãos de soja (BNDES, 2014). Dessa forma, toda a estruturação socioeconômica que predomina nos municípios paranaenses demonstra uma relação muito forte das atividades urbanas com as rurais.

Segundo a tipologia proposta pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2017), a maioria dos municípios da área de estudo são intermediários remotos² e rurais

² Municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 25000 e 50000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização entre 25 e 50%; municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 10000 e 25000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização entre 50 e 75%, e municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 3000 e 10000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização superior a 75%, remotos a centros urbanos de maior hierarquia.

adjacentes³. Poucos são os municípios predominantemente urbanos. Ao todo, no Médio e no Baixo Iguaçu, existem 86 municípios, somando 2.030.405 habitantes (IBGE, 2020).

Figura 1 – Área de estudo



Fonte: Autores (2024).

De acordo com a classificação climática de Novais (2023), na área de estudo há a ocorrência de dois predomínios climáticos: no Baixo Iguaçu predomina o Clima Tropical Ameno Úmido, meridional do Brasil, que apresenta a temperatura média do mês mais frio – TMMMF entre 15 e 17,9° C e tem precipitação anual de 1150-3114 mm; já no Médio Iguaçu, predomina o Clima Subtropical Úmido, meridional do Brasil, com a TMMMF de 10,0 -14,9° C e precipitação anual de 1203-3456 mm.

³ Municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 25000 e 50000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização inferior a 25%; municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 10000 e 25000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização inferior a 50%, e municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 3000 e 10000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização inferior a 75%, adjacentes a centros urbanos de maior hierarquia.

Durante os meses de inverno, a variabilidade termal é associada principalmente à evolução da Massa Polar Atlântica – mPa que, aliada à altitude de algumas localidades, pode provocar quedas significativas na temperatura do ar (Costa; Andrade, 2015). Essa dinâmica resulta em um frio mais intenso do que em outras regiões do estado, com geadas frequentes e, esporadicamente, a precipitação de neve (Mack, 1968; Thomaz; Vestena, 2003; Costa; Andrade, 2015).

2.2. Fonte de dados, instrumentos e técnicas

Os dados de números de ocorrências de alagamentos, de enxurradas e de inundações foram obtidos junto à base de dados da Defesa Civil do Paraná⁴. Conforme a disponibilidade das informações, ficou evidente maior confiabilidade dos dados no período que engloba 2011 a 2018, pois algumas localidades menores, ou seja, com população pequena e que não dispõe de Corpo de Bombeiros e de Defesa Civil, não apresentaram dados de ocorrências, principalmente antes de 2011. Assim, foi analisada toda a série de dados disponível.

Para se observar o número de ocorrências de alagamentos, de enxurradas e de inundações (Quadro 1), foram elaborados gráficos no programa Microsoft Excel, organizados a partir dos dados de todos os municípios que compõem a área de estudo. As localidades que apresentaram mais de três registros de ocorrências em quaisquer dos eventos foram aproveitadas na pesquisa. Diante disso, foi possível identificar os municípios com os maiores números de eventos de alagamentos, de enxurradas e de inundações.

Após identificados os municípios que mais apresentaram ocorrências de enxurradas, de alagamentos e de inundações, foi obtida a tendência dos extremos de precipitação de algumas dessas localidades, que apresentaram os maiores números dos eventos em questão, conforme procedimentos descritos adiante. O conhecimento da tendência desses extremos é importante, pois define modificações na variabilidade da precipitação, podendo influenciar na intensidade e na frequência dos eventos.

⁴ Disponível em: https://geodc.geo.pr.gov.br/geodc/pages/templates/initial_public.jsf?windowId=ce0.

Quadro 1 – Conceito e definição de enxurradas, de alagamentos e de inundações pela Defesa Civil do Paraná

Conceito	Definição
Enxurradas	Processo identificado pelo escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, estando ou não associado ao domínio fluvial, provocado por chuvas intensas e concentradas (Defesa Civil do Paraná, 2018).
Alagamentos	Águas acumuladas no leito das ruas e nos perímetros urbanos, associadas a fortes precipitações pluviométricas, principalmente em cidades com sistemas de drenagem deficientes (Defesa Civil do Paraná, 2018).
Inundações	Ocorre com o transbordamento de água da calha normal de rios, mares, lagos e açudes ou a acumulação de água por drenagem deficiente (Defesa Civil do Paraná, 2018).

Fonte: Adaptado da Defesa Civil do Paraná (2018).

Os dados de precipitação pluviométrica utilizados nas análises das tendências dos extremos foram cedidos pelo Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IDR-Paraná e pelas empresas Águas Paraná e Companhia Paranaense de Energia – Copel. O acesso a essa base é aberto no *site* do Instituto Água e Terra – IAT.

