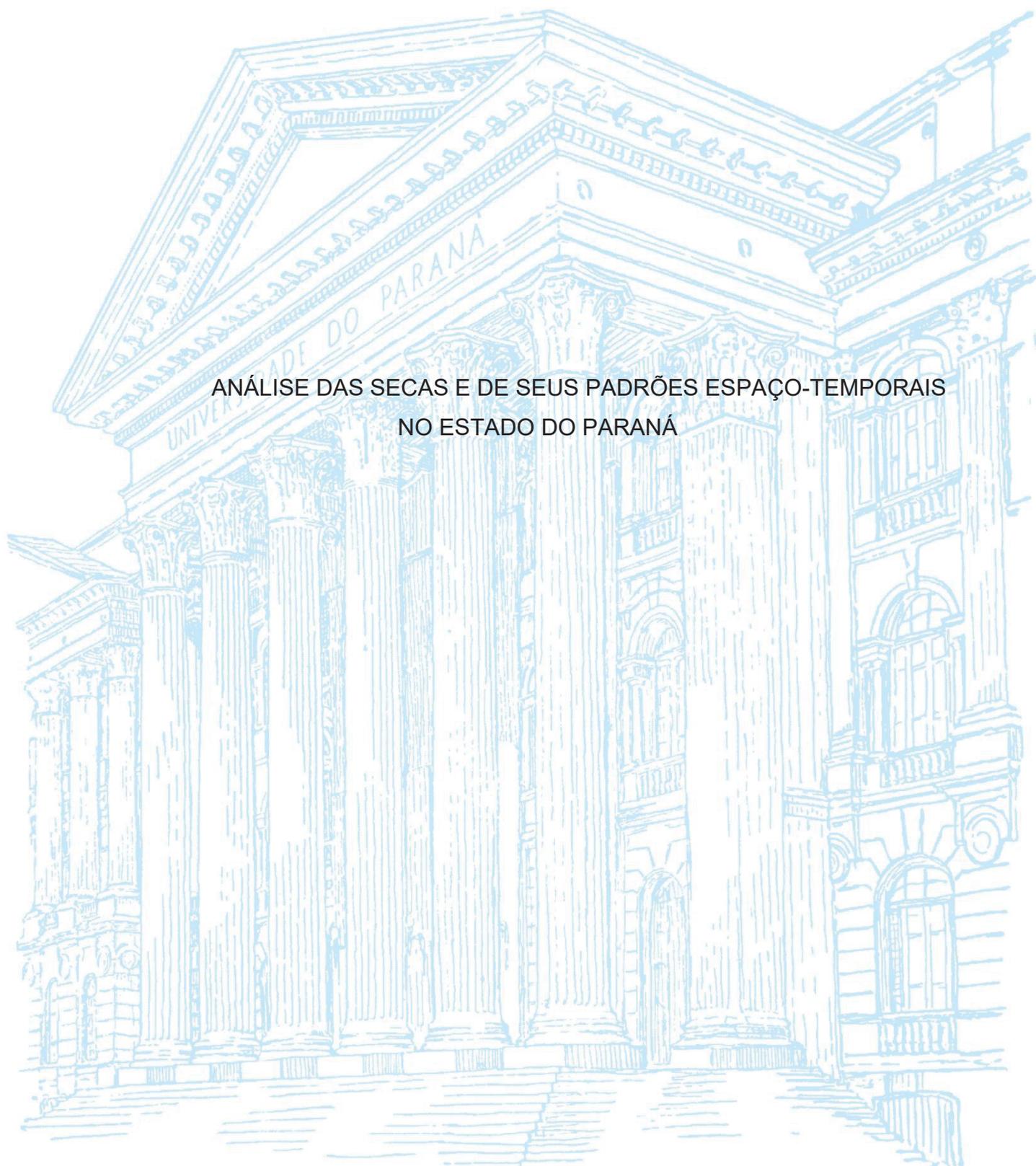


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GUILHERME GONZATTO

ANÁLISE DAS SECAS E DE SEUS PADRÕES ESPAÇO-TEMPORAIS
NO ESTADO DO PARANÁ



CURITIBA

2025

GUILHERME GONZATTO

ANÁLISE DAS SECAS E DE SEUS PADRÕES ESPAÇO-TEMPORAIS
NO ESTADO DO PARANÁ

Dissertação de Mestrado apresentada no Programa de Pós Graduação em Geografia, curso de Mestrado, Setor Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientação: Prof. Dr. Pedro Augusto Breda Fontão.

CURITIBA

2025

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Gonzatto, Guilherme

Análise das secas e de seus padrões espaço-temporais no estado do Paraná / Guilherme Gonzatto. – Curitiba, 2025.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Orientador: Pedro Augusto Breda Fontão

1. Climatologia. 2. Precipitação (Meteorologia) – Variabilidade. 3. Geoestatística. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Fontão, Pedro Augusto Breda. IV . Título.

Bibliotecário: Leticia Priscila Azevedo de Sousa CRB-9/2029



TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação GEOGRAFIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **GUILHERME GONZATTO**, intitulada: **ANÁLISE DAS SECAS E DE SEUS PADRÕES ESPAÇO-TEMPORAIS NO ESTADO DO PARANÁ**, sob orientação do Prof. Dr. PEDRO AUGUSTO BREDAS FONTÃO, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 17 de Fevereiro de 2025.

Assinatura Eletrônica 07/03/2025 15:57:09.0

PEDRO AUGUSTO BREDAS FONTÃO

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica 07/03/2025 15:45:05.0

WILSON FLÁVIO FELTRIM ROSEGHINI

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica 07/03/2025 16:08:54.0 **GABRIELA GOUDARD**

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ)

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, expresso minha profunda gratidão à Universidade Federal do Paraná (UFPR) por proporcionar uma educação pública, gratuita e de excelência ao longo de toda a minha trajetória acadêmica, desde a graduação até a conclusão desta etapa. Agradeço também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo apoio financeiro que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa, na forma de bolsa de mestrado.

Manifesto meus sinceros agradecimentos ao meu orientador, Prof. Dr. Pedro Augusto Breda Fontão, por sua dedicação incansável, paciência e acolhimento durante o processo de construção desta pesquisa. Reconheço que os desafios foram muitos, e sou imensamente grato por sua orientação. À equipe do LaboClima, em especial ao Prof. Dr. Wilson Flávio Feltrim Roseghini, registro meu agradecimento por apresentar a ciência climatológica ainda durante as aulas de graduação, despertando minha paixão pela área.

Por fim, agradeço com todo o carinho à minha família, especialmente ao meu irmão Mateus e à minha mãe Taihana, pelo apoio incondicional ao longo dessa jornada. Às minhas amigas Monique, Anne, Jaqueline e Luana, sou eternamente grato pelo incentivo emocional e pelo acolhimento que fizeram toda a diferença nesta caminhada.

“Educação não transforma o mundo. Educação muda as pessoas. Pessoas transformam o mundo”.

(Paulo Freire).

RESUMO

O Estado do Paraná, em função da sua localização meridional, apresenta um comportamento climático fortemente marcado pelas características transicionais entre os climas subtropical e tropical, o que propicia uma boa distribuição e intensidade pluviométrica durante todo o ano. Entretanto, nas últimas décadas, observa-se que episódios extremos relacionados às anomalias negativas de precipitação pluvial têm se tornado mais frequentes, como é o caso do evento de seca ocorrido entre os anos de 2020 e 2021, onde a diminuição no ritmo das chuvas provocou mudanças nas paisagens naturais de várias regiões do Estado, afetando, por exemplo, o sistema de abastecimento hídrico de Curitiba e entorno. Embora não sendo possível afirmar com exatidão as causas, nota-se que o aumento de temperatura na superfície terrestre pode ter se tornado uma das principais razões para o desencadeamento de tal fenômeno, alterando o comportamento da atmosfera e potencializando em escala regional. Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o padrão espaço-temporal de precipitação pluvial no Estado do Paraná, com ênfase nas secas ocorridas entre os anos de 1978 a 2022. Para a construção do trabalho, foram realizados levantamentos, compilação, tratamento e análise de dados pluviométricos através da seleção de estações meteorológicas que representem a dinâmica pluvial, com o intuito de analisar as distribuições das chuvas de forma temporal e espacial. Além disso, aplicou-se técnicas *geoestatísticas*, como a *krigagem*, para especializar os totais de chuva anuais da série histórica, como também o Índice de Precipitação Padronizada (SPI), nas escalas de 3, 6 e 12 meses, com o intuito de identificar os principais anos mais secos. Também foram analisadas tendências para a região, por meio do teste de *Mann-Kendall*, e cálculos de frequência na ocorrência das secas para o território. Como resultados obtidos, verificou-se que a variabilidade pluvial do Estado foi intensa durante toda a série histórica, com destaque para os eventos de seca em diversas regiões. Tais dados obtidos reforçam a necessidade de estratégias adaptativas e de políticas públicas para mitigar os possíveis impactos das secas no Paraná.

Palavras-Chave: Climatologia Geográfica; Eventos Extremos; Geoestatística; Índice de Precipitação Padronizada; Variabilidade Pluvial.

ABSTRACT

The state of Paraná, due to its southern location, exhibits a climatic behavior strongly marked by the transitional characteristics between subtropical and tropical climates, which promotes a good distribution and intensity of rainfall throughout the year. However, in recent decades, it has been observed that extreme events related to negative precipitation anomalies have become more frequent. An example is the drought event that occurred between 2020 and 2021, when the reduction in rainfall led to changes in the natural landscapes of several regions of the state, affecting, for instance, the water supply system of Curitiba and its surrounding areas. Although it is not possible to precisely determine the causes, it is noted that the increase in surface temperature may have become one of the main reasons for the triggering of such a phenomenon, altering atmospheric behavior and intensifying it on a regional scale. Thus, the present study aims to evaluate the spatiotemporal pattern of rainfall in the state of Paraná, with an emphasis on droughts that occurred between 1978 and 2022. For this purpose, surveys, compilation, processing, and analysis of rainfall data were carried out through the selection of meteorological stations representing rainfall dynamics, in order to analyze the distribution of rainfall temporally and spatially. In addition, geoestatistical techniques such as kriging were applied to specialize the annual rainfall totals of the historical series, as well as the Standardized Precipitation Index (SPI) at 3, 6, and 12-month scales, in order to identify the driest years. Trends for the region were also analyzed using the Mann-Kendall test, and the frequency of drought occurrences was calculated for the territory. The results showed that rainfall variability in the state was intense throughout the historical series, with a particular focus on drought events across various regions. These findings reinforce the need for adaptive strategies and public policies to mitigate the potential impacts of droughts in Paraná.

Keywords: Geographical Climatology; Extreme Events; Geoestatistics; Standardized Precipitation Index; Rainfall Variability.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: LOCALIZAÇÃO DO ESTADO DO PARANÁ.....	15
FIGURA 2: HOMOGENEIDADE PLUVIAL NO PARANÁ 1.....	35
FIGURA 3: HOMOGENEIDADE PLUVIAL NO PARANÁ 2.....	35
FIGURA 4: HOMOGENEIDADE PLUVIAL NO PARANÁ 3.....	36
FIGURA 5: HOMOGENEIDADE PLUVIAL NO PARANÁ 4.....	37
FIGURA 6: CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DO ESTADO DO PARANÁ.....	40
FIGURA 7: MAPA PLUVIOMÉTRICO DO PARANÁ.....	41
FIGURA 8: MASSAS DE AR DURANTE O VERÃO NO PARANÁ.....	42
FIGURA 9: MASSAS DE AR DURANTE O INVERNO NO PARANÁ.....	42
FIGURA 10: BACIAS HIDROGRÁFICAS DO PARANÁ.....	44
FIGURA 11: 494 POSTOS PLUVIOMÉTRICOS IDENTIFICADOS NO PARANÁ	45
FIGURA 12: POSTOS PLUVIOMÉTRICOS ATIVOS NO PARANÁ (1977-2022)	46
FIGURA 13: VALORES E CATEGORIAS DE SECA E/OU UMIDADE CONFORME O SPI.....	48
FIGURA 14: APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE KRIGAGEM.....	50
FIGURA 15: 46 POSTOS REPRESENTATIVOS DO PARANÁ.....	53
FIGURA 16: PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL PARA A SERIE HISTÓRICA ENTRE 1978-2022 DO PARANÁ.....	56
FIGURA 17: PRECIPITAÇÃO PLUVIAL TOTAL ANUAL NO PARANÁ EM 1983.....	61
FIGURA 18: PRECIPITAÇÃO PLUVIAL TOTAL ANUAL NO PARANÁ EM 1998.....	62
FIGURA 19: PRECIPITAÇÃO PLUVIAL TOTAL ANUAL NO PARANÁ EM 2015.....	63
FIGURA 20: PRECIPITAÇÃO PLUVIAL TOTAL ANUAL NO PARANÁ EM 1978.....	64
FIGURA 21: PRECIPITAÇÃO PLUVIAL TOTAL ANUAL NO PARANÁ EM 1985.....	65
FIGURA 22: PRECIPITAÇÃO PLUVIAL TOTAL ANUAL NO PARANÁ EM 2020.....	66

FIGURA 23: MÉDIA ANUAL DO SPI3 PARA A SÉRIE HISTÓRICA DE 1978-2022 DO PARANÁ.....	68
FIGURA 24: MÉDIA ANUAL DO SPI6 PARA A SÉRIE HISTÓRICA DE 1978-2022 DO PARANÁ.....	73
FIGURA 25: EVENTOS DE LA NIÑA E SUA INTENSIDADE ENTRE 1976-2019	78
FIGURA 26: MÉDIA ANUAL DO SPI12 PARA A SÉRIE HISTÓRICA DE 1978-2022 DO PARANÁ.....	79
FIGURA 27: APLICAÇÃO MENSAL DO SPI3 PARA O ANO DE 2019 NO PARANÁ.....	85
FIGURA 28: APLICAÇÃO MENSAL DO SPI12 PARA O ANO DE 2019 NO PARANÁ.....	86
FIGURA 29: EVOLUÇÃO DO RODÍZIO DE ÁGUA EM CURITIBA E RMC.....	88
FIGURA 30: APLICAÇÃO MENSAL DO SPI3 PARA O ANO DE 2020 NO PARANÁ.....	90
FIGURA 31: APLICAÇÃO MENSAL DO SPI12 PARA O ANO DE 2020 NO PARANÁ.....	91
FIGURA 32: NÍVEL DOS RESERVATÓRIO DE CURITIBA E RMC.....	92
FIGURA 33: APLICAÇÃO MENSAL DO SPI3 PARA O ANO DE 2021 NO PARANÁ.....	94
FIGURA 34: APLICAÇÃO MENSAL DO SPI12 PARA O ANO DE 2021 NO PARANÁ.....	95
FIGURA 35: APLICAÇÃO MENSAL DO SPI3 PARA O ANO DE 2022 NO PARANÁ.....	97
FIGURA 36: APLICAÇÃO MENSAL DO SPI12 PARA O ANO DE 2022 NO PARANÁ.....	98
FIGURA 37: FREQUÊNCIA MENSAL DE SECA ENTRE 1978-1988 NO PARANÁ.....	100
FIGURA 38: FREQUÊNCIA MENSAL DE SECA ENTRE 1989-1999 NO PARANÁ.....	102
FIGURA 39: FREQUÊNCIA MENSAL DE SECA ENTRE 2000-2010 NO PARANÁ.....	103

FIGURA 40: FREQUÊNCIA MENSAL DE SECA ENTRE 2011-2022 NO PARANÁ.....	105
FIGURA 41: FREQUÊNCIA TOTAL DE SECA ENTRE 1978-2022 NO PARANÁ.....	106
FIGURA 42: TENDÊNCIAS PLUVIAIS NO PARANÁ.....	108

TABELAS

TABELA 1: CLASSIFICAÇÃO DE SEVERIDADE DAS SECAS.....	47
TABELA 2: DESCRIÇÃO TEMPORAL DE CADA INTERVALO DO SPI.....	49
TABELA 3: POSTOS PLUVIOMÉTRICOS REPRESENTATIVOS DO PARANÁ.....	54

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS.....	19
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	19
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2. REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 VARIABILIDADE CLIMÁTICA E A INFLUÊNCIA DO EL NIÑO-OSCILAÇÃO SUL NO PARANÁ	19
2.2 OS DIFERENTES TIPOS DE SECA	22
2.3 MONITORAMENTO E ANÁLISE DAS SECAS NO BRASIL E NO MUNDO.....	28
2.4 A REPRESENTAÇÃO DA CHUVA NO ESTADO DO PARANÁ	32
3. METODOLOGIA	39
3.1 ASPECTOS FÍSICOS DA ÁREA DE ESTUDO	39
3.2 CRIAÇÃO, CORREÇÃO E ORGANIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS	44
3.3 APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO PADRONIZADA (SPI).....	46
3.4 MÉTODOS GEOESTATÍSTICOS	49
3.4.1 APLICAÇÃO DA KRIGAGEM E PRODUÇÃO CARTOGRÁFICA	49
3.4.2 CÁLCULO DE TENDÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL.....	50
3.5 CÁLCULO DE FREQUÊNCIA NA OCORRÊNCIA DAS SECAS	54
4. RESULTADOS	55
4.1 ANÁLISE DE PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL PARA O PARANÁ	55
4.1.1 PRINCIPAIS ANOS CHUVOSOS AO LONGO DA SÉRIE HISTÓRICA....	61
4.1.2 PRINCIPAIS ANOS SECOS AO LONGO DA SÉRIE HISTÓRICA	64
4.2 ANÁLISE DOS SPI 3, 6 E 12 MESES PARA O ESTADO DO PARANÁ....	67
4.3 A SECA DE 2019-2022 NO PARANÁ	84
4.4 ANÁLISE DA FREQUÊNCIA MENSAL DAS SECAS NO PARANÁ.....	100

4.5 ANÁLISE DE TENDÊNCIAS POR MEIO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS NO PARANÁ.....	108
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
6. REFERÊNCIAS.....	111
7. APÊNDICE A: MÉDIA ANUAL DO SPI1 PARA A SÉRIE HISTÓRICA DE 1978-2022 DO PARANÁ.....	124
8. APÊNDICE B: APLICAÇÃO MENSAL DO SPI6 ENTRE OS ANOS DE 2019-2022 NO PARANÁ.....	128
9. APÊNDICE C: APLICAÇÃO DO SPI 3, 6 E 12, RESPECTIVAMENTE, EM POSTOS PLUVIOMÉTRICOS REPRESENTATIVOS NO PARANÁ.....	131
10. APÊNDICE D: GRÁFICOS BOXPLOT DOS 46 POSTOS REPRESENTATIVOS.....	134
11. APÊNDICE E: VALORES DO Z-VALUE PARA ANÁLISE DE TENDÊNCIAS DE CHUVA NO PARANÁ.....	150

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, observa-se que as variações climáticas ocorridas em diferentes escalas, temporais e espaciais, trouxeram mudanças significativas nas paisagens naturais dos lugares, assim como no panorama pluvial desses ambientes. Tais mudanças repercutem não apenas no estado de equilíbrio dos sistemas, mas também na forma pela qual estes correspondem aos novos padrões e situações de extremidade. Como consequência, o reconhecimento das novas dinâmicas ambientais causadas pelas mudanças do clima tornou-se um dos desafios mais críticos e debatidos por pesquisadores (ANDRADE et al., 2014), de modo que a projeção de possíveis cenários climáticos capazes de prever o comportamento da atmosfera passou a ser uma tarefa mais que necessária na atualidade.