A série de dados de precipitação pluviométrica obtida corresponde a um período de 34 anos – 1985-2019 –, atingindo o intervalo temporal mínimo, de acordo com a Organização Meteorológica Mundial – OMM (Zavatini; Boin, 2013). Entretanto, esses dados foram associados às informações da Defesa Civil, que englobam períodos menores e não simultâneos.

O *software* utilizado para calcular a tendência dos índices extremos de precipitação foi o RClimdex 1.1, desenvolvido e mantido por Xuebin Zhang e Yang Feng, do Serviço de Meteorologia do Canadá (Zhang; Feng, 2018).

Por fim, foram selecionados os índices de precipitação para se realizar os cálculos de tendências, conforme consta no Quadro 2.

Quadro 2 – Indicadores de mudanças na variabilidade climática e definições

Índices	Definição	Unidade
RX1	Quantidade de precipitação máxima em um dia mensal	mm
RX5	Quantidade de precipitação máxima em cinco dias mensal	mm
R10	Número de dias anual em que a precipitação ≥ 10 mm	dias
R20	Número de dias anual em que a precipitação ≥ 20 mm	dias
CDD	Número máximo dias secos consecutivos em que a precipitação é <1 mm	dias
CWD	Número máximo dias úmidos consecutivos com a precipitação ≥ 1 mm	dias
R95p	Total anual em que a precipitação é > 95 percentis	mm
R99p	Total anual em que a precipitação é > 99 percentis	mm
PRCPTOT	Total anual de precipitação em dias úmidos ≥ 1 mm	mm

Fonte: Adaptado de Zandonadi *et al.* (2015) e Zhang *et al.* (2018).

A definição dos índices para este estudo considerou os desenvolvidos pelo ETCCDI, além dos que já foram analisados em trabalhos científicos sobre o estado do Paraná por alguns pesquisadores, entre eles Zandonadi *et al.* (2015).

Os valores das tendências – Slope – e a significância estatística – P-Valor – dos índices de extremos de precipitação foram considerados nas análises. Para os índices calculados, o valor de P foi considerado de alta significância estatística quando $p < 0,05$ e de boa significância quando $p < 0,1$. Os valores de tendências significativas estão destacados no Quadro 3.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados inerentes a trabalhos que tratam dos impactos causados pela chuva, principalmente do aumento na intensidade e na frequência, devem passar pela avaliação socioambiental, ou seja, é primordial que as análises estejam focadas nos impactos ambientais que atingem diretamente as condições sociais.

Gamba (2011) afirma que a avaliação socioambiental em análises vinculadas a extremos climáticos passa pela interpretação do conceito de vulnerabilidade ambiental, que tem a questão social como central. A autora entende que essa vulnerabilidade está associada

à diminuição da capacidade de grupos sociais de oferecerem respostas ou de adaptarem-se aos impactos causados por eventos extremos.

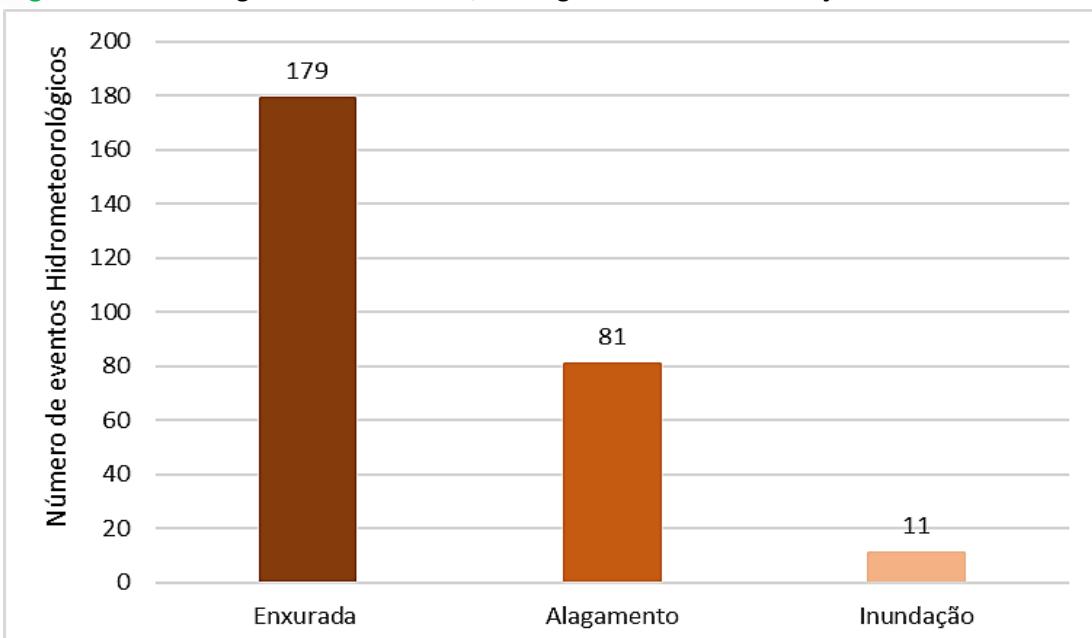
O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima – IPCC (2022) também aborda a questão da avaliação socioambiental em eventos extremos, pois os cenários criados e seus relatórios sobre mudanças climáticas normalmente consideram a vulnerabilidade socioambiental, principalmente quando em relação a impactos causados por eventos extremos de precipitação em áreas urbanas.

Dessa forma, a necessidade de se avaliar impactos ambientais na perspectiva da vulnerabilidade social é inquestionável e os impactos das ocorrências de alagamentos e de enxurradas estão diretamente ligados a essa vulnerabilidade.

3.1. Ocorrências de alagamentos, de enxurradas e de inundações

Ao se observar a Figura 2, o número de enxurradas na área de estudo é superior aos demais eventos hidrometeorológicos, representando 24%, seguido por alagamentos (21%) e por inundações (15%). Isso ocorre devido ao escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, principalmente em áreas urbanas, de acordo com Botelho (2011, p. 53): “Nas áreas urbanas, novos elementos são adicionados pelo homem, como edificações, pavimentação, canalização e retificação de rios, que acabam por reduzir drasticamente a infiltração e favorecem o escoamento das águas”. E é na área urbana que a maioria das ocorrências da Defesa Civil são registradas (Defesa Civil do Paraná, 2018).

Figura 2 – Número geral de enxurradas, de alagamentos e de inundações na área de estudo

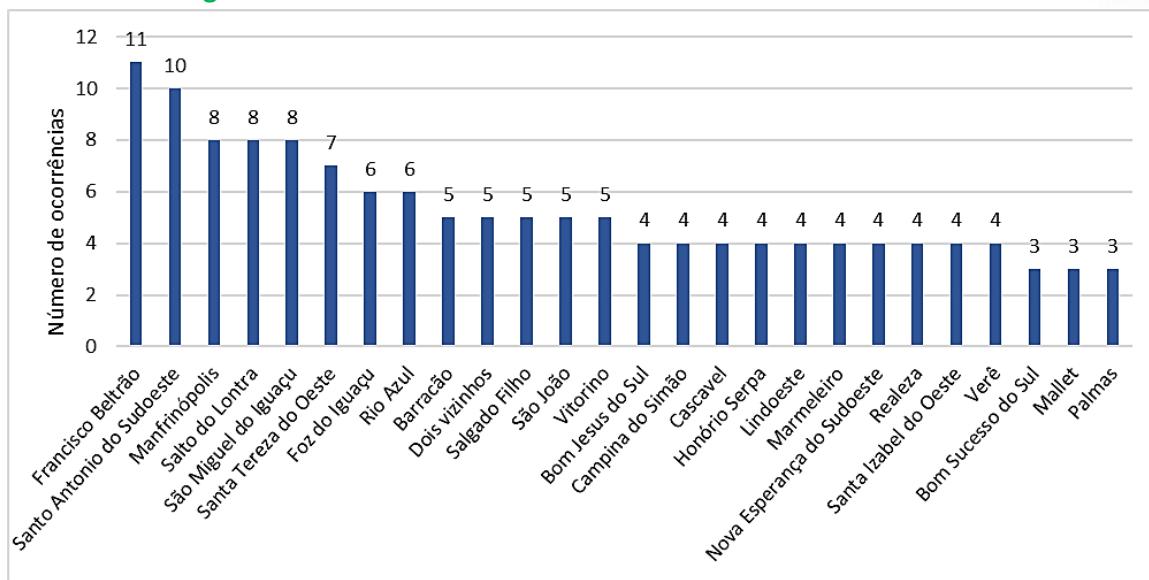


Fonte: Defesa Civil do Paraná (2018).

Na Figura 3 é possível observar que, dos municípios com ocorrências de enxurradas, Francisco Beltrão foi o que mais se destacou, registrando 11 eventos, seguido de Santo Antônio do Sudoeste, com dez. Os dois municípios estão localizados na região sudoeste da área de estudo.