Seguindo as preocupações levantadas, o último relatório apresentado pelo *International Panel on Climate Change* (IPCC), órgão responsável por sintetizar e divulgar as informações sobre o clima no mundo, em sua sexta versão publicada em 2023 (AR6 Synthesis Report), estima mudanças na temperatura média global nas próximas décadas. No cenário mais otimista, espera-se que a temperatura aumente em torno de 1,5°C até 2040. Contudo, o cenário pessimista, que considera grandes emissões de CO₂ e efeitos irreversíveis para o meio ambiente numa forçante radiativa de 8,5 (W/m²), o SSP5 - 8.5, projeta um acréscimo significativo, podendo chegar a 5,7°C até 2100 (RIAHNI et al., 2017; USTA et al., 2022).

É evidente que o aumento da temperatura da superfície terrestre não implica apenas em transformações específicas na paisagem, mas também em reações em cadeia. Considera-se que o resultado da combinação dos elementos responsáveis por compor a paisagem, sejam eles físicos, antrópicos ou biológicos, agem uns sobre os outros, se reforçando e intensificando continuamente (BERTRAND, 2004). Nessa conjuntura, o clima desponta como um agente controlador dos processos e das dinâmicas que envolvem os elementos constituintes do geossistema (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Dentre os impactos citados pelo IPCC, pode-se prever outras atividades em potencial capazes de atingir (in) diretamente a sociedade, dentre elas estão

à elevação do nível do mar, degelo no ártico, desertificação, intensificação de ciclones tropicais e o aumento na ocorrência de eventos extremos relacionados à precipitação, especialmente os positivos, que tendem a aumentar na região Sudeste da América do Sul (IPCC, 2023). Além disso, o relatório constata um provável aumento na ocorrência e intensidade das secas em todo mundo. É estimado que tal fenômeno climático aumente em até 3 vezes nos próximos anos (IPCC, 2023; SILVA et al., 2024).

No contexto do Brasil, nota-se que a região Sul é reconhecida historicamente por chuvas frequentes e intensas durante todas as épocas do ano, sendo exposta, com maior frequência, a eventos extremos chuvosos do que eventos extremos secos (NIMER, 1989; ALTAMIRANO, 2010). Todavia, tal fato apresentado torna-se uma problemática a ser investigada, pois propicia a incidência de fenômenos naturais relacionados à excepcionalidade (GOUDARD e MENDONÇA, 2020). Logo, a análise da variabilidade das chuvas em diferentes escalas se torna algo extremamente importante para a sociedade, considerando toda a dinâmica acarretada para dentro do sistema climático (NERY e SIQUEIRA, 2020).

Assim como em toda a região Sul, o Estado do Paraná também se encontra nesse cenário (figura 1). Devido à sua localização geográfica, a macrorregião sofre ações de sistemas frontais e correntes perturbadas advindas de noroeste em direção ao sul, responsáveis por originar anualmente chuvas anuais regularmente distribuídas (CALLIARI e KLEIN, 1993; NERY, 2005). Para Nimer (1989), esse padrão de circulação atmosférica propicia a distribuição regular das chuvas, fazendo com que regiões menos favorecidas por determinados sistemas sejam recompensadas por outros em todos os períodos do ano.

FIGURA 1: LOCALIZAÇÃO DO ESTADO DO PARANÁ



Fonte: Gonzatto (2024).

Entretanto, na atual conjuntura, verifica-se que apesar do Estado ser reconhecido por médias pluviométricas elevadas, as precipitações excessivas, principalmente em estações como o verão, deram espaços a períodos extensos de estiagem e baixa precipitação. Como resultado, verificou-se o desenvolvimento de eventos extremos negativos, como no caso das secas meteorológicas que atingiram a região nos anos últimos anos, notadamente entre 2019 e 2021 (GRIMM et al., 2020; FERNANDES et al., 2021).

Como consequência da ocorrência do fenômeno climático das secas, prejuízos nos setores econômicos e sociais, como perdas no campo, desgaste prematuro de equipamentos em usinas hidroelétricas e crises de abastecimento hídrico, em quase todas as áreas, se tornaram uma realidade a ser combatida no Paraná (DERAL, 2019; SANEPAR, 2023). Logo, a investigação das anomalias negativas de precipitação, que se refletem em estiagens e secas, em diferentes escalas espaço-temporais, configura-se como sendo necessária para a elaboração de estratégias de mitigação e enfrentamento dos possíveis impactos socioespaciais.

Por se tratar de um fenômeno lento e prolongado, a seca difere-se dos demais riscos naturais que mais afetam a sociedade, haja vista que sua

repercussão resulta em suprimentos hídricos insuficientes para atender as demandas das atividades humanas e do meio ambiente (WILHITE e PULWARTY, 2017; MISHRA e SINGH, 2010). As secas meteorológicas despontam entre os principais tipos de seca existentes (hidrológica, agrícola ecológica e socioeconômica), pois representam uma “deficiência de precipitação, possivelmente combinada com o aumento da evapotranspiração potencial, abrangendo uma grande área e se estendendo por um longo período de tempo” (VAN LOON, 2015, p. 361).

Tendo em vista a recorrência destes episódios, o fenômeno das secas tem sido objeto de análise de diversos estudos que visam quantificar a severidade dos impactos e delinear um padrão de comportamento para a ocorrência desses eventos no espaço geográfico (SLEIMAN e SILVA, 2010; SANTOS et al., 2021; TERASSI et al., 2018; entre outros). Pode-se destacar, por exemplo, os eventos de seca ocorridos no Paraná em 2006, quando a escassez hídrica, prolongada pela falta de chuvas nos meses esperados para a região, especialmente o verão, impactou fortemente as atividades agrícolas, resultando em um cenário caótico agro-produtor de 80% de áreas afetadas (FERNANDES et al., 2021).

Outro episódio recente relacionado às secas no Paraná diz respeito à instabilidade no abastecimento hídrico ocorrido entre os anos de 2020 e 2021. Os déficits pluviométricos registrados afetaram todo o Estado, chegando a promover o colapso dos sistemas hídricos. Em Curitiba, capital do Estado, e região metropolitana, a falta de água ocasionou na interrupção de serviços de acesso e fornecimento de água (CARVALHO et al., 2021), de forma que medidas como o rodízio de água precisaram ser tomadas pelo governo para evitar a escassez do recurso hídrico para a população.

Diante dos fatos abordados, observa-se que embora os estudos climatológicos para o Paraná contemplem majoritariamente os extremos positivos de precipitação, haja vista que historicamente são os mais impactantes no Estado, as secas também vêm ganhando notoriedade devido aos episódios recentes registrados. Nesse sentido, a construção do presente trabalho baseia-se na hipótese de que: *“Devido às variações climáticas registradas nas últimas décadas, os padrões espaciais e temporais de precipitação no Estado do Paraná possivelmente sofreram alterações, resultando em uma nova distribuição*

espacial das anomalias negativas de precipitação, que podem causar estiagens e secas na região.” Assim, considerando a dinâmica pluvial e a elevada variabilidade das chuvas no Estado, e levando em conta as Mudanças Climáticas recentes, espera-se realizar uma análise do fenômeno das secas meteorológicas e de seus padrões espaciais, de modo a fornecer subsídios a gestão de riscos e a adaptação da sociedade mediante a intensificação das secas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho visa avaliar o padrão espaço-temporal de precipitação pluvial no Estado do Paraná, com ênfase nas secas ocorridas entre os anos de 1978 a 2022.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Analisar a variabilidade pluvial e os eventos extremos no Estado do Paraná;
- b) Avaliar as principais secas meteorológicas registradas no Estado nos últimos 45 anos;
- c) Verificar alterações nas distribuições de chuva associada às secas no período do estudo;
- d) Detectar as áreas mais suscetíveis para a ocorrência de escassez hídrica no território paranaense.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 VARIABILIDADE CLIMÁTICA E A INFLUÊNCIA DO EL NIÑO-OSCILAÇÃO SUL NO PARANÁ

Nas últimas décadas, nota-se que as alterações no clima têm levado muitos pesquisadores a discutir sobre a variabilidade do mesmo na superfície terrestre. Apesar do interesse mútuo dos cientistas a respeito desse objeto de estudo, Nunes e Lombardo (1995) esclarecem que a complexidade do sistema

climático em termos das variáveis intervenientes, de suas interações e das suas múltiplas escalas envolvidas levam a dificuldade em compreender todos os processos.

Conforme explicita Nascimento Junior (2017), a variabilidade não deve ser compreendida apenas por sua dimensão temporal, mas sim espaço-temporal, haja vista que seus processos se dão em ordem periódica e de ciclicidade no espaço geográfico. Para tanto, é necessário esclarecer que tais requisitos não são empregues na definição da Organização Meteorológica Mundial (OMM), ao inferir a variabilidade como uma “maneira pela qual os parâmetros climáticos variam no interior de um determinado período de registro, expressos através de desvio-padrão ou coeficiente de variação” (CONTI, 2005, p. 20).

Nota-se por meio dessa definição, o caráter estático e quantitativo do tempo meteorológico aos processos, de modo que exclui totalmente atributos antrópicos e/ou não naturais introduzidos dentro do sistema climático (MARTIN-VIDE, 2003 *apud* NASCIMENTO JUNIOR, 2017). Para Limberger (2016), a variabilidade consistiria em atributos dos fenômenos climáticos e meteorológicos, uma vez que qualquer alteração dentro do sistema acarretaria em outras modificações em cadeia, principalmente na interação entre os sistemas oceano-atmosfera.

Dessa forma, Armond (2018) afirma que as teleconexões e modos de variabilidade possuem grande interferência sobre a dinâmica climática e atmosférica sobre determinado ponto. Corroborando com essa análise, Silva e Silva (2012) demonstram a relevância dos estudos sobre teleconexões da atmosfera sobre as alterações nos padrões climáticos regionais, assim como pela contribuição para a compreensão da variabilidade climática.

O fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) exerce uma influência significativa no comportamento das chuvas na região Sul do Brasil (BORSATO, 2011), sendo o principal modulador da pluviosidade para a região (GOUDARD, 2023). Este modo de variabilidade é responsável pela variabilidade climática interanual, resultado da interação entre a anomalia da temperatura de superfície do mar e a pressão atmosférica no Oceano Pacífico Equatorial (TERASSI et al., 2018).

Na fase ativa do ENOS, o controle pluviométrico do fenômeno acaba desencadeando excedentes hídricos e/ou as secas sobre o Paraná, alterando

drasticamente o cenário das paisagens naturais (MELO, 1999). Em tempos de El Niño (EN), também conhecido como fase negativa da Oscilação Sul, os ventos alísios enfraquecem ou invertem sua direção, trazendo águas mais quentes para a costa sul-americana. Essa dinâmica inibe o processo de ressurgência, responsável por esfriar a superfície do oceano, e acaba intensificando o aquecimento das águas do Pacífico Oriental, contribuindo assim com o deslocamento da célula convectiva de Walker (BORSATO, 2011).

Por outro lado, em sua fase positiva da Oscilação Sul, conhecida como a La Niña (LN), ocorre o resfriamento das águas no Oceano Pacífico Equatorial. Esse processo está associado ao fortalecimento da Alta Subtropical do Pacífico Sul, que intensifica o transporte de águas superficiais frias para o Pacífico Equatorial Central-Oeste (FREIRE et al., 2011). Consequentemente, em anos de EN, espera-se chuvas acima da média na região Sul do país e abaixo na região Norte e Nordeste, enquanto em tempos de LN, nota-se o processo contrário, superávits nas porções superiores do território e déficits hídricos em regiões subtropicais (BORSATO et al., 2012).

No Estado do Paraná, observa-se que essas fases interferem nos padrões de precipitação pluvial nos diferentes períodos históricos, como demonstrados em diversos estudos realizados para a região. Ao analisar e mapear alguns períodos secos ocorridos no território paranaense entre 1977 e 2015, Salton e Lohmann (2020) concluíram que as secas severas e moderadas se dão mais frequentemente em condições de La Niña, enquanto que as menos intensas são registradas em situações de El Niño.

Já Nery e Siqueira (2020), ao proporem uma análise sobre a variabilidade pluvial, através da aplicação do índice de Anomalia de Chuva (IAC), associado ao fenômeno do ENOS, entre 1970 a 2015, constataram forte relação do fenômeno com o desencadeamento das chuvas para o Estado. Neste estudo, os autores observaram irregularidades na distribuição das chuvas na área, verificando que, durante os períodos de EN, ocorreram anomalias positivas de precipitação, ao passo que nas épocas de LN, as anomalias foram negativas.

O mesmo pode ser averiguado por Waltrick et al. (2011) ao direcionarem suas análises para estimar a erosividade das chuvas durante os eventos de La Niña e El Niño, onde perceberam alta na estimativa do potencial erosivo para o Estado em contextos de El Niño. Em trabalhos mais locais, nota-se também

parcialmente a influência do ENOS na distribuição das chuvas. Como por exemplo, no município de Pato Branco (PR), em que na fase positiva, ou seja, período de La Niña, o fenômeno climático contribuiu com a diminuição de precipitação em alguns meses do ano, ao mesmo tempo que em período de El Niño não se teve aumento expressivo das chuvas para o local (PRELA et al., 2004).

Esse comportamento pode ser observado no município de Campo Mourão (PR), conforme revelado por Calderon e Borsato (2017). Os pesquisadores constataram que o ENOS tem grande influência sobre as chuvas na região, uma vez que, durante os anos de LN, a distribuição da precipitação foi consistentemente irregular, afetando diretamente o balanço hídrico local. Além disso, a influência do ENOS é percebida em diferentes unidades de paisagem, como as de bacia hidrográfica. Andrade e Nery (2011) verificaram que a variabilidade interanual da bacia hidrográfica do rio Ivaí, com o aumento/diminuição do fluxo hídrico, é significativa em anos considerados excepcionais, explicados principalmente pela ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.

Entretanto, cabe ressaltar que embora haja forte correlação do fenômeno com a pluviosidade no Estado, nem sempre a relação de chuvas com o ENOS é comprovada. Ao investigarem a variabilidade da seca, por meio do índice *Standardized Precipitation Index* (SPI) em localidades da região Norte do território, e sua relação com o ENOS entre os anos de 1976 e 2015, Terassi et al. (2018) constataram baixas correlações entre as variáveis pluviométricas com o fenômeno. Diante desse cenário elucidado, torna-se fundamental realizar estudos aprofundados para compreender a relação entre as distribuições de chuva e o fenômeno ENOS para o Estado do Paraná, com o intuito de identificar padrões climáticos e desenvolver estratégias de mitigação para esses efeitos.

2.2 OS DIFERENTES TIPOS DE SECA

Os eventos climáticos extremos fazem parte da história humana e de sua consolidação no espaço geográfico, à medida que causam mudanças tanto no destino das populações quanto na migração pelos continentes, sendo assim um desafio para a saúde da espécie (MELO et al., 2018; WEILNHAMMER et al.,

2021). Tais alterações são capazes de modificar o comportamento humano, pois não ocorrem isoladamente em um lugar, são conectados com outros ambientes através do sistema global de interações atmosféricas (DIAS, 2014).

Para Flores e Gaudiano (2014), a origem desses fenômenos detém de explicações do meio físico e/ou do natural e podem ser relacionados as variabilidades climáticas ocorridas regionalmente ou até mesmo as mudanças do clima em diferentes partes do globo terrestre. Nesse sentido, os autores consideram que um evento extremo climático é:

[...] definido como a ocorrência de uma variável climática acima ou abaixo de um valor limite que está próximo dos extremos superiores ou inferiores da faixa de valores observados da variável; ou seja, quando um evento climático sai de sua ocorrência "normal" e atinge estados limites que o sistema não consegue suportar. Ao atingir esse limite, os eventos são considerados extremos e, em muitos casos, repercutem no sistema na forma de desastre (FLORES E GAUDIANO, 2014, p. 38).

Para Stephenson (2008), os eventos são promovidos por valores extremos de certas variáveis meteorológicas, como precipitação pluvial, velocidade do vento, temperatura, entre outras, nos quais dependendo de sua magnitude, duração e intensidade variam em relação ao seu impacto no espaço geográfico. Entretanto, nas últimas décadas, tal conceito (de evento extremo) têm sido atrelados com o de desastres naturais, uma vez que nem sempre um valor fora da média, também conhecido como *outlier*, pode causar danos à sociedade. De acordo com Otto (2016), para além dos valores estatísticos representados pelos *outliers*, é necessário incluir nas discussões os conceitos de vulnerabilidade e exposição para a análise dos eventos extremos devido à sua complexidade.

Na literatura, pode-se citar diversos tipos de eventos extremos, como inundações, secas, ciclones tropicais, geadas, ondas de calor, entre outros. As causas para o desencadeamento desses episódios ainda são incertas, porém acredita-se que nas últimas décadas o aparecimento de fenômenos excepcionais tem ocorrido com mais frequência em todo o mundo (SOUSA et al., 2016). Conforme ressalta Marengo (2009), os impactos ocasionados pelos eventos climáticos afetam diversos setores e serviços da sociedade, tais como a agricultura, saúde, desenvolvimento e planejamento urbano e gerenciamento de recursos hídricos.

Embora os episódios extremos provoquem danos e perdas materiais, seus impactos têm sido pouco difundidos a longo prazo, sendo fonte de interesse pela comunidade científica (XAVIER et al., 2014). Zhang et al. (2011) destacam que devido aos fortes impactos ambientais acometidos pela ocorrência desses fenômenos de seca, assim como seus efeitos no desenvolvimento socioeconômico dos lugares, o estudo desses eventos tem despertado interesse por vários pesquisadores em compreender a origem e evolução no território. Corroborando com isso Santos (2022), afirma que:

[...] a análise dos extremos climáticos nas últimas décadas tem atraído grande interesse da comunidade científica e até mesmo da sociedade civil por se tratar de eventos que podem acarretar enormes perdas e transtornos econômicos, impactando os sistemas naturais e humanos [...] (SANTOS, 2022, p. 1181).

Entre os episódios extremos de maior repercussão, a seca desponta como o desastre natural mais custoso para a sociedade, superando outros tipos de fenômenos mais conhecidos, como tsunamis, terremotos, furacões e inundações (MARENGO e ALVES, 2015). Um dos motivos para estes impactos está justamente pela anomalia se consolidar vagarosamente na paisagem e só aparecer nos estágios mais rigorosos e/ou finais (DIAS, 2014), proporcionando assim um desequilíbrio no meio ambiente. Apesar de ser um fenômeno conhecido pela humanidade, aspectos como duração, intensidade, gravidade e abrangência espacial demandam de tempo para a sua identificação e quantificação dos possíveis impactos promovidos pelo evento em questão (WILHITE e GLANTZ, 1985). Logo, são diversos os impactos das secas no espaço geográfico, conforme afirma Marengo (2009):

Os efeitos da seca estão devastando as atividades agrícolas e a geração hidrelétrica em áreas povoadas. Com a redução persistente da precipitação nessas áreas, os lagos secam, as vazões dos rios diminuem e o abastecimento de água potável é reduzido, dificultando as opções de conservação e esgotando as reservas de água potável (MARENGO, 2009, p. 2).

Ainda para Wilhite e Glantz (1985), por não haver uma definição clara e objetiva acerca da seca, que seja capaz de abranger toda a sua complexidade e relevância, é árduo o seu enfrentamento no espaço geográfico. Além da falta de compreensão do fenômeno, na literatura o conceito de seca é comumente confundido com o de estiagem, no qual é marcado pela precipitação pluvial

abaixo dos níveis habituais, afetando de forma adversa sistemas produtivos dependentes do uso da terra, serviços econômicos, ecossistemas e o bem-estar humano (BASSO e PIRAN, 2010; DAI, 2011).

Tecnicamente, Gutiérrez et al. (2014) esclarece que a estiagem está relacionada com o atraso periódico das chuvas ou a falta das mesmas para determinada época. Enquanto isso, a seca é caracterizada por uma estiagem prolongada, com uma redução de pluviosidade não prevista e que pode perdurar por um longo período. Embora fisicamente semelhantes, a estiagem é um fenômeno com curta duração, impactos adversos e sobretudo esperados, como no caso do semiárido nordestino (RIBEIRO, 1999). Logo, a forma crônica da estiagem é denominada de seca, que ao contrário da estiagem, refere-se as situações permanentes de déficit pluviométrico (SILVA et al., 2013).

Mishra e Singh (2010) destacam que entre os eventos meteorológicos extremos, as secas correspondem ao desenvolvimento mais lento, com maior tempo de duração e menor previsibilidade em relação há outros riscos atmosféricos, haja vista que não se iniciam e terminam de forma repentina (FREITAS, 1998). Por tratar-se de um evento multiescalar não existe uma definição de seca universalmente aceita entre a comunidade científica (HAILE et al., 2019), entretanto a partir dos diferentes impactos ocasionados nos sistemas socioambientais é possível classificar o fenômeno em 4 categorias distintas, sendo elas: secas agrícolas, secas meteorológicas, secas hidrológicas e secas socioeconômicas (WILHITE e GLANTZ, 1985).

Tais categorias se destacam dentro da percepção espacial dos impactos produzidos, como também da capacidade de análise e mitigação dos efeitos causados pelo déficit pluviométrico. Segundo Wilhite e Glantz (2019), existem diversas definições dos tipos de seca, contudo muitas não definem adequadamente o fenômeno em termos significativos para pesquisadores e/ou para a tomada de estratégias políticas visando o combate de seus impactos. Para fins de compreensão da anomalia extrema é importante diferenciar cada categoria citada, pois todas agem paralelamente, uma reforçando a outra, como também se manifestam de maneiras distintas no espaço geográfico, com maior ou menor repercussão.

O primeiro exemplo destacado no quadro das secas é a socioeconômica, que está associada diretamente as necessidades humanas, uma vez que a falta

de água inibe o atendimento básico e produtivo da sociedade. Herrmann e Hutchinson (2006) esclarecem que tal seca é um reflexo acumulativo dos outros tipos (hidrológica, meteorológica e agrícola) sobre o gerenciamento dos sistemas sociais e econômicos, afetando a disponibilidade de oferta e demanda dos serviços. Tais recursos afetam distintamente os múltiplos setores, fazendo com que diferentes serviços sejam comprometidos em maiores/menores intensidades ou até mesmo saindo ilesos pelos impactos transmitidos pelo fenômeno (WLOSTOWSKI, 2022).

No caso da seca agrícola, geralmente refere-se a um período de declínio na umidade do solo, sem fazer menção aos recursos hídricos superficiais (MISHRA e SINGH, 2010). Contudo, as combinações entre as secas meteorológicas e hidrológicas repercutem diretamente na agricultura (FERNANDES et al., 2009), visto que o declínio da umidade do solo depende tanto de fatores meteorológicos quanto hidrológicos. Conseqüentemente, um solo seco e desprovido de vida ocasiona prejuízos econômicos para o setor agrícola. Dessa forma, uma definição operacional desse tipo de seca deve destacar a suscetibilidade das culturas em diferentes fases de crescimento (WILHITE e GLANTZ, 1985).

Por sua vez, a hidrológica está relacionada a falta de água no sistema hidrológico, cujos recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, são afetados em nível de disponibilidade (MISHRA e SINGH, 2010). Essa situação normalmente surge após um longo período de seca meteorológica, exigindo uma sequência prolongada de baixa precipitação para que ocorram problemas na reposição dos reservatórios (PIRES, 2003). Nesse sentido, Van Lonn (2015) destaca o risco das secas hidrológicas ao declarar que tal categoria tem um intervalo temporal longo, variando de meses até anos, com impactos devastadores nos sistemas ecológicos e nos setores produtivos da sociedade.

Por fim, as secas meteorológicas despontam como a mais importante entre todas as categorias já apresentadas. É a partir dos baixos índices de precipitação que ocorrem problemas relacionados com a disponibilidade hídrica (seca hidrológica) para consumo e produção de alimentos (seca agrícola) a sociedade (WANG et al. 2016). Contudo, é importante observar que embora as secas se distinguem em termos conceituais e fatores de ocorrência, os impactos causados pelas mesmas podem ser observados a curto ou longo prazo,

especialmente no caso das hidrológicas e meteorológicas, onde sua manifestação no espaço geográfico não ocorre concomitantemente. Neste aspecto, Van Loon (2015), destaca que:

Quando o tempo de resposta de uma bacia é muito longo, os tempos de defasagem entre a seca meteorológica e a seca hidrológica também são muito longos, o que pode fazer com que uma seca hidrológica ocorra em uma estação diferente da seca meteorológica que a está causando (VAN LOON, 2015, p. 367).

Segundo Blain e Brunini (2007, p. 256), as secas meteorológicas podem ser retratadas “quando o valor de chuva acumulado em um período e em uma área se encontra significativamente abaixo do valor climatologicamente esperado”. Ou seja, quando ocorre uma deficiência de chuva em relação à estatística multi-média anual de determinado lugar (Schneider, 1996). Enquanto isso, para Mishra e Singh (2010, p. 206), as secas meteorológicas correspondem a falta de precipitação em uma região por um período de tempo”, partindo do desequilíbrio entre as variáveis de evaporação e precipitação característicos de um local.

Cabe destacar que tais secas devem ser consideradas específicas de acordo com cada região, em virtude das condições pluviais variarem consideravelmente de ambiente para ambiente (FERNANDES et al., 2009). Embora as categorias de seca destacadas sejam amplamente pesquisadas, existem outros tipos de classificações utilizadas por pesquisadores para investigar seus objetos de estudo, assim como seus possíveis impactos. Uma categoria de seca emergente nos debates científicos propostos nos últimos anos é a da ecológica, sendo esta amplamente destacada nos estudos de Slette et al. (2019), Bradford et al. (2020), entre outros.

Além de considerar os fatores humanos e naturais do espaço, Crausbay et al. (2017) resgata os preceitos de vulnerabilidade como um dos alicerces para dimensão do fenômeno, tornando-a conceitualmente “como um déficit episódico na disponibilidade de água que leva os ecossistemas além dos limiares de vulnerabilidade, impacta os serviços ecossistêmicos e aciona retroalimentações em sistemas naturais e/ou humanos” (p. 2544).

Diante ainda das considerações expostas pelos mesmos autores, a vulnerabilidade à seca ecológica é determinada pela exposição e mitigação do

indivíduo e/ou comunidade ecológica em relação a diminuição da disponibilidade hídrica em determinado lugar. É associada especialmente ao processo de expansão populacional e alterações climáticas antropogênicas que fomentam a atividade natural dos ecossistemas. Wilhite (2003) atenta que apesar de identificar a existência de pelo menos quatro tipos de secas, todas essas estão relacionadas com o déficit de precipitação e por consequência, a interrupção das atividades naturais do ambiente e/ou na dos seres humanos.

A partir do entendimento do fenômeno das secas é possível discutir a capacidade de enfrentamento da anomalia frente as necessidades da sociedade em lidar com os seus efeitos no território. É neste contexto que a próxima seção trará pesquisas (nacionais e internacionais) relacionadas a análise das secas no espaço geográfico, assim como a utilização de técnicas de monitoramento e mitigação dos possíveis impactos causados pela anomalia climática em estudo.

2.3 MONITORAMENTO E ANÁLISE DAS SECAS NO BRASIL E NO MUNDO

Conforme Faye (2022), o Índice Padronizado de Precipitação (SPI) é o indicador de seca meteorológica mais utilizado no mundo, ao modo que o interesse empregue sobre tal técnica de monitoramento se dá justamente pela sua análise probabilística. Tais características conferem uma vantagem em relação aos outros tipos de indicadores de seca, especialmente em termos de análise de risco e tomadas de decisão (OJHA et al., 2021). Por tratar-se de um método amplamente divulgado, sua utilização é visualizada numa série de artigos, teses e pesquisas acadêmicas direcionadas ao estudo do fenômeno climático, como as de Terassi et al. (2018), Carmo e Lima (2020) e Fontão et al. (2022).

A nível global, observa-se que a inserção de técnicas para o monitoramento das secas tem sido aplicada em diversos setores. Por exemplo, Quiring (2009) demonstrou nos Estados Unidos a eficácia do Índice de Precipitação Padronizada (SPI) e do decis/percentis como métodos mais adequados para medir e monitorar os déficits pluviométricos num longo período de tempo. No Canadá, Masud et al. (2015) avaliaram o impacto das secas meteorológicas e de suas características espaciais e temporais (1961-2003) na

bacia do rio Saskatchewan. Como resultado, os autores constataram que a severidade das secas tem ligação direta com sua duração no espaço geográfico e a através dos indicadores identificaram as áreas que mais sofreram com os efeitos da anomalia para adoção de políticas públicas.

Já na China, Li et al. (2020) elucidam as características da seca entre os anos de 1980 a 2015, a partir de indicadores como o SPI e SPEI, onde comprovaram que em episódios de seca mais severa, ambos os índices detectam a ocorrência do fenômeno. Entretanto, o SPI acaba sendo mais sensível em relação a identificação de cenários menos graves, abarcando em até 30% de casos a mais que os SPEI. Outro exemplo aplicando o SPI para o monitoramento de secas foi em Bangladesh, sul da Ásia, em que Rahman e Lateh (2016) mostraram que durante o período de estudo (1971-2010) as secas moderadas ocorreram com mais frequência do que as secas severas e extremas, sobretudo nas regiões norte, noroeste, oeste e sudoeste do país.

Na literatura brasileira, mostra-se que os estudos das secas estão cada vez mais frequentes nas análises da Climatologia Geográfica (FREITAS, 1998; BLAIN e BRUNINI, 2007; FONTÃO, 2018; MARTINS et al., 2023; entre outros), especialmente na região Sul, onde existem episódios de seca relacionados às interações oceano-atmosféricas ou aos modos de variabilidade oceano-atmosféricas, como a La Niña (FERNANDES et al., 2021).

Contudo, Fernandes et al. (2021) aponta que embora haja indícios de secas meteorológicas nessa porção, ainda são poucos os estudos voltados para a análise dos eventos. Uma das causas possíveis desse embate se deve ao fato que, historicamente, as regiões Norte e Nordeste do Brasil sofreram fortemente impactos relacionados as secas em seus territórios (ALPINO et al., 2014). Logo, isso resultou em inúmeros trabalhos voltados a tentativa de analisar os episódios, bem como mitigar as implicações para o desenvolvimento nessas áreas.

Através desta prerrogativa, percebe-se diversas contribuições científicas a respeito de secas meteorológicas nesses locais, como a de Freitas (1998) e suas ponderações sobre o monitoramento das secas em regiões semiáridas ou a de Martins e Magalhães (2015). Os autores realizaram uma descrição da seca plurianual enfrentada pela região Nordeste entre os anos de 2012 e 2015, a partir dos impactos transmitidos por diversos setores. Corroborando com esse último

estudo, Marengo et al. (2016) identificaram alterações na circulação atmosférica e de precipitação ao longo do mesmo período, o que pode ter contribuído para a severidade da seca no semiárido nordestino.

Além disso, estudos mais detalhados evidenciaram os cenários destacados para a região, como o de Silva et al. (2020) em que caracterizaram os eventos extremos positivos e negativos de chuva para a parte Leste do Nordeste. Mediante a utilização do SPI, revelou-se permanência de secas leves e moderadas em detrimento das condições de excesso de chuvas para as mesmas cidades. Referente há outras contribuições para a área, Fachine (2015) propôs avaliar a ocorrência de secas meteorológicas entre os anos de 1977-2012 na zona metropolitana de Fortaleza, por meio do Índice de Precipitação Padronizado (SPI). Como conclusão, o autor constatou a severidade da anomalia climática principalmente nos anos de 1983, 1993 e 1997 e reafirmou a relevância do quantificador SPI para identificar o cenário de escassez pluviométrica para a área de estudo.

Episódios de seca também foram registrados na região norte do Brasil, como os identificados por Alves et al. (2013) nos anos de 1964, 1970, 1982, 1998 e 2005, além dos relatados por Marengo et al. (2024) no período de 2023 e 2024. Esta última seca destacou-se como uma das mais graves da história, causando perda de biodiversidade devido às queimadas no território, além da redução nos níveis dos rios, ocasionada pela escassez de chuvas. Em sua análise climatológica, Marengo e Santos (2013) confirmaram a existência de pelo menos 3 episódios extremos ocorridos na Amazônia nos intervalos destacados - 1998, 2005 e 2010 – e revelaram que todos os fenômenos foram desencadeados pelos padrões de atmosfera em larga escala, forçados pelas anomalias de TSM, como o El Niño, desenvolvidas nos oceanos do Pacífico Equatorial, Atlântico Tropical Norte e o Dipolo do Atlântico Tropical.

Outros trabalhos semelhantes puderam ser observados para região, como o de Santos et al. (2017), no qual utilizaram o método do SPI para identificar e caracterizar os episódios de secas ocorridos entre os 1974 e 2019. Dessa forma, os autores conseguiriam avaliar que o ano de 1998 foi o mais seco da história, com uma permanência maior de desvios acima de -1,5 durante os meses, atingindo principalmente o norte da área. Enquanto isso, as porções sul e leste foram as mais afetadas nas secas de 2005 e 2010. Essa metodologia

também foi incorporada nas discussões de Santos et al. (2017), em relação a frequência de tempos secos e úmidos na Amazônia em 35 anos (1979-2014), no qual a partir dos dados sugeridos concluíram que as frequências de eventos extremos de seca foram superiores as condições de excesso de chuvas.

Na região Sudeste do país, constatou-se que nos últimos anos o quadro de secas meteorológicas se tornou uma realidade a ser combatida pela sociedade e seus gestores. Conforme Coelho et al. (2016), tal região vem sofrendo com déficit pluviométrico desde 1990 e que os casos de seca têm se demonstrado cada vez mais frequentes, como o episódio desencadeado no verão de 2013/2014. Como resultado, a falta de chuva levou o estado de São Paulo há um verdadeiro colapso em seu abastecimento hídrico (FONTÃO, 2018).

Sobre esse episódio, Marengo et al. (2015) revelaram um conjunto de mecanismos, físicos e sociais que possibilitaram o desenvolvimento da crise hídrica, como a atuação de um forte sistema de alta pressão. Tal quadro impediu o transporte de umidade advindo da Amazônia e a entrada de sistemas atmosféricos, como também o crescimento em relação a demanda de água e a falta de gerenciamento do recurso hídrico em questão.