De acordo com Farias (2019), Francisco Beltrão teve, a partir da década de 1970, uma rápida expansão do perímetro urbano em direção aos afluentes do Rio Marrecas, assim, aumentando a impermeabilização do solo, o que pode ter contribuído para mais ocorrências de enxurradas devido à concentração e à alta energia no transporte do escoamento superficial. Tal cenário possibilitou um maior número de afetados.

Figura 3 – Número de ocorrências de enxurradas na área de estudo

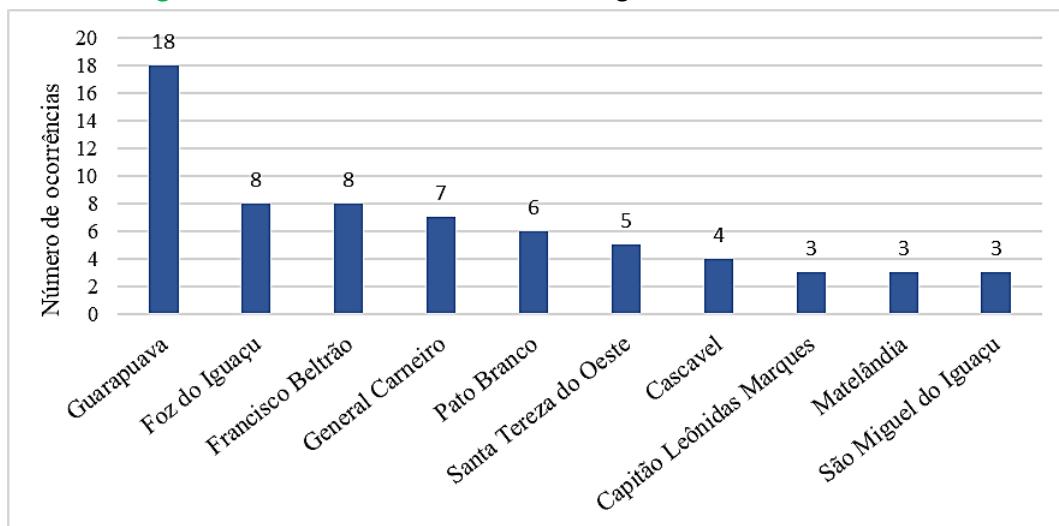


Fonte: Defesa Civil do Paraná (2018).

Ao se analisar o número de ocorrências de alagamentos na área de estudo, o município de Guarapuava, localizado no Médio Iguaçu, na região centro-sul do estado do Paraná, se destaca com 18 ocorrências registradas (Figura 4).

A maior incidência de alagamentos e de inundações nesse município registra-se nas proximidades do principal rio da área urbana – Rio Cascavel. Essas ocorrências são consequências dos problemas de drenagem urbana na cidade e da ocupação, muitas vezes irregular, de áreas inundáveis (Vestena *et al.*, 2020).

Figura 4 – Número de ocorrências de alagamentos na área de estudo



Fonte: Defesa Civil do Paraná (2018).

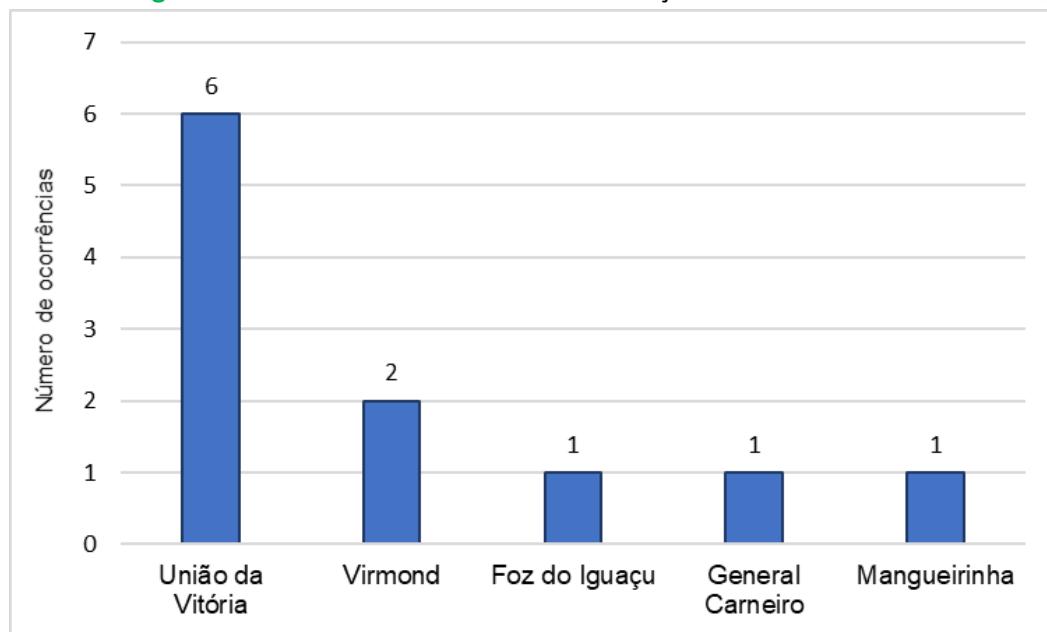
Entretanto, levando-se em consideração o conceito de alagamento apresentado pela Defesa Civil – de que o fenômeno se trata de águas acumuladas no leito das ruas e nos perímetros urbanos –, no município de Guarapuava, a parte central da bacia do Rio Cascavel é, em sua maior parcela, ocupada pela área urbana, “onde a retirada da vegetação e a impermeabilização do solo potencializam o aumento do escoamento superficial e das vazões máximas, intensificando a ocorrência de alagamentos e ampliando as áreas inundáveis” (Vestena *et al.*, 2020).

As inundações, por sua vez, apresentaram os menores números de ocorrências registradas pela Defesa Civil. Dos 86 municípios da área de estudo, apenas cinco notificaram esse tipo de desastre. Observando-se a Figura 5, nota-se que União da Vitória se destaca com seis ocorrências.

O município está localizado às margens do Rio Iguaçu e seus aspectos físicos e geográficos já demonstram a propensão para a ocorrência de inundações. A localidade é como uma represa natural, tendo em vista as características de formação rochosa do Rio Iguaçu (Ferentz; Garcias, 2020).

Com a construção da Ponte dos Arcos para a expansão do local, em 1944, foi realizado o aterramento dos terrenos do entorno da Avenida Manoel Ribas, resultando no início da urbanização da cidade com a ocupação das margens do Rio Iguaçu (Ferentz; Garcias, 2020). Além disso, várias iniciativas políticas incentivaram essa ocupação visando a valorização da região. As ocorrências de inundações para esse local têm um período de retorno de dez anos (Ferentz; Garcias, 2020).

Figura 5 – Número de ocorrências de inundações na área de estudo



Fonte: Defesa Civil do Paraná (2018).

Considerando os resultados constantes nos gráficos das figuras 2, 3 e 4, foram analisadas as tendências de extremos de precipitação para os municípios de Guarapuava e de Francisco Beltrão, pois se destacaram com os maiores números de ocorrências de alagamentos e de enxurradas.

3.2. Tendências dos extremos de precipitação

O Quadro 3 apresenta os valores calculados para as tendências dos índices de extremos de precipitação para os municípios de Francisco Beltrão, Santo Antônio do Sudoeste, Guarapuava e União da Vitória.

Somente os Dias Consecutivos Secos – CDD de União da Vitória têm uma significância positiva estatisticamente boa e negativa para os Dias Consecutivos Úmidos – CWD. Enquanto Santo Antônio do Sudoeste teve tendência positiva estatisticamente alta para o R95 – total anual em que a precipitação é >95p.

Em um estudo realizado por Zandonadi *et al.* (2015) em 32 estações meteorológicas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná, ficou demonstrada a tendência de aumento na precipitação total em quase todas as estações analisadas.

Quadro 3 – Tendências de precipitação

Índices	Francisco Beltrão	Santo Antônio do Sudoeste	Guarapuava	União da Vitória
CDD	0.133	0.127	0.134	0.255
CWD	-0.03	0.033	-0.02	-0.081
RX1 DAY	0.271	0.837	0.042	0.447
RX5 DAY	-0.061	0.837	0.231	0.374
R10 mm	0.011	0.099	0.062	-0.041
R20 mm	0.046	0.037	0.009	0.116
R95p	0.855	8.162	-1.037	1.368
R99p	0.749	3.506	-0.484	1.352
PRCPTOT	3.259	9.544	0.607	0.535

 Alta significância  Boa significância

Fonte: IAT (2021).

As precipitações extremas foram as principais contribuintes, como as acima do percentil 95, e somente na parte norte da região pesquisada pelos autores se identificou tendências decrescentes de chuvas extremas. Porém, na pesquisa em tela, realizada nos cursos médio e baixo da Bacia do Rio Iguaçu, afluente do Rio Paraná, as tendências de todos os municípios analisados são positivas para CDD, RX1, R20mm e PRCPTOT.

Observando-se particularmente os municípios, em Francisco Beltrão, os índices RX5 – precipitação máxima em cinco dias – e CWD apresentaram tendências negativas. Entretanto, nenhum dos índices de Francisco Beltrão apresentou valores estatisticamente significativos, demonstrando uma estabilidade no padrão das chuvas.