Por outro lado, na região Sul, embora os aspectos geográficos propiciem uma boa destruição de chuvas, pesquisas como a de Pessini et al. (2007) revelaram que entre 1975 e 2010, as condições de tempo seco foram registradas 1979, 1988-1989, 2004 e 2006. Esses resultados foram obtidos a partir de análises do SPI, que permitiu avaliar a intensidade, duração e frequência de períodos de seca, evidenciando a variabilidade climática da região. Outro trabalho semelhante utilizando o mesmo método para a área foi incorporado por Fernandes et al., (2021), onde constatou que os eventos de secas mais severos ocorreram entre os anos de 2012 e 2013 nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, enquanto no ano de 2006 tais episódios atingiram o Paraná.

Nessa perspectiva, nota-se que são diversos os trabalhos que exploram a temática das secas no Brasil, tendo em vista que esse fenômeno impacta múltiplos setores da sociedade, como social, cultural, econômico e político. Apesar de ocorrerem comumente em outras porções no território, como observados nos exemplos citados logo acima, eventos como esses também transcorrem em áreas que historicamente são marcadas pela precipitação pluvial

abundante, entretanto, vem registrando episódios de seca significativas no espaço. Nesse sentido, o próximo capítulo irá elucidar a dinâmica das chuvas no Estado do Paraná, com o intuito de evidenciar os padrões pluviais e enfatizar o fenômeno da seca para dentro das discussões.

2.4 A REPRESENTAÇÃO DA CHUVA NO ESTADO DO PARANÁ

Como dito anteriormente, o padrão pluvial característico do Estado do Paraná é constituído por suas chuvas abundantes e frequentes durante todas as épocas do ano, tendo suas chuvas concentradas especialmente em épocas como o verão (janeiro e fevereiro). Esse aporte de umidade e temperatura, associados aos padrões de circulação atmosférica, propiciam a ocorrência de chuvas, enquanto os períodos mais secos situam-se no inverno, entre os meses de julho e agosto (SAMPAIO et al., 2007; MINUZZI e CARAMORI, 2011; entre outros).

No Estado, conforme aponta Nimer (1989), o regime de chuvas anual apresenta características semelhantes às das regiões Centro-Oeste e Sudeste, apesar de não ser estritamente tropical. O período mais chuvoso ocorre durante o verão, com os máximos geralmente concentrados entre novembro e janeiro na parte oeste do estado, e entre dezembro e fevereiro na parte leste. Já o período mais seco se dá entre o final do outono e o inverno. Além disso, esse padrão climático é influenciado pela maior ocorrência de frentes polares estacionárias sobre o estado nessa época, além das chuvas de convergência associadas às correntes de oeste e às linhas de instabilidade, típicas do verão (NIMER, 1989).

Para Nogarolli (2007), as chuvas no território paranaense sofreram alterações nas últimas décadas. Em locais onde o volume de chuvas acumulados já é maior, como por exemplo, no litoral, a tendência aponta um aumento na média, enquanto regiões mais escassas de pluviosidade, como o norte, é registrado uma redução. Se tratando de tal contexto, Sampaio et al. (2007) indica que em termos de aumento de precipitação pluviométrica no espaço geográfico, o Paraná possui uma tendência de intensificação na direção leste, comprovada pelos estudos de Nery et al. (1996) ao caracterizar o regime pluvial para a região, conforme apontado a seguir:

A precipitação no Estado do Paraná, está caracterizada por dois regimes muito bem marcados. Nas regiões nordeste, leste e sudeste, há uma estrutura de máximos no verão, ocorrendo as médias mais elevadas em janeiro, sendo que pode-se dividir o regime destas regiões em dois sub regimes, com maior precipitação na região leste e menor nas regiões nordeste e sudeste. Nas regiões oeste e central ocorre precipitação com distribuição mais uniforme ao longo do ano (p. 88).

Contudo, apesar do cenário apresentado ser otimista, isso não impede que episódios de seca sejam frequentemente observados no território. Para tanto, tal temática tem sido alvo de inúmeros trabalhos produzidos para a região, como apresentados nas contribuições de Ely e Dubreuil (2017), Gebert et al. (2018), Mello e Sampaio (2019), Salton et al. (2021), entre outros. Para a maioria dos autores, compreender a dinâmica espacial das chuvas é de extrema importância, pois para além dos padrões habituais, existe a ocorrência de eventos extremos de precipitações pluviais que podem causar grandes impactos no espaço geográfico.

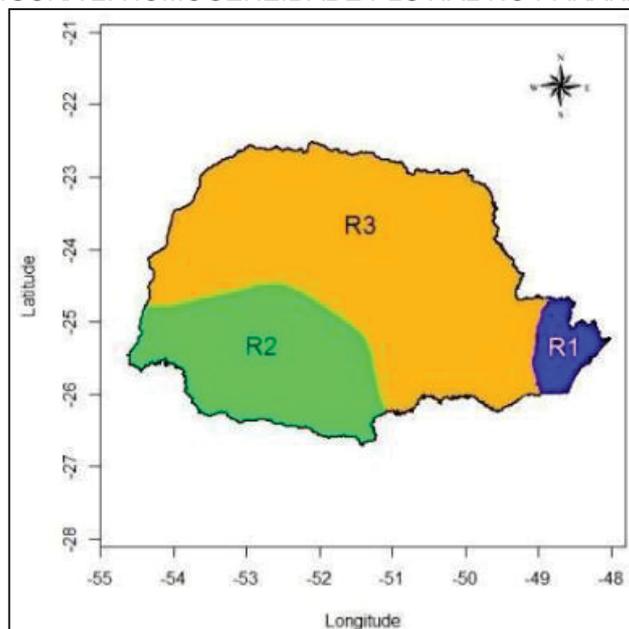
Partindo dessa perspectiva, Salton et al. (2021) revelam que compreender tais fenômenos possibilita estabelecer a segurança hídrica no território, assim como proporcionar alternativas para mitigar tais efeitos. Em seu trabalho, os autores procuraram analisar climatologicamente os episódios de seca no Paraná, através da interpolação dos dados de chuva, durante os anos de 1977 a 2015. Os resultados apontaram um aumento em termos de duração da anomalia de seca, porém uma diminuição no quadro de ocorrências ao longo da série, sendo a região noroeste com maior número de registros. Tal procedimento também pode ser adotado nas análises de Mangili (2021) para o Estado, no qual identificou que a parte litorânea mantém precipitações superiores que as outras regiões, sazonalmente e anualmente, e conforme adentrando o continente tais padrões se invertem.

Ao propor técnicas de representação e análise do espaço, a autora ainda observou que os anos de 1978, 1985, 1988, 1999, 2006 e 2012 foram os anos mais secos da história identificados pela autora, enquanto o restante se manteve entres os *status* de chuvoso ou habitual. Se tratando das épocas que ocorrem maiores/menores intervalos de chuvas, o verão é a estação com maiores acumulados de precipitação no território paranaense, já o inverno apresenta menores acumulados em praticamente todas as áreas, com exceção do litoral em que os padrões pluviais não condizem com as demais zonas.

Para Mello e Sampaio (2019), o motivo pelo qual a região mais próxima ao litoral não corresponder aos padrões esperados está justamente na dificuldade em se obter informações devido as barreiras naturais e aos padrões de circulação atmosférica variados, acentuando inclusive as técnicas de interpolação de dados para tais lugares.

Na tentativa de estabelecer conexões entre os padrões espaciais de chuva para o Paraná (figura 2), Gebert et al. (2018) também concluiu que os maiores volumes médios de chuvas ocorreram nas porções litorânea e sudeste do Estado, em contrapartida os menores volumes foram encontrados nas áreas mais próximas ao norte. Ao tentar determinar os padrões de homogeneidade para a área utilizando métodos de geoestatística de agrupamentos, os autores reconheceram 3 regiões principais: R1: leste; R2: sudoeste; e R3: o restante do território, apresentando o mês de agosto como o mais seco. Contudo, houve uma divergência em relação ao período mais chuvoso, sendo o mês de janeiro para o R1 e R3 e o mês de outubro para o R2.

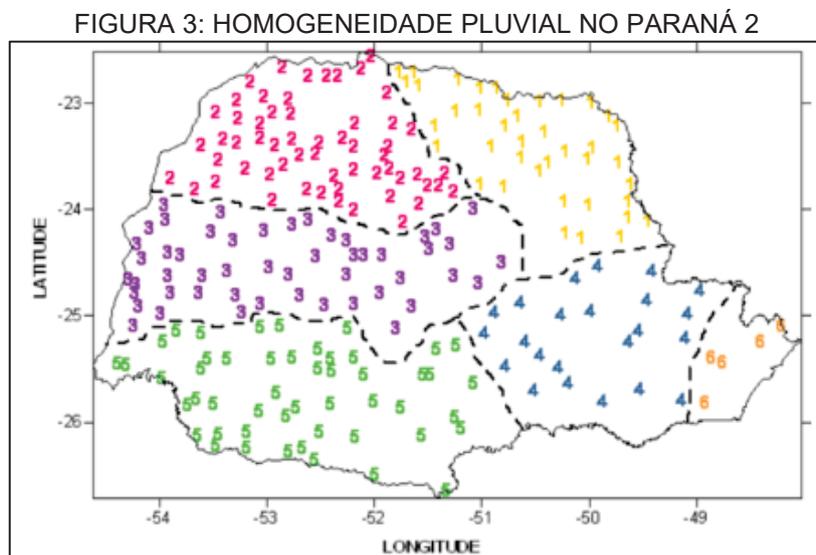
FIGURA 2: HOMOGENEIDADE PLUVIAL NO PARANÁ 1



Fonte: Gebert et al. (2018).

Tal observação se mostrou semelhante ao comparar com as análises de Pansera et al. (2015) para a área. Com o intuito de avaliar metodologias multivariadas de agrupamentos, os autores distinguiram 6 regiões homogêneas conforme os dados de precipitação mensal. Ao comparar com as observações

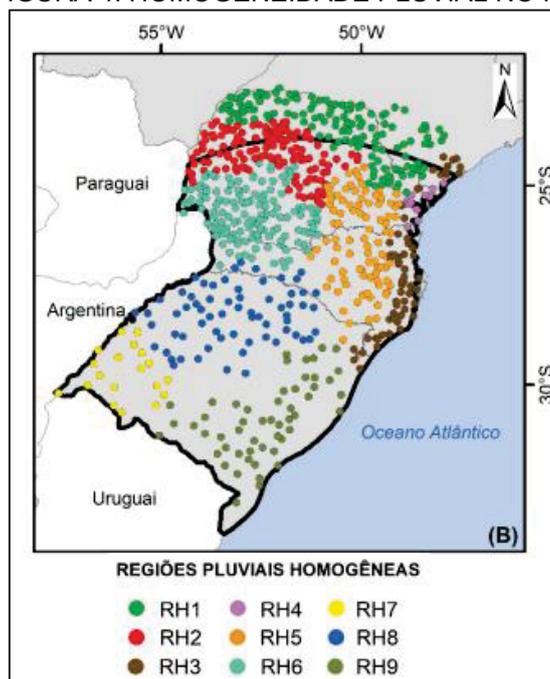
de Gebert et al. (2018), nota-se uma similaridade entre os agrupamentos R1 e R2, enquanto os demais se destoam devido a diferenças de técnicas e quantidade de dados fornecidos para as averiguações.



Fonte: Pansera et al. (2018).

No entanto, se observa que as formas de agrupamentos apresentadas por Pansera et al. (2015) se assemelham com as apresentadas por Goudard (2023) em sua tese (figura 4). De acordo com a autora, o Paraná apresenta 6 zonas de homogeneidade pluviométrica no clima subtropical brasileiro, distribuídas entre as porções norte (RH1), noroeste (RH2), litoral (RH3 e RH4), centro-leste (RH5) e sudoeste (RH6). Essas regiões se distinguem em termos de precipitação pluviométrica mensal e sazonal devido há diversos fatores geográficos pelos quais acabam condicionando as atividades climatológicas/meteorológicas.

FIGURA 4: HOMOGENEIDADE PLUVIAL NO PARANÁ 3



Fonte: GOUDARD (2023). Adaptação do autor (2024).

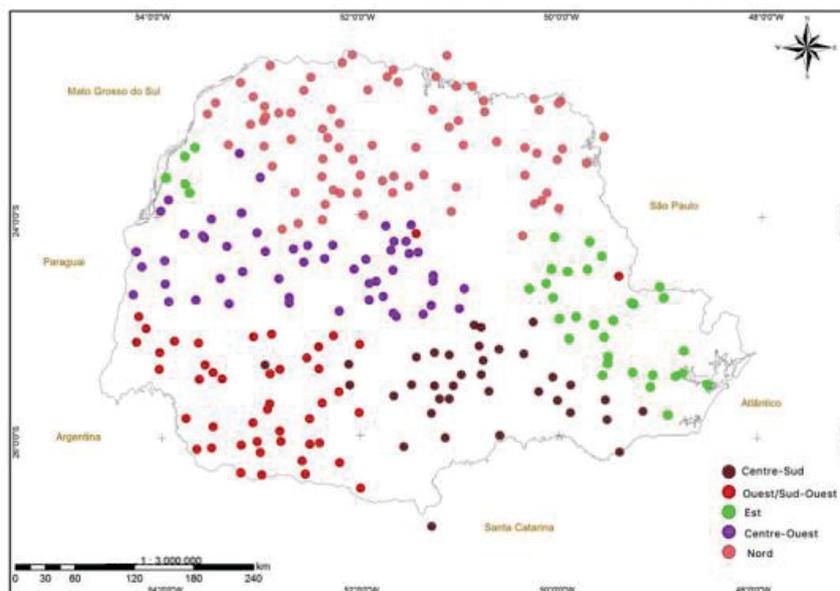
Segundo as análises da autora, a RH4 configura-se como sendo a região com maiores médias de chuvas, especialmente nos meses que compõem o verão, isto é, dezembro, janeiro e fevereiro, onde o aporte pluvial acaba se destacando em relação as outras áreas do Estado. É possível destacar também que juntamente a RH4, a zona RH3 e RH6 estão entre as áreas mais chuvosas do recorte espacial destacado, o que colabora com o panorama pluvial estabelecido para tais porções.

A fim de corroborar com os estudos já citados, ainda se pode destacar o trabalho de Fritzsos et al. (2011) ao tentarem identificar zonas pluviométricas homogêneas no Paraná por meio da análise de 469 estações, entre os anos de 1977 a 2006. Através do método de agrupamentos, os autores detectaram 14 subgrupos distribuídos em 3 grandes grupos principais, sendo caracterizados das seguintes formas: a) “estiagem” no inverno, detendo-se na região mais ao norte do território; b) precipitação uniforme durante todo o ano, localizados nas zonas leste e sudoeste; c) intermediário, concentrados na porção sul-sudeste e central do Estado.

Um trabalho semelhante realizado por Limberger e Ely (2019), representado na figura 5, utilizou-se das técnicas de agrupamento para analisar

a variabilidade das chuvas no Paraná associadas as anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM), por meio de 330 postos pluviométricos recobrimdo todo o Estado. Como respostas, as pesquisadoras constataram a presença de 5 regiões homogêneas de precipitação (centro-sul, oeste-sudeste, leste, centro-oeste e norte), sendo estas fortemente marcadas pelos modos de variabilidade de TSM pertencentes ao Pacífico Equatorial e Atlântico Norte, resultando na alteração do regime de chuvas nessas áreas.

FIGURA 5: HOMOGENEIDADE PLUVIAL NO PARANÁ 4



Fonte: Limberger e Ely (2019).

Em concordância com preposições destacadas acima, Ely (2019) estudou a distribuição pluviométrica em escala sazonal e mensal na área de estudo, a partir de métodos geoestatísticos, como de correlação linear, Mann-Kendall e dos mínimos quadrados ordinários, e procurou uma possível correlação das chuvas com os fenômenos produzidos pelo TSM durante os anos de 1977 a 2016. Dessa forma, a autora classificou sua série histórica em 2 períodos distintos, em termos de precipitação anual, sendo os “Períodos Secos” equivalentes aos anos de 1977 a 1981 e 1999 a 2012 e os “Períodos Úmidos” compatíveis aos anos de 1982 a 1998 e uma possível tendência em 2013 adiante. Além disso, os testes indicaram que:

O verão apresenta tendências de aumento da precipitação numa faixa que se estende da mesorregião metropolitana em direção ao sudeste até o noroeste do estado. O inverno demonstra aumento das

precipitações nas mesorregiões metropolitana, centro-oriental, norte pioneiro, norte central, noroeste e centro-oriental. Assim como a primavera registra tendência positiva nas mesorregiões metropolitana, centro-ocidental, norte pioneiro e sudeste. Enquanto que para o outono não são verificadas tendências positivas e negativas significativas (p. 101).

Nessa perspectiva, nota-se que os padrões de precipitação no Estado do Paraná são variados, tendo em vista que a região pertence há um sistema climático transitório entre o clima tropical e subtropical (NERY e SIQUEIRA, 2020). Conseqüentemente, os sistemas de circulação atmosférica responsáveis por originar as chuvas, associados as barreiras físicas e a dinâmica própria do relevo acabam condicionando diferentes volumes pluviais mensais, anuais e sazonais no espaço geográfico.

A fim de encaminhar os procedimentos adotados na presente pesquisa, é necessário dar enfoque aos principais eventos de seca ocorridos no Paraná nas últimas décadas considerando todo aporte teórico levantado até o presente momento. No primeiro balanço, Pinto et al. (2023) destacaram que o mês de agosto apresenta a maior frequência em relação a ocorrência de secas, agindo em concordância com a estação do ano mais afetada pelo fenômeno, ou seja, o inverno, seguidos pelo outono, primavera e verão. Em termos espaciais, os pesquisadores constataram que a região noroeste é a mais suscetível a seca, enquanto as porções norte, sul, sudoeste e a zona costeira, respectivamente, apresentaram menores incidências.