Santo Antônio do Sudoeste teve todos os índices com tendências positivas, registrando alta significância para R95. E como é uma localidade que já apresenta número considerável de enxurradas, é necessário que haja o monitoramento dessa variabilidade, principalmente em áreas que estejam mais suscetíveis.

Guarapuava, na maioria dos índices, apresentou tendências positivas, com exceção de CDD, R95 e R99, sendo CDD o índice que mais se aproximou de ter uma significância

estatística. Esse processo pode acarretar vários problemas para a região, principalmente associados à atividade econômica predominante, a agricultura. Por isso, observar a tendência desse índice é de suma importância, pois, mesmo que ele não tenha apresentado significância estatística, foi o que mais se aproximou.

As análises referentes a União da Vitória resultaram em tendência negativa para CWD e R10 mm, sendo que para CDD teve boa significância positiva e para CWD, boa significância negativa. Como já mencionado, o município sofre com inundações devido à proximidade de sua área urbana com o Rio Iguaçu e o índice positivo significativo para CDD traz um novo alerta de possibilidade de dias mais secos.

Por mais que alguns índices com tendências negativas possam indicar alguma preocupação com a irregularidade da intensidade e da frequência, o total anual sendo positivo demonstra que a dinâmica pluviométrica da região apresenta complexidade elevada, necessitando de outras formas de investigação além das utilizadas no presente estudo. Por exemplo, é possível observar a sazonalidade, ou seja, as estações chuvosas.

Outra questão inerente ao tema é a relação da quantidade de chuva com a frequência de dias úmidos. Pelos resultados obtidos, percebe-se que os registros da defesa civil são maiores em períodos com maior frequência de precipitação intermitente. Nesse sentido, Sharma *et al.* (2018) afirmam que quando a precipitação ocorre em solo previamente úmido, sua relação com o aumento rápido da vazão vai de 13% – seco – para 62% – úmido –, potencializando a ocorrência de enxurradas, de alagamentos e de inundações.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No geral, os resultados indicam tendência de um aumento relativamente baixo na quantidade de chuva. Salienta-se, inclusive, que alguns índices com resultados negativos, a depender da época do ano – ou estação sazonal –, reforçam a necessidade de se averiguar essa temática em escalas de abordagens mais detalhadas e com objetivos diferenciados – calendário agrícola ou planejamento das cidades.

Os municípios que apresentaram os maiores números de eventos de enxurradas, de alagamentos e de inundações foram Francisco Beltrão, Santo Antônio do Sudoeste,

Guarapuava e União da Vitória, respectivamente. Esses eventos ocorreram principalmente em localidades próximas a rios na área urbana.

A maioria dos índices de tendências de extremos de precipitação analisados demonstraram tendências positivas, ainda que na maioria dos casos não estatisticamente significativas, o que explicita uma estabilidade no padrão da precipitação pluviométrica. As exceções são para o índice R95, de Santo Antônio do Sudoeste, que apresentou tendência significativa positiva, e para a tendência positiva significativa de CDD e negativa de CWD de União da Vitória.

No momento, ainda não é possível afirmar que a leve tendência positiva de CDD e negativa de CWD e de R99 para Guarapuava possa indicar uma provável mudança. No entanto, isso deve ser incluído como informação para planejamentos futuros.

Outra questão que tampouco foi possível identificar e que não foi observada nesta pesquisa foi a causa desse aumento. A modificação do uso e da ocupação do solo e/ou o ciclo natural da climatologia local são prováveis motivações, mas não foram objeto desta investigação. Monteiro (2024), por exemplo, encontrou uma boa correlação dessas causas com o aumento e com a diminuição dos dias de chuva para o curso do Rio Macaé, utilizando-se dos mesmos índices da presente pesquisa, o que reforça a hipótese.

Para Francisco Beltrão, os índices de RX5 e CWD apresentaram tendências negativas. E apesar desses resultados não terem demonstrado significância estatística, apontaram coerência com os resultados dos outros índices utilizados. Ou seja, é necessário o monitoramento/acompanhamento desses dados, pois eles são semelhantes aos resultados de Guarapuava, por exemplo, principalmente para CWD.

A região de estudo, como um todo, tem um padrão de variabilidade climática similar, o que levanta a hipótese de que os sistemas atmosféricos regionais – frentes frias e chuvas orográficas e frontais – definam essa semelhança (Costa; Andrade, 2015).

O PRCPTOT demonstrou tendência positiva, porém muito próxima de uma estabilidade, o que é importante para a economia local e regional. A análise de uma série de dados mais longa e que tenha períodos semelhantes – chuvas e eventos de alagamentos, de enxurradas e de inundações – é importante para aprofundar ainda mais o desenvolvimento do tema. Contudo, não houve possibilidade de obtenção desses dados até o momento.

Mesmo assim, os resultados encontrados chamam a atenção para possíveis instabilidades da dinâmica pluviométrica, o que pode e deve ser acompanhado ao longo do tempo de forma atenta.

Portanto, é necessário manter as pesquisas relacionadas a esse tema, objetivando-se identificar alguma mudança na frequência ou na intensidade desses índices e de suas tendências. Uma investigação permanente pode propiciar tomadas de decisão para a mitigação de futuros impactos econômicos e socioambientais.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. R.; NERY, J. T.; TOLEDO, B. H. C. Spatial concentration and variability of rainfall in the Iguaçu River Basin, State of Paraná–Brazil. **Singapore Journal of Tropical Geography**, v. 44, p. 95-111, 2022.
- ARAÚJO FILHO, P. F. Análise climática do veranico no período chuvoso do município de São José do Egito – PE. **XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Foz do Iguaçu, 2019.
- ASHCROFTA, L.; KAROLY, D. J.; DOWDYB, A. J. Historical extreme rainfall events in southeastern Australia. **Weather and Climate Extremes**, v. 25, set. 2019.
- BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 133-142, 2007.
- BNDES – BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL, **Contexto socioeconômico e atuação do BNDES na Região Sul**. 2014.
- BOTELHO, R. G. M. Bacias Hidrográficas Urbanas. In: GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 71-115.
- CASTELLANO, M. S. **Inundações em Campinas (SP) entre 1958 e 2007**: tendências socioespaciais e as ações do poder público. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
- COSTA, C.; ANDRADE, A. R. Análise de tendências dos índices de precipitação pluviométrica para Guarapuava-PR. In: XIV ENCONTRO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM GEOGRAFIA (ENANPEG), 2021, João Pessoa. **Anais** [...]. João Pessoa, 2021.
- COSTA, C.; ANDRADE, A. R. Desastres Hidrometeorológicos e impactos sociais nos médio e baixo cursos da bacia do Rio Iguaçu – Paraná. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 2021, João Pessoa. **Anais** [...]. João Pessoa, 2021.

COSTA, C.; ANDRADE, A. R. Gênese e evolução das temperaturas mínimas absolutas na região centro-sul do Paraná: A influência da dinâmica atmosférica e do relevo local. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 35, n. 3, p. 452-471, 2015.

COSTA, R. L.; BATISTA, G. M. M.; GOMES, H. B.; SILVA, F. D. S.; JÚNIOR, R. L. R.; SALVADOR, M. A.; HERDIES, D. L. Analysis of climate extremes indices over northeast Brazil from 1961 to 2014. **Weather and Climate Extremes**, v. 28, p. 1-21, 2020.

DEFESA CIVIL DO PARANÁ. **Anuário da Coordenadoria de Proteção e Defesa Civil do Paraná: ações desenvolvidas em 2018.** Disponível em: <http://www.defesacivil.pr.gov.br/Pagina/Anuarios>. Acesso em: out. 2020.

DEFESA CIVIL DO PARANÁ. **Ocorrências e decretos Defesa Civil.** Disponível em: <https://bi2.pr.gov.br/single/?appid=47cda2a2-9ddf-4ce2-ac9c-6725815479bb&sheet=83a81ddb-9fbc-459c-875d-5c5258c570fa&opt=currse1%2Cctxmenu>. Acesso em: mar. 2023.

DICKEL, M. E. G.; GODOY, M. B. R. Desastres ambientais e impactos socioambientais: inundações no município de Itaóca-SP: Bacia Hidrográfica como unidade de planejamento e gestão de riscos. **Caderno de Geografia**, v. 26, n. 47, 2016.

FARIAS, A. S. **Inundações urbanas em Francisco Beltrão/PR:** riscos e vulnerabilidades socioambientais. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

FERENTZ, L. M. S.; GARCIAS, C. M. Evolução histórica da gestão de riscos e desastres às inundações em União da Vitória, Estado do Paraná. **Revista Videre**, Dourados, v. 12, n. 23, p. 179-200, 2020.

GAMBA, C. Avaliação da Vulnerabilidade do Município de São Paulo ao Processo de Escorregamento. In: XII Simpurb – Simpósio Nacional de Geografia Urbana, 2011, Belo Horizonte. **XII Simpurb – Ciência e Utopia: Por uma Geografia do Possível.** Belo Horizonte, 2011.

IAT – Instituto Água e Terra. **Dados pluviométricos diários e mensais.** Disponível em: <http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Sistema-de-Informacoes-Hidrologicas#>. Acesso em: abr. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Tipologia municipal rural-urbano.** Rio de Janeiro, 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativa de população.** Rio de Janeiro, 2020.