Em relação aos episódios de seca mais expressivos no Estado, Ferreira (2007) destaca um aumento no número de estiagens da década de 1970 para a de 2000, especialmente entre 2001 e 2004, onde o Paraná registrou diversos episódios num pequeno espaço de tempo. Pode se destacar também, por exemplo, os eventos de 2006 e 2020, em grande parte do território se manteve em condições de seca severa ou extrema (GRIMM et al., 2020; FERNANDES et al., 2021; GOMES et al., 2021).

Segundo Fernandes et al. (2021), dentro do período histórico analisado (1998-2020), os autores constataram que, através do quantificador de seca SPI, o Paraná iniciou o pior quadro de seca já registrado, no qual se estendeu do mês de abril até dezembro do mesmo ano. Como consequência da aparição e

desenvolvimento desse evento extremo, diversas áreas registraram impactos econômicos negativos, especialmente no setor agrícola.

Enquanto isso, em 2020 o Estado passou por um longo período de déficit pluviométrico, onde culminou no colapso hídrico dos reservatórios responsáveis por atender Curitiba e região metropolitana. Ao analisar os padrões de circulação atmosférica para tal ano, Grimm et al. (2020) identificaram que a persistência da seca na região Sul do país teve ligação com as oscilações climáticas do ENOS, combinados com os modos de variabilidade do Oscilação Interdecadal do Pacífico (IPO) e Oscilação Multidicenal do Atlântico (AMO), nos quais impossibilitaram a formação de chuvas para a área. Considerando os impactos desse evento, Carvalho et al. (2021) estimaram prejuízos econômicos para a região e destacaram perdas significativas nos setores econômicos e sociais. Conforme os levantamentos realizados, considerando os possíveis cenários almejados, o fenômeno da seca possibilitaria uma redução de 0,36% na inserção de capital, 1,03% na geração de empregos, 0,58% no PIB real, 0,23% na importação de produtos e 0,06% na exportação dos mesmos.

Através do aporte teórico, demonstrou-se que o Paraná possui uma variabilidade pluviométrica interanual significativa, concentrando anos com características secas e úmidas de forma intercalada (ELY, 2019; MANGILI, 2021; GOURDARD, 2023, entre outros). Embora haja diversos trabalhos voltados para a representação espacial das chuvas, nota-se que a falta de padronização de metodologias capazes de abarcar todas as questões climáticas do ambiente ainda é restrita, seja pela falta de acessos aos dados pluviométricos ou a dificuldade de compreender fenômenos extremos, como as secas. Dessa forma, se faz necessário compreender toda a dinâmica espacial e temporal das secas a partir de métodos eficazes para a mitigação dos impactos de tal fenômeno climático.

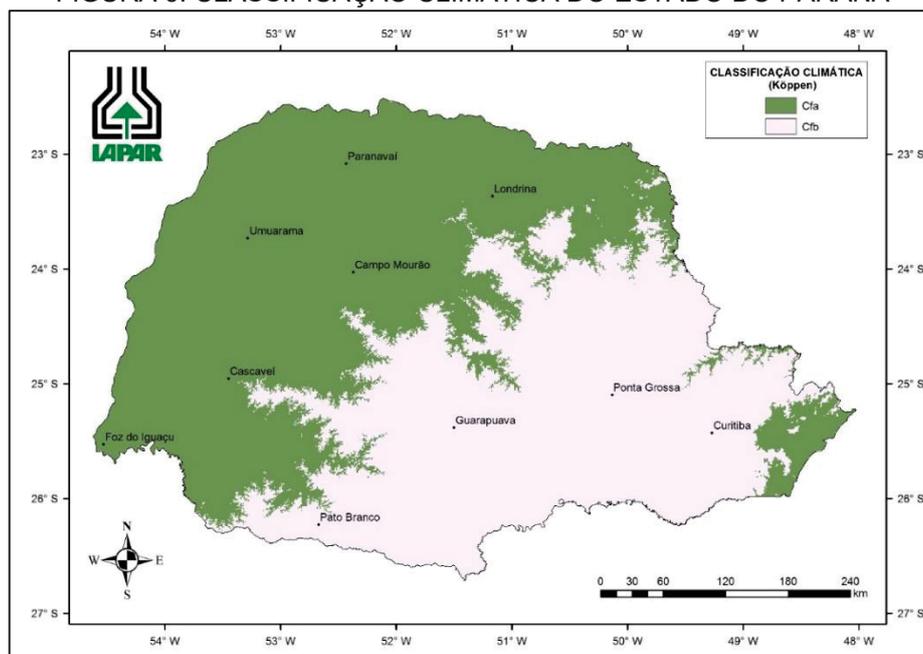
3. METODOLOGIA

3.1 ASPECTOS FÍSICOS DA ÁREA DE ESTUDO

Localizado entre as coordenadas geográficas de 22°30'58" e 26°43'00" de latitude Sul e 48°05'37" e 54°37'08" de longitude Oeste, o Estado do Paraná situa-se na porção Sul do Brasil, fazendo divisa com os estados de Santa

Catarina, Mato Grosso do Sul e São Paulo, além do encontro à leste com o oceano Atlântico (figura 6). Com aproximadamente 199.315 km² de território, o Estado possui uma diversidade vasta em relação as suas características físicas, tais como clima, relevo e hidrografia.

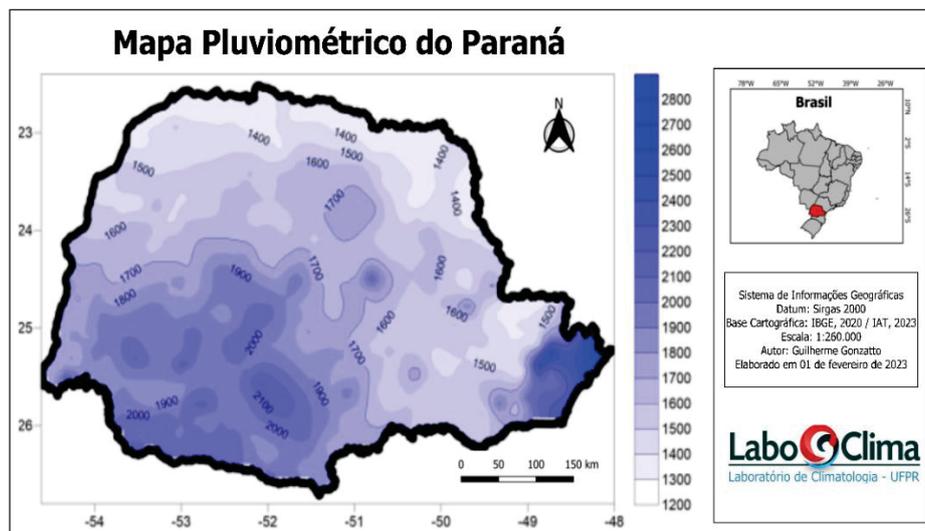
FIGURA 6: CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DO ESTADO DO PARANÁ



Fonte: IAPAR (2023).

Em relação as componentes climáticas, seu território é dividido em 2 tipos climáticos, sendo eles o Cfa, com verões quentes e invernos moderadamente frios, tendo sua temperatura média entorno de 19°C e chuvas anuais bem distribuídas na ordem de 1.500 mm, podendo chegar a valores próximos a 3.000 mm na Serra do Mar, enquanto o tipo Cfb apresenta precipitações médias superiores a 1200 mm e temperaturas de aproximadamente 18°C a 22° (BARDDAL et al., 2004; SANTOS et al., 2021). Devido a sua localização, o Paraná sofre influências dos sistemas frontais e das frentes polares originadas pelas correntes de ar no sentido noroeste-sul, causando chuvas em praticamente todas as épocas do ano (NERY, 2005).

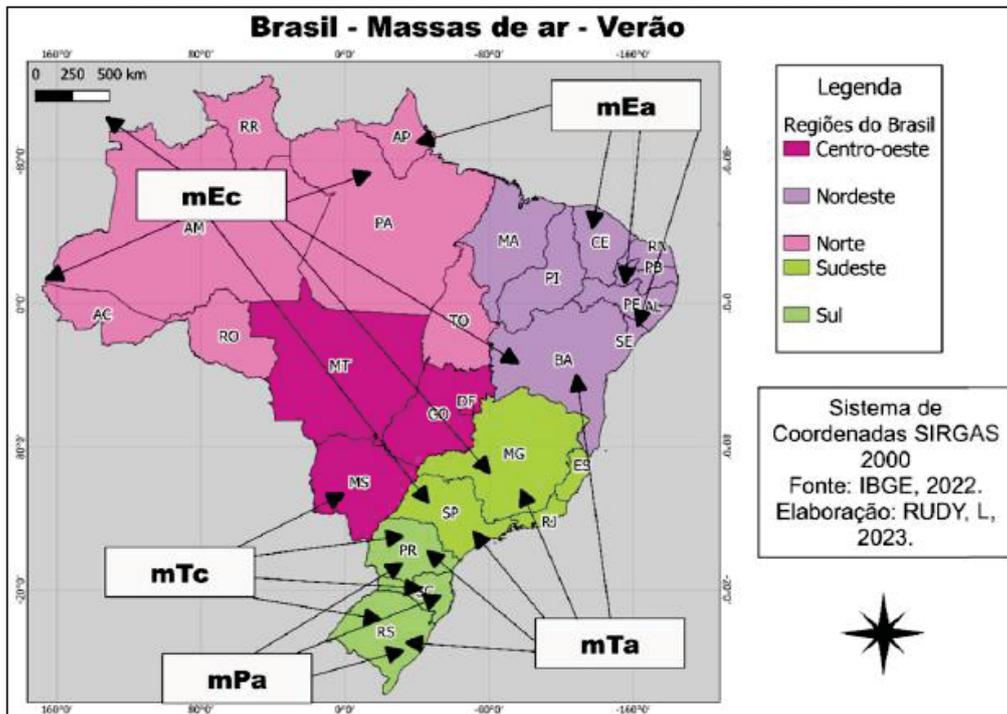
FIGURA 7: MAPA PLUVIOMÉTRICO DO PARANÁ



Fonte: do autor (2023)

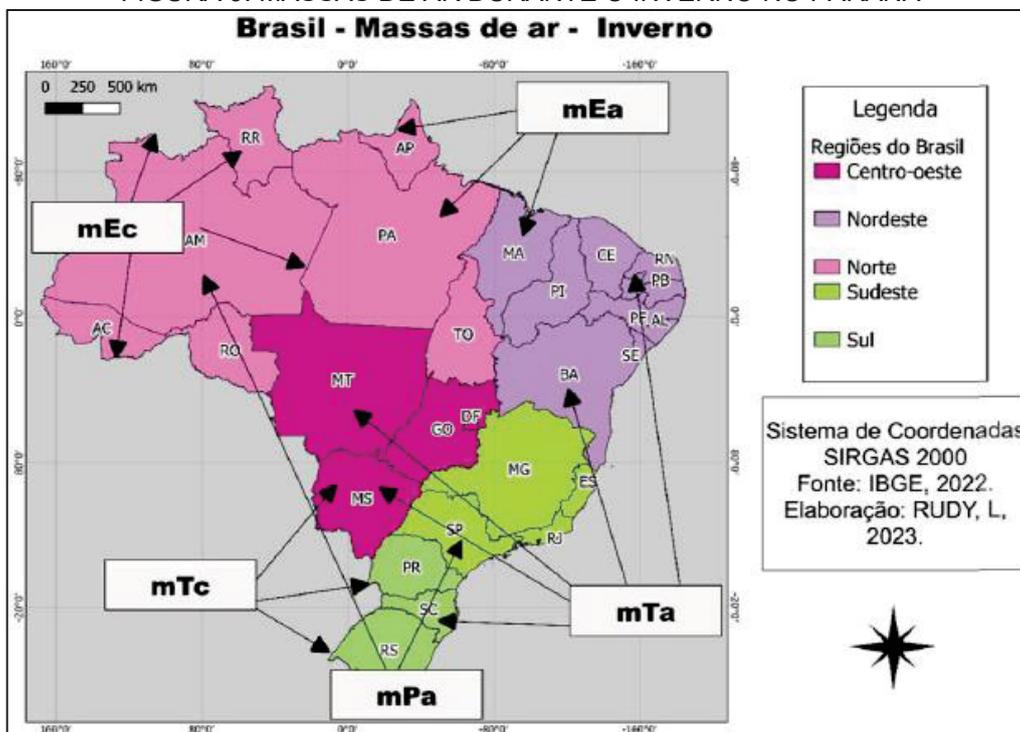
Além disso, associado a essa circulação atmosférica da região Sul do país, a região do Paraná é afetada por 4 massas de ar principais, descritas nas figuras 8 e 9, sendo elas: a MPa (Massa Polar Atlântica), fria e seca, que se desloca de sul para norte e tem origem no Anticiclone Migratório Polar; a MTa (Massa Tropical Atlântica), quente e úmida, que se move do Atlântico para o continente; a MEc (Massa Equatorial Continental), quente e úmida, originada no Anticiclone da Amazônia, que se desloca de norte a sul; e a MTc (Massa Tropical Continental), quente e seca, proveniente da Depressão do Chaco, no Paraguai (MENDONÇA 2007; NOGAROLLI, 2007).

FIGURA 8: MASSAS DE AR DURANTE O VERÃO NO PARANÁ



Fonte: Rudy (2023).

FIGURA 9: MASSAS DE AR DURANTE O INVERNO NO PARANÁ



Fonte: Rudy (2023).

Outro ponto importante a ser apresentado é o complexo relevo do Estado, no qual é dividido em 5 compartimentos principais, sendo eles: Planície Litorânea, Serra do Mar, Primeiro Planalto, Segundo Planalto e Terceiro

Planalto. Em se tratando da Planície Litorânea observa-se que seu relevo, majoritariamente, é constituído por planícies sedimentares situadas ao nível médio do mar, com poucas ondulações e alta carga pluviométrica, devido a interação entre continente-oceano. Já a Serra do Mar abrange as maiores altitudes do Estado, com aproximadamente 1.877 metros de altitude, sendo constituída por rochas cristalinas ainda do período pré-cambriano. Tal região é de extrema importância em relação ao efeito orográfico para localidade, uma vez que concentra o aporte de umidade advindo do oceano, resultando em aportes pluviais superiores para a zona costeira em detrimento das outras do Estado (TERASSI e GALVANI, 2017).

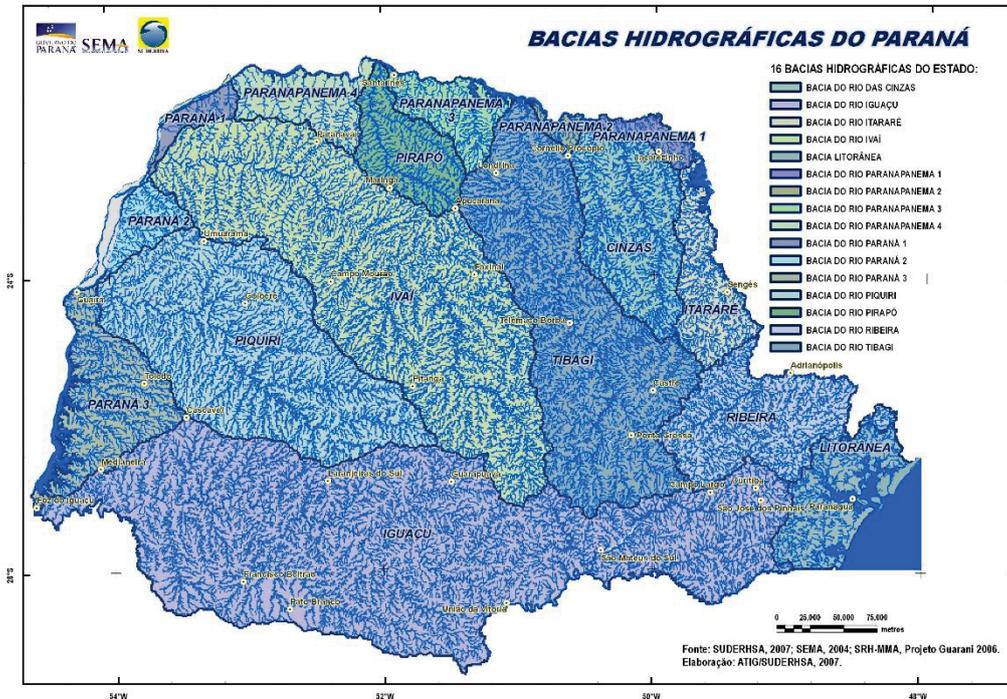
O Primeiro Planalto é formado por um relevo suavemente ondulado, limitado entre a Serra do Mar e a escarpa da Serra do Purunã, com relevo fortemente dissecado ao Norte, variando entre 400 a 1200 metros, e até as áreas de embasamento cristalino, podendo chegar a 950 metros (SILVEIRA et al., 2018). Já o Segundo Planalto paranaense é constituído por uma elevada inclinação a oeste, cerca de 1.200 metros, indo em direção a escarpa devoniana, localizada a 500 metros de altitude, constituindo-se por um relevo modelado em estruturas monoclinais, sub-horizontais em direção a oeste (SANTOS et al., 2006).

Assim como o Segundo Planalto, o Terceiro Planalto está inserido dentro da Bacia Sedimentar do Paraná, onde predominam elevações médias entre 1.100 a 1.250 metros, no reverso da escarpa da Serra da Esperança, decaindo até o Rio Paraná, acerca de 300 metros de altitude (SILVEIRA et al., 2018). Tais características geomorfológicas citadas possibilitam a formação da vasta hidrografia da região, tendo em vista que esses sistemas são limitados e direcionados pelas condições do relevo apresentados em diferenças pontos do espaço geográfico.

Conforme dados do ITCG (2009 *apud* Parolin et al., 2007), no Paraná estão localizadas 16 bacias hidrográficas em uma área de aproximadamente 199.852,20 km², nos quais são divididos entre os tributários diretos e indiretos do Paraná e as bacias litorâneas e do Ribeira. O rio Paraná, principal curso hídrico, acaba se destacando pela sua magnitude, com cerca de 4.880 km de comprimento, recebe águas de canais secundários, como o rio Paranapanema, com 949 km de extensão, e o Iguaçu, no qual conecta a Serra do Mar ao extremo

oeste do Estado, fazendo com que seja considerado o segundo maior rio do país (CURCIO, 2006; PAROLIN et al., 2017; GARCIA et al., 2019).