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. **Climate Change 2022: Working Group II. Impacts Adaptation and Vulnerability.** Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>. Acesso em: 28 nov. 2024.

JÚLIO JÚNIOR, H. F.; BONECKER, C. C.; AGOSTINHO, A. A. Reservatório de Segredo e sua inserção na Bacia do Rio Iguaçu. In: AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C. (org.). **Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo**. Maringá: Eduem, p. 1-17, 1997.

LUCENA, J. A.; SOUZA, B. I.; MOURA, M. O.; LIMA, J. O. Análise da Variabilidade da Precipitação Pluviométrica como Subsídio para o Planejamento Agrícola em Caicó/RN. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 10, jan./jun. 2012.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: José Olympio, 1968.

MARENGO, J. A. Impactos de extremos relacionados com o tempo e o clima – Impactos sociais e econômicos. **Boletim do Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas** – GPMC, n. 8, 2009.

MARENGO, J. A. Mudanças Climáticas, Condições Meteorológicas Extremas e Eventos Climáticos no Brasil. In: FBDS (org) **Mudanças Climáticas Eventos Extremos no Brasil**. p: 05-19. FDBS & LLOYD'S. 2010.

MONTEIRO, J. B; ZANELLA, M. E. A metodologia estatística dos eventos extremos de precipitação: Uma proposta autoral para análise de episódios pluviométricos diários. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, MS, v. 32, Jan. / Jun. 2023

MONTEIRO, J. B; ZANELLA, M. E. Eventos Extremos no estado do Ceará, Brasil: uma análise estatística de episódios pluviométricos no mês de março de 2019. **GEOTEXTOS (ONLINE)**, v. 15, p. 149-173, 2019.

MONTEIRO, M. H. D. **Variação espaço-temporal da disponibilidade hídrica associada a índices de precipitação e uso e ocupação da terra no alto do curso do rio Macaé, sub-bacia Galdinópolis**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2024.

NOVAIS, G. T.; MACHADO, L. A. Os climas do Brasil: segundo a classificação climática de novais. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, v. 32, jan./jun. 2023.

PINHEIRO, G. M.; MARTIN-VIDE, J. Índice de concentração de chuvas no alto da Bacia do Iguaçu, Paraná, Brasil. **Ra'ega – O Espaço Geográfico em Análise**, v. 39, p. 266-279, 2017.

ROCHA, T. B. C.; VASCONCELOS JÚNIOR, F. C.; SILVEIRA, C. S.; MARTINS, E. S. P.; GONÇALVES, S. T. N.; SILVA, E. M.; ALVES, J. M. B.; SAKAMOTO, M. S. Indicadores de Veranicos e de Distribuição de Chuva no Ceará e os Impactos na Agricultura de Sequeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 3, p. 579-589, 2021.

SANCHES, F.; VERDUM, R.; FISCH, G. Estudo de tendência de chuvas de longo prazo. **Revista Ambiente e Água** vol. 8 n. 3 Taubaté - Sep. / Dec. 2013

SHARMA, A.; WASKO, C.; LETTENMAIER, D. P. If precipitation extremes are increasing, why aren't floods? **Water Resources Research**, v. 54, p. 8545–8551, 2018.

SON, R.; WANG, S. Y. S.; TSENG, W. L.; SCHULER, C. W. B.; BECKER, E.; YOON, J. H. Climate diagnostics of the extreme floods in Peru during early 2017. **Climate Dynamics**, v. 54, p. 935-945, 2019.

THOMAZ, E. L.; VESTENA, L. R. **Aspectos climáticos de Guarapuava-PR**. Guarapuava: UNICENTRO, 2003.

VAN OLDENBORGH, G. J.; VAN DER WIEL, K.; KEW, S.; SJOUKJE, F.; OTTO, F.; VAUTARD, R.; REI, A.; LOTT, F.; ARRIGHI, J.; SINGH, R.; VAN, A. Caminhos e armadilhas na atribuição de eventos extremos. **Mudanças Climáticas**, v. 166, p. 13, 2021.

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.

ZANDONADI, L.; ACQUAOTTA, F.; FRATIANNI S.; ZAVATTINI, J. A. Changes in precipitation extremes in Brazil (Paraná River Basin). **Theoretical and Applied Climatology**, v. 119, n. 3-4, 2015.

ZAVATTINI, J. A.; BOIN, M. N. **Climatologia geográfica**: Teoria e Prática de Pesquisa. Campinas: Alínea, 2013.

ZHANG, X.; FENG, Y.; RODNEY CHAN, R. **Introduction to RClimDex**. Climate Research Division Environment Canada. Canadá, 2018.