FIGURA 10: BACIAS HIDROGRÁFICAS DO PARANÁ



Fonte: Suderhsa (2007).

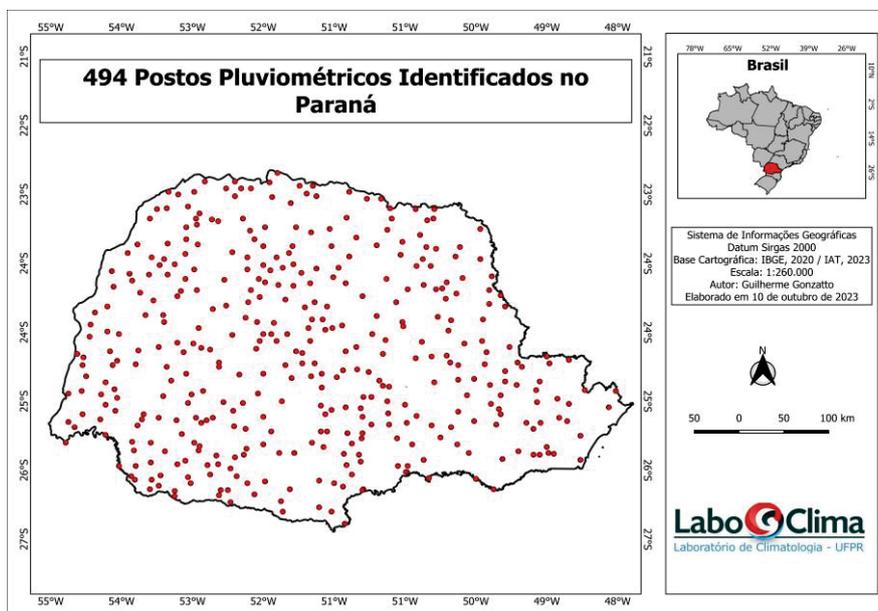
3.2 CRIAÇÃO, CORREÇÃO E ORGANIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS

Para a realização da presente etapa foram coletados dados mensais das estações pluviométricas disponíveis pelo Sistema de Informações Hidrológicas do Instituto Água e Terra (IAT), entidade autárquica vinculada ao governo do Estado do Paraná. Neste sistema são armazenados dados diários, mensais e anuais de chuva em todo o território paranaense sob responsabilidade dos institutos federais e estaduais do país, como a ANA (Agência Nacional das Águas), Copel (Companhia Paranaense de Energia), INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e Instituto Água e Terra (IAT).

Mediante ao levantamento dos dados de precipitação mensal obtidos, se utilizou do *software Excel* para a elaboração de uma “Planilha Mestra” contendo as informações pertinentes para cada posto pluviométrico espalhado pelo Estado. Foram distinguidos o tipo de estação, as variáveis meteorológicas medidas, as séries históricas de dados e as falhas de medição, além das

especificações de cada estação. Por meio dessa etapa foi possível identificar, a priori, 494 postos pluviométricos distribuídos em toda a região, conforme mostra a figura 11:

FIGURA 11: 494 POSTOS PLUVIOMÉTRICOS IDENTIFICADOS NO PARANÁ



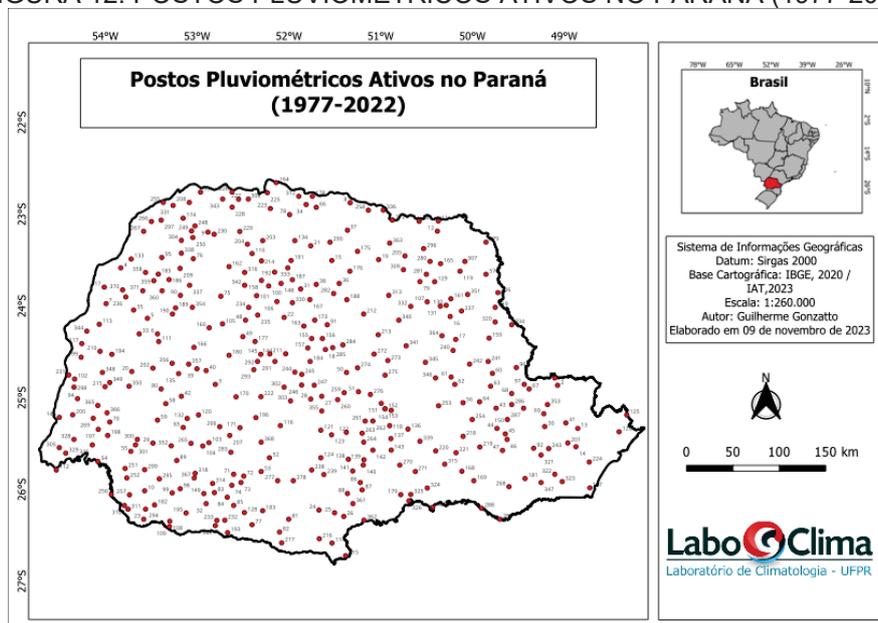
Fonte: do autor (2024).

Tais estações pluviométricas foram escolhidas em diferentes localidades, abrangendo pontos do norte, sul, leste e oeste do Estado, com o intuito de representar a dinâmica atmosférica do Estado e evidenciar a repercussão espacial em diferentes tipos climáticos (Cfa e Cfb). Para tanto, após o levantamento, realizou-se a correção dos dados mensais a partir do método dos 3 vizinhos mais próximos (SENA et al., 2010), em que se considerada a média aritmética simplificada dos postos adjacentes combinados com os fatores de altitude e proximidade. A correção considerou os postos que apresentaram falhas iguais ou inferiores há 10 dias em sua série histórica, sem comprometer a integridade e confiabilidade das informações.

Além disso, os critérios estabelecidos também seguiram recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM), em que se estipula que a produção de estudos climatológicos deve ter no mínimo 30 anos de série histórica ativa de dados para a elaboração de diagnósticos a respeito da variabilidade climática para determinado ponto no espaço geográfico. Dessa forma, ao final dessas correções, dos 494 postos totais foi possível observar 371

postos pluviométricos ativos e com a série histórica ininterrupta entre os anos de 1977 e 2022 no Paraná, os quais encontram-se representados na figura 12.

FIGURA 12: POSTOS PLUVIOMÉTRICOS ATIVOS NO PARANÁ (1977-2022)



Fonte: do autor (2024).

A partir do reconhecimento dos 371 pontos de coleta de chuva no território paranaense realizou-se as análises espaciais e de seus padrões de chuva mediante a utilização de técnicas e procedimentos que serão descritos no tópico a seguir.

3.3 APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO PADRONIZADA (SPI)

Para compor as análises de quantificação e monitoramento a curto, médio e longo prazo das secas no Paraná, utilizou-se o Índice de Precipitação Padronizada (SPI). Essa técnica é aceita universalmente para a elaboração de estudos envolvendo a anomalia climática das secas, permitindo visualizar, identificar e determinar épocas de excesso ou déficit hídrico num determinado período espacial e temporal. Para Ojha et al. (2021), Faye (2022), entre outros autores, a razão pela qual o SPI se destaca entre outras tantas técnicas é que sua natureza é probabilística, tornando-a vantajosa em relação a análise de risco e tomada de decisões.

Por meio da coleta de dados históricos de precipitação pluvial, por

exemplo, é calculado o valor de chuva acumulada para um intervalo temporal desejado (1, 3, 6, 9, 12 ou 24 meses) ajustados a uma distribuição gama incompleta e posteriormente a uma função normal inversa (FERNANDES et al., 2009; GONÇALVES et al., 2021). Dessa forma, buscou-se aplicar o método de Índice de Precipitação Padronizada (SPI) para quantificar, padronizar e comparar períodos de seca em diferentes escalas de tempo no Estado, assim como avaliar seus possíveis impactos conforme a severidade das secas, conforme classificado na tabela 1.

TABELA 1: CLASSIFICAÇÃO DE SEVERIDADE DAS SECAS

Categoria	Descrição	Percentil	SPI/SPEI	Recorrência	Impactos Possíveis
S0	Seca Fraca	30 %til	-0,5 a -0,79	Uma vez a cada 2-5 anos	Entrando em seca: veranico de curto prazo diminuindo plantio, crescimento de culturas ou pastagem. Saindo de seca: alguns déficits hídricos prolongados, pastagens ou culturas não completamente recuperadas.
S1	Seca Moderada	20 %til	-0,8 a -1,29	Uma vez a cada 5-10 anos	Alguns danos às culturas, pastagens; córregos, reservatórios ou poços com níveis baixos, algumas faltas de água em desenvolvimento ou iminentes; restrições voluntárias de uso de água solicitadas.
S2	Seca Grave	10 %til	-1,3 a -1,59	Uma vez a cada 10-20 anos	Perdas de cultura ou pastagens prováveis; escassez de água comuns; restrições de água impostas.
S3	Seca Extrema	5 %til	-1,6 a -1,99	Uma vez a cada 20-50 anos	Grandes perdas de culturas / pastagem; escassez de água generalizada ou restrições.
S4	Seca Excepcional	2 %til	<-2	Uma vez a cada 50-100 anos	Perdas de cultura / pastagem excepcionais e generalizadas; escassez de água nos reservatórios, córregos e poços de água, criando situações de emergência.

Fonte: Monitor de Secas (2024).

De acordo com os estudos promovidos por Mckee e colaboradores (1993), o SPI apresentada, além das categorias que os fenômenos climáticos se enquadram, o grau de intensidade pelo quais são subordinados. No caso das secas, o evento se inicia quando o SPI se torna negativo e atinge -1 e encerra quando esta volta a apresentar valores positivos. Dentro da escala do SPI, as anomalias mais extremas de precipitação estão condicionadas a valores de -2, onde de fato se pode comprovar o desencadeamento de uma seca meteorológica, como descritos na figura 13.

FIGURA 13: VALORES E CATEGORIAS DE SECA E/OU UMIDADE CONFORME O SPI

SPI	Categoria
0 - 2,00	Extremamente Úmido
1,5 a 1,99	Severamente Úmido
1,00 a 1,49	Moderadamente Úmido
0.1 a 0,99	Umidade Incipiente
0 a -0,99	Seca Incipiente
-1,00 a -1,49	Moderadamente Seco
-1,50 a -1,99	Severamente Seco
0 - 2,00	Extremamente Seco

Fonte: Mckee et al (1993).

Segundo ainda os autores, o SPI calculado em diferentes escalas de tempo proporciona uma análise mais precisa dos impactos acometidos no meio ambiente, uma vez que os efeitos acometidos em diferentes cenários, como a perda de umidade do solo e/ou o armazenamento de água subterrânea, dos fluxos dos rios e dos reservatórios, se dão em diferentes escalas temporais (FERNANDES et al., 2019). Por exemplo, na escala de 1 mês (SPI-1) estão condicionadas as análises a curto prazo, tendo principalmente mudanças na umidade do solo, enquanto em escalas mais longas, como o do SPI-6 e SPI-12, é possível prever o impacto das secas nos sistemas de abastecimento e na agricultura. A tabela 2 representa o impacto das secas no espaço geográfico conforme a severidade da anomalia climática calculada pelo SPI.

TABELA 2: DESCRIÇÃO TEMPORAL DE CADA INTERVALO DO SPI

Escalas de Tempo	Fenômenos Refletidos	Aplicação
1 mês SPI	Condições de curto período	Umidade do solo de curto prazo e estresse da cultura (especialmente durante a estação de crescimento).
3 meses SPI	Condições de umidade de curto e médio período	Estimativa sazonal da precipitação.
6 meses SPI	Tendências de médio período na precipitação	Potencial para mostrar a precipitação em estações distintas, por exemplo, para a Califórnia, o SPI de 6 meses pode efetivamente indicar a quantidade de precipitação de Outubro a Março.
9 meses SPI	Padrões de precipitação em escala de tempo médio	Se $SPI_9 < -1,5$, trata-se de uma boa indicação de que impactos substanciais podem ocorrer na agricultura (e possivelmente em outros setores).
12 meses SPI	Padrões de precipitação de longo período	Possivelmente associado a fluxos de rios, níveis de reservatórios e também níveis de águas subterrâneas.

Fonte: Nascimento (2021).

Na tentativa de aplicar tal técnica descrita, foi utilizado o *software* RDIT V1.0, no qual permite calcular a anomalia das secas, incluindo o SPI, e plotar os desvios padrões em tabelas e gráficos no *software Excel*. Dessa forma, a partir dos valores dos desvios obtidos do SPI foi possível realizar as análises de intensidade, frequência e tendência das secas no Estado do Paraná.

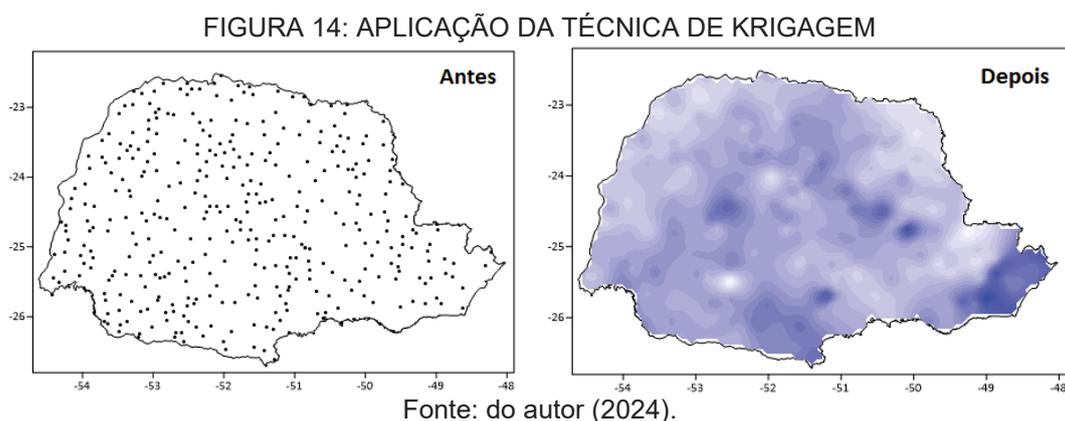
3.4 MÉTODOS GEOESTATÍSTICOS

3.4.1 APLICAÇÃO DA KRIGAGEM E PRODUÇÃO CARTOGRÁFICA

Para o mapeamento da anomalia das secas no Paraná foi utilizado o método de interpolação geoestatística de Krigagem, através do *software Surfer*

20.4.3, da *Golden Software Inc.* Esse procedimento permite espacializar o fenômeno na superfície terrestre, inclusive através de lacunas entre os pontos de coleta (FLORES, 2000). O método se baseia na estipulação de valores de uma variável em locais sem amostragem com base em valores medidos em pontos mais próximos com dados, fazendo com que estabeleça se estabeleça médias aproximadas em relação aos dados observados.

Para tanto, a técnica foi aplicada para análise da chuva total nos 45 anos de dados da série histórica, permitindo a elaboração de um diagnóstico comparativo entre diferentes locais. Tal objetivo visa evidenciar a variabilidade pluviométrica no Estado do Paraná, especialmente nos anos mais secos, assim como identificar as regiões que possuem uma tendência natural há precipitações menos intensas.



Por fim, para a produção de produtos cartográficos, como mapas temáticos, de interpolação espacial e outras formas de representação e espacialização, foram utilizados os *softwares* Quantum GIS (QGIS) Desktop 3.16.8, da *Creative Commons* e do *Surfer 20.4.3*, da *Golden Software Inc.*, enquanto que para a elaboração de gráficos e tabelas empregou-se o *software Excel 2019*, da *Microsoft*.

3.4.2 CÁLCULO DE TENDÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL

Nesta etapa, foram analisadas as tendências de precipitação pluvial para o Estado do Paraná utilizando o teste de Mann-Kendall, um método estatístico não paramétrico aplicado na identificação de tendências em séries temporais longas, quanto aos desvios de normalidade e não-estacionariedade (SANCHES

et al. 2013). Tal teste foi implementado no software R, escolhido pela versatilidade de modelagens lineares e não lineares, testes estatísticos, análises temporais, entre outras ferramentas que possibilitam a interpretação de estudos climatológicos (SOUZA et al., 2018).

A estatística do teste é dada por:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sinal} (x_j - x_i)$$

Em que S representa a soma das contagens de $(x_j - x_i)$, onde x_j é o primeiro valor subsequente a x_i , e n corresponde à quantidade total de dados na série temporal (pluviométrica). Logo, a função sinal (*sing*) é definida por:

$$\text{sinal} = \begin{cases} +1 & \text{se } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{se } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{se } (x_j - x_i) < 0 \end{cases}$$

A estatística S segue uma distribuição normal com média $E(S)$ e variância $\text{Var}(S)$, sendo a variância determinada pela seguinte fórmula:

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right]$$

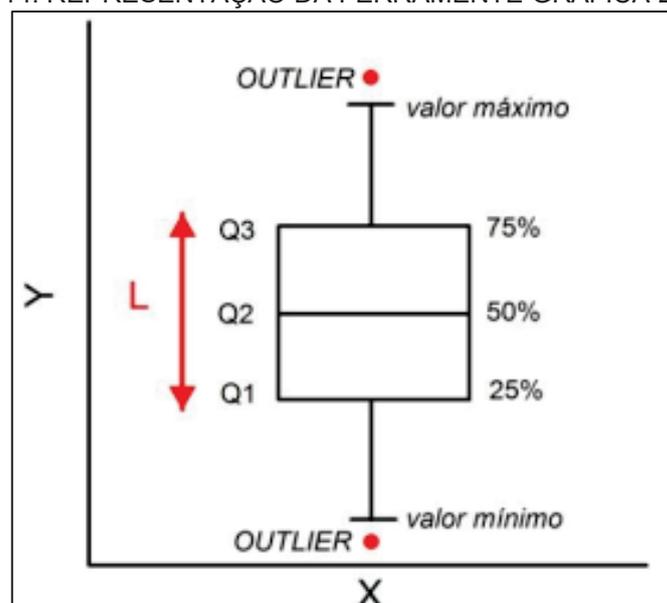
Aqui, n representa a quantidade de registros, m corresponde ao número de grupos com valores idênticos dentro da amostra, e t_i indica a contagem de repetições no i -ésimo grupo. Quando o tamanho da amostra n ultrapassa 10, a estatística de teste normal padrão Z é calculada da seguinte maneira:

$$Z_s = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases}$$

Sendo assim, valores positivos de Z_s indicam tendências crescentes, ao mesmo tempo em que valores negativos de Z_s indicam tendências decrescentes (Apêndice E). No presente trabalho, optou-se por considerar um nível de significância de 5%, visto que este é comumente utilizado em análises climatológicas.

Além disso, para auxiliar nas análises de caracterização das chuvas e sua variabilidade no decorrer da série histórica, foi utilizada a ferramenta gráfica *Boxplot* (apêndice D). Conforme Galvani e Luchiari (2012) e Schenk e Steppan (2014), a distribuição dos valores ocorre a partir do encaminhamento de quartis definidos pelo valor da mediana, sendo composta por dois quartis de centro e a mediana, demonstrando os valores habituais, seus prolongamentos dos ramos inferiores (mínimo) e superiores (máximos) e os *outliers* numéricos, ilustrado a seguir:

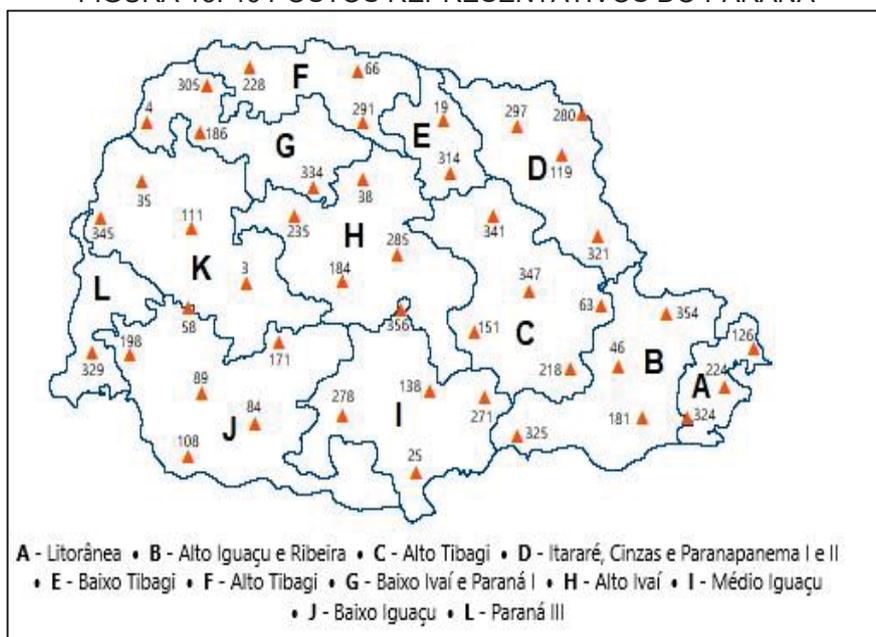
FIGURA 14: REPRESENTAÇÃO DA FERRAMENTE GRÁFICA *BLOXPLOT*



Fonte: Oliveira e Galvani (2017).

Para tanto, a análise das tendências de chuva para o Estado foi realizado por meio de 46 postos pluviométricos representativos, distribuídos em diferentes localidades físico-geográficas, limitadas pela divisão das Bacias Hidrográficas, método esse empregado em trabalhos semelhantes, como de Kumar et al. (2010), Jain e Kumar (2012), entre outros. Essas unidades territoriais refletem de forma mais precisa a dinâmica hidrológica e climática dos espaços, permitindo avaliar as tendências de precipitação a partir dos fluxos hídricos e das interações com o meio físico.

FIGURA 15: 46 POSTOS REPRESENTATIVOS DO PARANÁ



Fonte: do autor (2024).

Cabe destacar que a seleção dos postos pluviométricos seguiu os critérios de localização, altitude e proximidade descritos na tabela 3. Esses critérios foram adotados para garantir uma distribuição representativa dos pontos de monitoramento, possibilitando uma análise mais detalhada da distribuição das chuvas e suas variações no espaço geográfico paranaense. Dessa forma, foi possível estabelecer relações entre os diferentes padrões de precipitação, das características das bacias hidrográficas e de seus impactos numa escala local.

TABELA 3: POSTOS PLUVIOMÉTRICOS REPRESENTATIVOS DO PARANÁ

Número	Município	Nome	Órgão	Longitude	Latitude	Altitude (m)
3	Altamira do Paraná	BALSA DO CANTU	ANA	-52,70	-24,75	360
4	Alto Paraíso	MARCO PRETO	IAT	-53,73	-23,48	365
19	Assaí	CERRO LEÃO	IAT	-50,92	-23,39	533
25	Bituruna	SANTO ANTONIO DO IRATIM	IAT	-51,40	-26,15	950
35	Cafezal do Sul	GUAIPORÃ	IAT	-53,59	-23,94	384
38	Cambira	CRUZEIRO	IAT	-51,60	-23,66	601
46	Campo Largo	BATEIAS	IAT	-49,52	-25,35	890
58	Cascavel	SAO JOÃO DO OESTE	IAT	-53,24	-24,96	662
63	Castro	SOCAVÃO	IAT	-49,70	-24,77	1051
66	Centenário do Sul	CENTENÁRIO DO SUL	IAT	-51,60	-22,82	500
84	Coronel Vivida	CORONEL VIVIDA	IAT	-52,57	-25,98	700
89	Cruzeiro do Iguaçu	CRUZEIRO DO IGUAÇU - I	IAT	-53,12	-25,58	389
108	Flor da Serra do Sul	RIO VERDE	IAT	-53,20	-26,24	758
111	Formosa do Oeste	FORMOSA DO OESTE	IAT	-53,32	-24,28	370
119	Guapirama	GUAPIRAMA	IAT	-50,03	-23,52	600
126	Guaraqueçaba	GUARAQUEÇABA (COSTÃO)	IAT	-48,30	-25,27	10
138	Inácio Martins	CAMPINA BONITA	IAT	-51,25	-25,57	1108
151	Ivaí	SALTINHO	IAT	-50,89	-24,96	743
171	Laranjeiras do Sul	(CAMPO VERDE) FAXINAL DOS	IAT	-52,43	-25,22	785
181	Mandirituba	MANDIRITUBA	IAT	-49,32	-25,78	920
184	Manoel Ribas	MANOEL RIBAS	ANA	-51,67	-24,50	972
186	Maria Helena	MARIA HELENA	IAT	-53,20	-23,61	372
198	Matelândia	FLORIANO	IAT	-53,87	-25,31	458
218	Palmeira	USINA MANOEL RIBAS	IAT	-50,00	-25,32	870
224	Paranaguá	COLONIA SANTA CRUZ	IAT	-48,62	-25,60	32
228	Paranavaí	FAZENDA AURORA	IAT	-52,52	-22,82	367
235	Peabiru	SILVIOLANDIA	IAT	-52,24	-23,99	425
271	Rebouças	REBOUÇAS	IAT	-50,69	-25,63	918
278	Reserva do Iguaçu	RESERVA DO IGUAÇU	IAT	-52,02	-25,80	1000
280	Ribeirão Claro	RIBEIRÃO CLARO	IAT	-49,75	-23,20	782
285	Rio Branco do Ivaí	RIO BRANCO DO IVAÍ	IAT	-51,31	-24,32	675
291	Rolândia	SÃO MARTINHO	IAT	-51,45	-23,20	653
297	Santa Amélia	SANTA AMELIA	IAT	-50,43	-23,27	471
305	Santa Mônica	APARECIDA DO IVAI	IAT	-53,07	-23,18	300
314	São Jerônimo da Serra	TERRA NOVA	IAT	-50,81	-23,78	989
321	São José da Boa Vista	BARRA MANSÁ	IAT	-49,65	-24,07	850
324	São José dos Pinhais	ILHA DO RIO CLARO	IAT	-48,92	-25,81	237
325	São Mateus do Sul	SÃO MATEUS DO SUL	COPEL	-50,39	-25,88	760
329	São Miguel do Iguaçu	SÃO MIGUEL DO IGUAÇU	IAT	-54,24	-25,35	287
334	Sarandi	VALE AZUL	IAT	-51,91	-23,48	504
341	Telêmaco Borba	USINA MAUA	KLABIN	-50,70	-24,05	550
345	Terra Roxa	TERRA ROXA DO OESTE	IAT	-54,10	-24,17	378
347	Tibagi	FAZENDA SÃO CARLOS (SABÃO)	IAT	-50,30	-24,68	1200
354	Tunas do Paraná	TUNAS	IAT	-49,08	-24,97	880
356	Turvo	TURVO	IAT	-51,54	-25,04	1146

Fonte: do autor (2024).

3.5 CÁLCULO DE FREQUÊNCIA NA OCORRÊNCIA DAS SECAS

Em relação à análise de frequência de eventos de seca para o Paraná, o cálculo foi realizado através do índice de Precipitação Padronizada (SPI), considerando o número de vezes em que o índice ficou abaixo de -1,0 na série

mensal das 371 estações pluviométricas avaliadas no presente trabalho. Esse limiar foi adotado por diversas pesquisas similares, como a de Qin et al., (2015), Liu et al. (2021), entre outros, onde constataram que as condições de seca moderada permitiam analisar de forma consistente e comparável a repercussão da anomalia climática no território.

Dessa forma, optou-se por calcular a frequência para 4 intervalos temporais distintos (1978-1988, 1989-1999, 2000-2010 e 2011-2022), na tentativa de capturar a variabilidade pluvial do Estado, especialmente nos períodos de seca, em diferentes contextos climáticos e regionais.

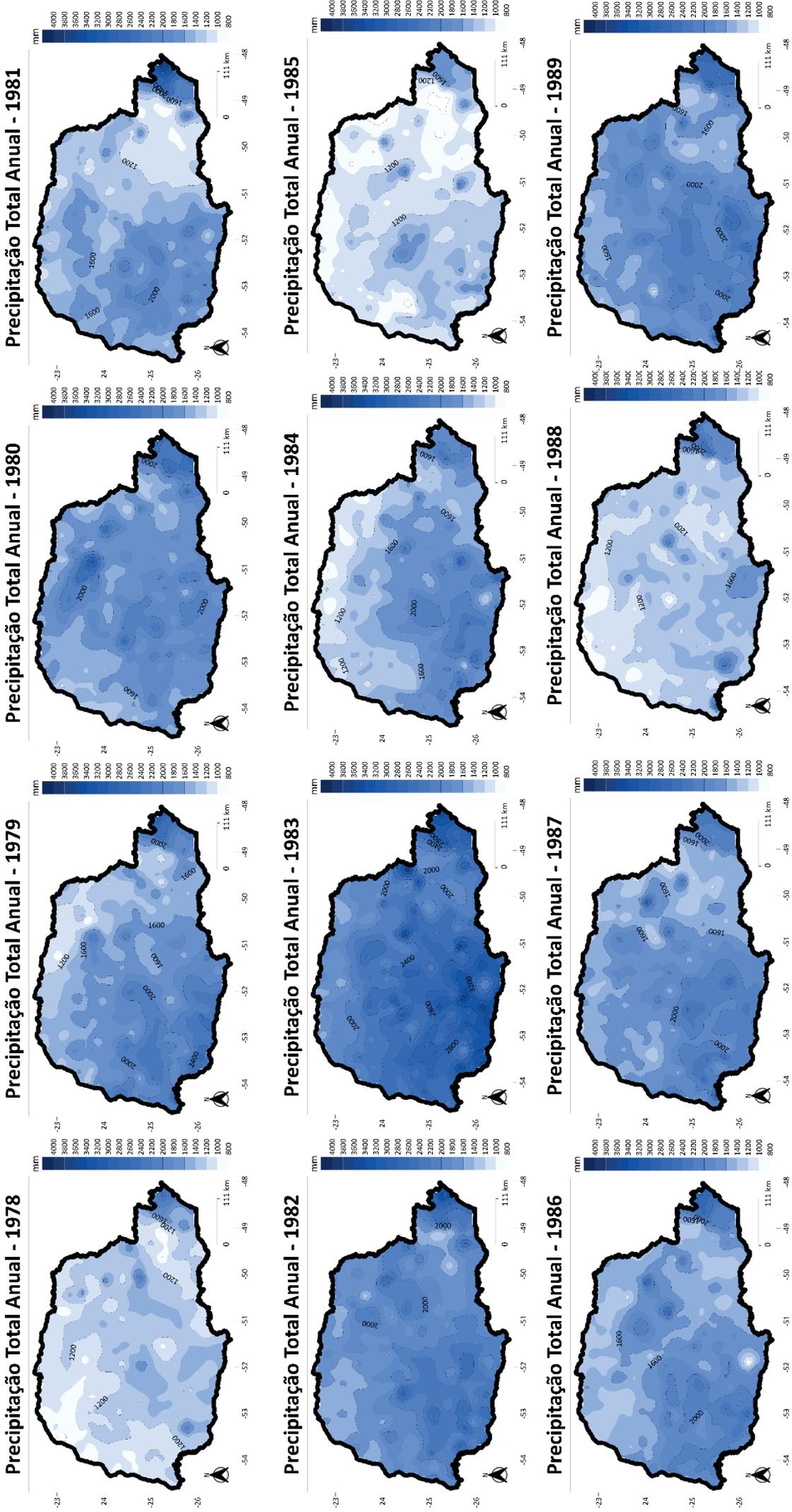
4. RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DE PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL PARA O PARANÁ

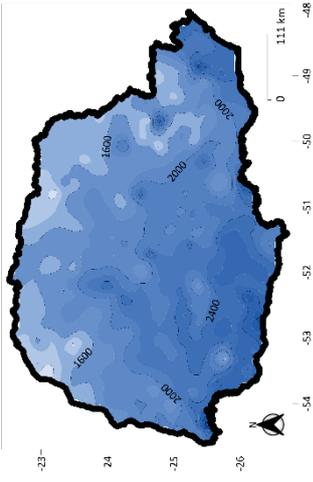
A partir da distribuição média anual de precipitação no Estado, destacada na figura 16, foi possível observar a dinâmica pluvial entre os anos de 1978 e 2022 e sua variabilidade. Ao analisar as precipitações totais, constata-se a complexidade e o alto dinamismo pluviométrico presente na região, principalmente devido às condições naturais existentes na área. Um indicativo para tal diferença, deve-se a influência de fatores físicos, como relevo, altitude e localização espacial, que elucidam as diferentes formas em que as chuvas ocorrem no território.

A média anual histórica de precipitação pluvial é de aproximadamente 1.705 mm, mas há discrepâncias marcantes entre diferentes regiões. O menor índice registrado de chuvas ocorreu no posto pluviométrico localizado no município de Adrianópolis, com 1.215 mm anuais, evidenciando as condições físico-geográficas como importantes condicionantes desse processo. Já o maior volume pluviométrico histórico é observado em Guaratuba, onde os acumulados anuais atingem 2.792 mm, refletindo a ação da umidade marítima advinda do oceano nas dinâmicas pluviais da região representadas abaixo.

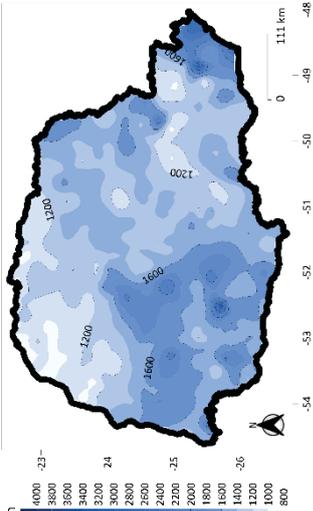
FIGURA 16: PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL PARA A SERIE HISTÓRICA ENTRE 1978-2022 DO PARANÁ



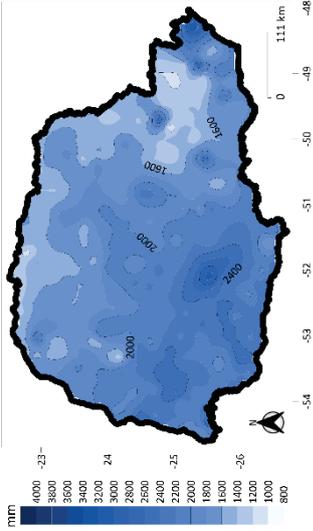
Precipitação Total Anual - 1990



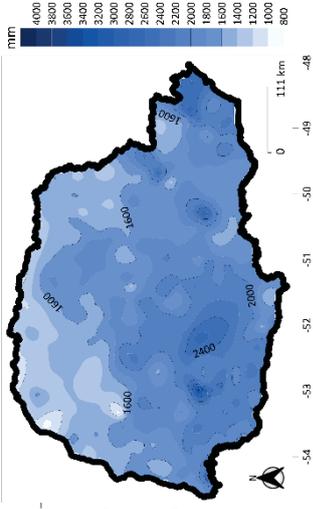
Precipitação Total Anual - 1991



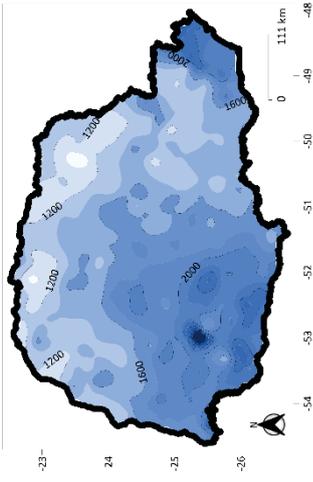
Precipitação Total Anual - 1992



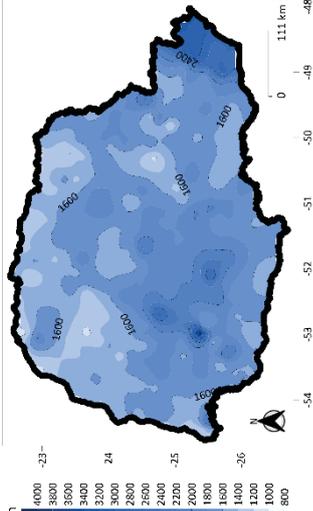
Precipitação Total Anual - 1993



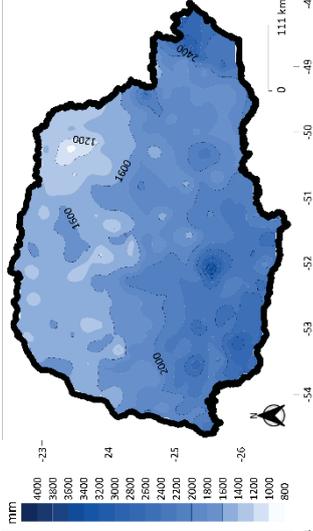
Precipitação Total Anual - 1994



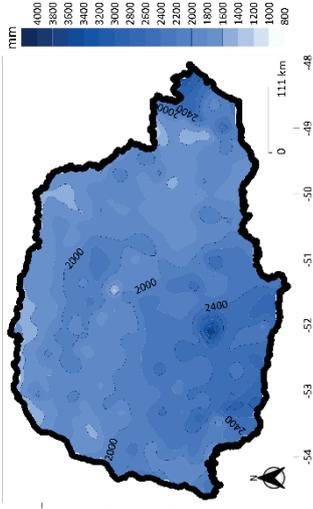
Precipitação Total Anual - 1995



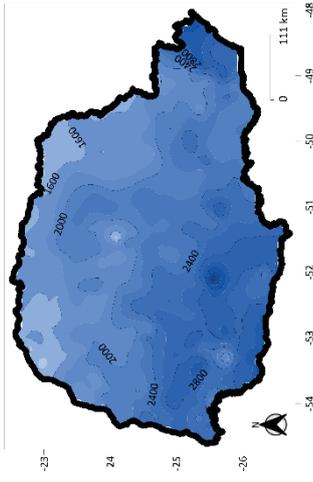
Precipitação Total Anual - 1996



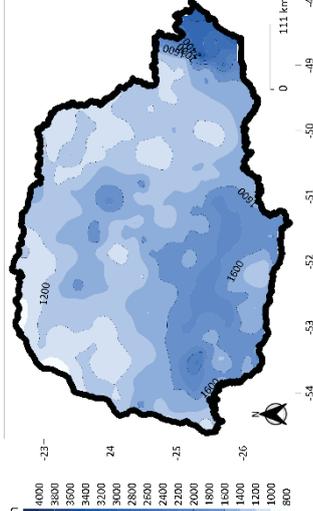
Precipitação Total Anual - 1997



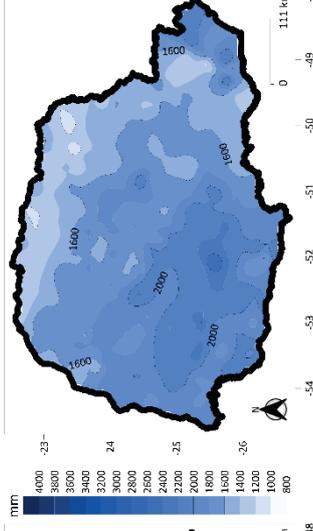
Precipitação Total Anual - 1998



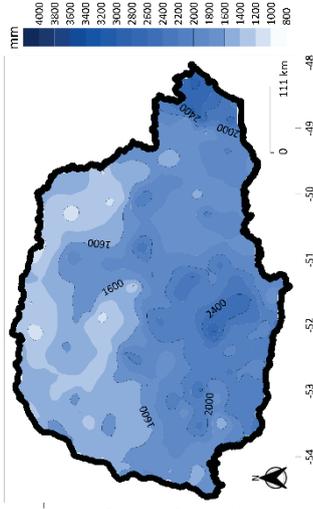
Precipitação Total Anual - 1999



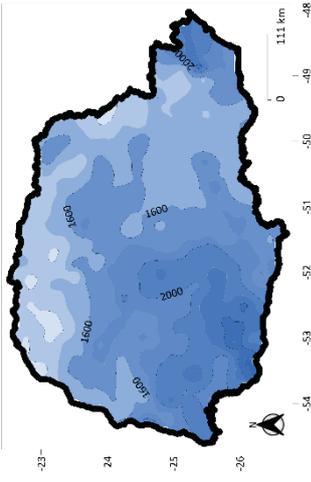
Precipitação Total Anual - 2000



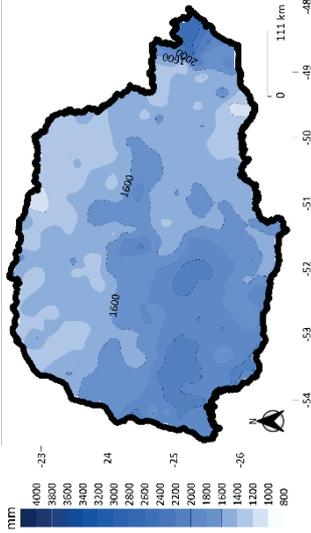
Precipitação Total Anual - 2001



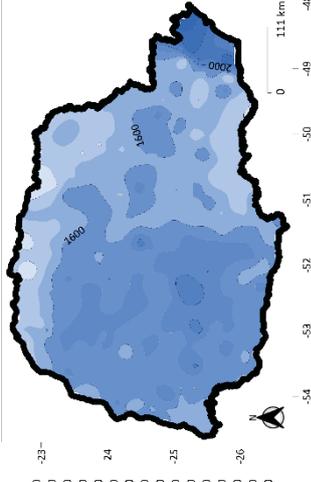
Precipitação Total Anual - 2002



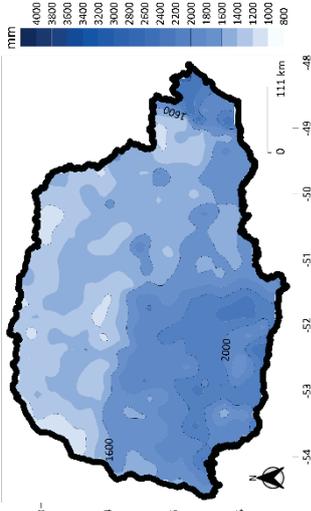
Precipitação Total Anual - 2003



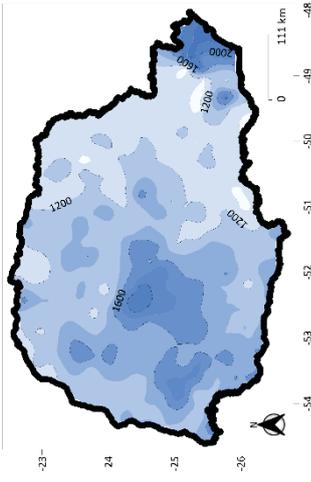
Precipitação Total Anual - 2004



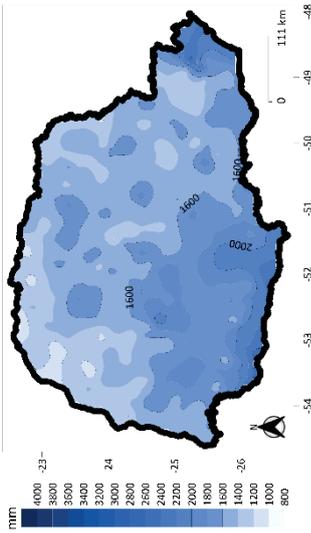
Precipitação Total Anual - 2005



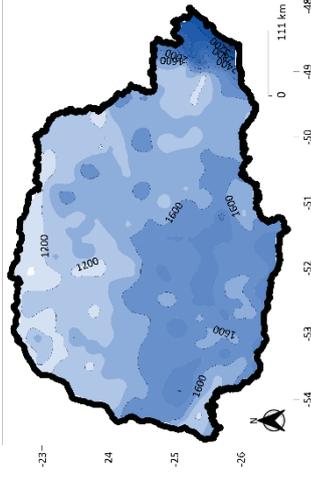
Precipitação Total Anual - 2006



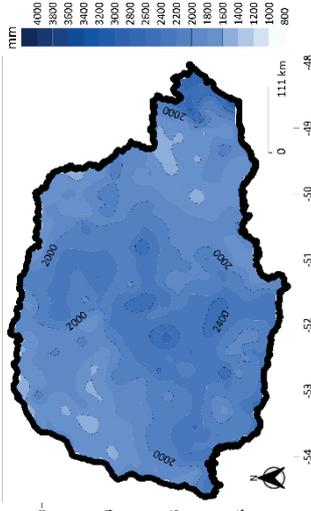
Precipitação Total Anual - 2007



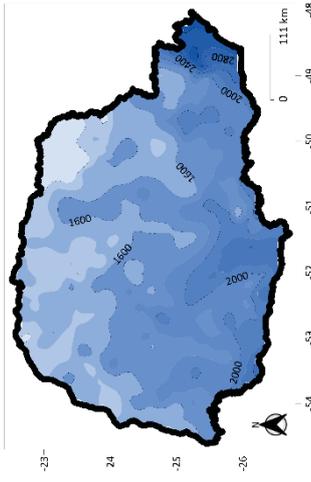
Precipitação Total Anual - 2008



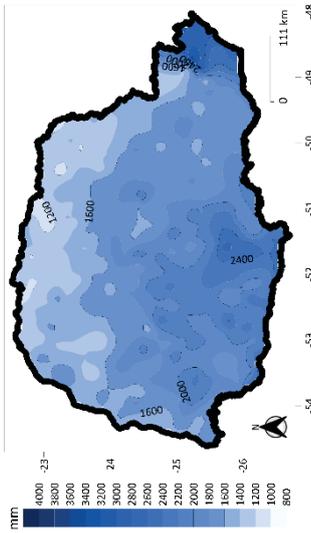
Precipitação Total Anual - 2009



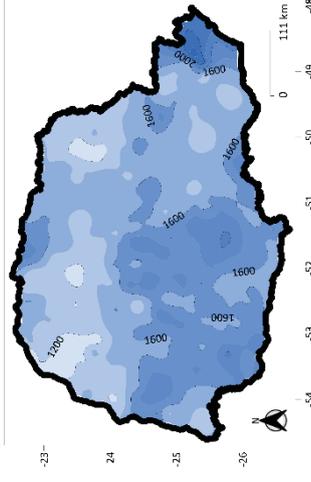
Precipitação Total Anual - 2010



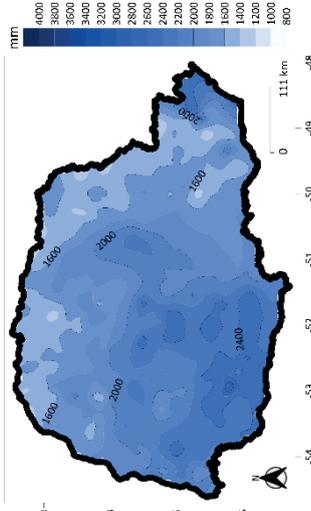
Precipitação Total Anual - 2011



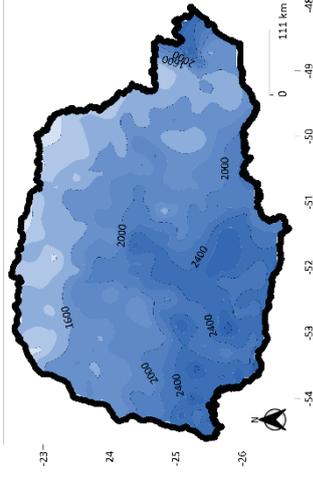
Precipitação Total Anual - 2012



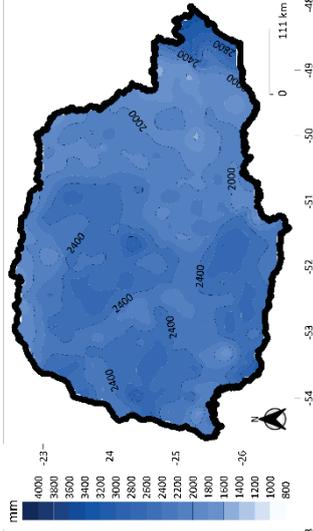
Precipitação Total Anual - 2013



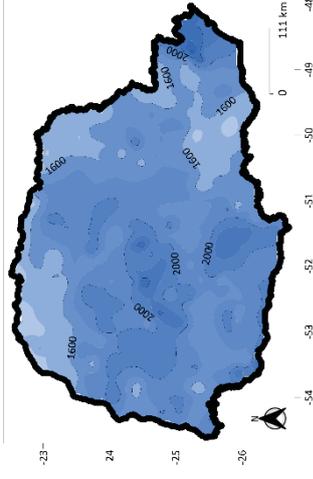
Precipitação Total Anual - 2014



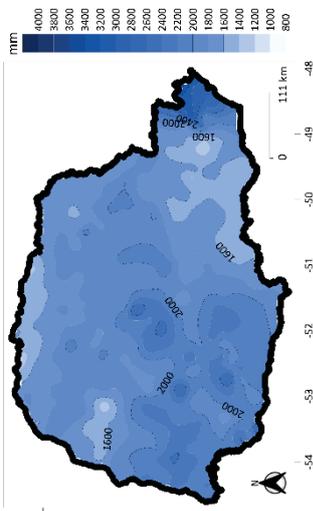
Precipitação Total Anual - 2015



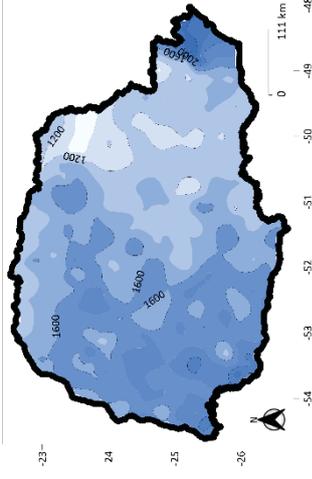
Precipitação Total Anual - 2016



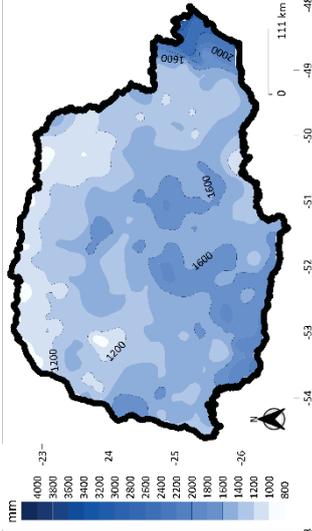
Precipitação Total Anual - 2017



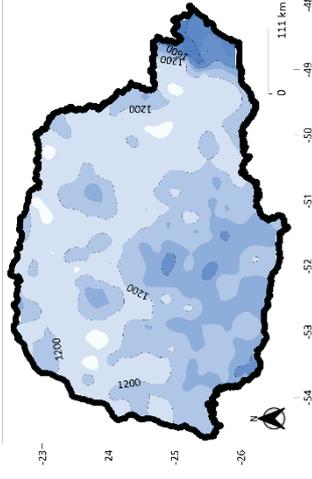
Precipitação Total Anual - 2018



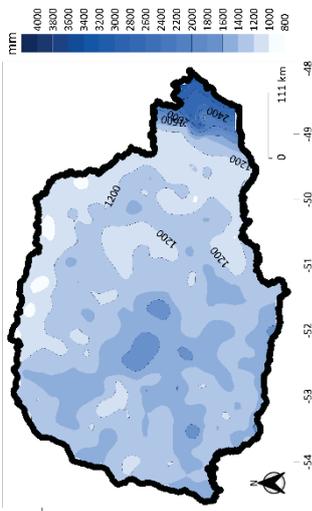
Precipitação Total Anual - 2019



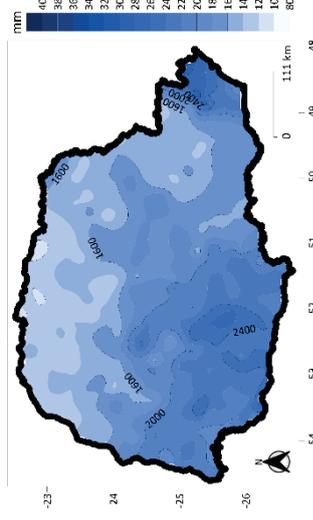
Precipitação Total Anual - 2020



Precipitação Total Anual - 2021



Precipitação Total Anual - 2022



Fonte: do autor (2024).

A análise quantitativa dos dados pluviais destacados na figura acima revela uma variação significativa em termos de precipitação para o Estado, com a menor média registrada em 1985, com aproximadamente 1.172,83 mm, e a maior em 1983, com cerca de 2.443,80 mm. A diferença absoluta entre esses extremos evidencia a amplitude das oscilações pluviométricas no Paraná, de modo que entre a série histórica apresentada (1978-2022), 25% dos anos analisados superaram os 2.000 mm de chuva (1983, 1997, 1998 e 2015) enquanto 20% ficaram abaixo de 1.500 mm (1978, 1985, 1991, 1998, 1999, 2006, 2020 e 2021), indicando anos mais secos.

A variabilidade pluvial pode ser evidenciada ao longo dos anos, não apresentando um padrão cíclico uniforme preciso, porém com tendências de menor e/ou maior pluviosidade. Por exemplo, entre os anos de 1990 e 1999, 50% dos anos registraram chuvas superiores a 1.900 mm, sendo considerado um período relativamente úmido, quando comparado a média de 1.705 mm do Estado. Em contrapartida, entre 2005 e 2012 a precipitação não apresentou extremos de chuva pronunciados, variando de 1.368 mm a 1.925 mm, em 2006 e 2013, respectivamente.

Além disso, observa-se que 55% dos anos registraram valores acima da média esperada, enquanto 45% ficaram abaixo da distribuição média anual de precipitação (figura 16), indicando uma predominância de anos mais úmidos. Dessa forma, se revelou que os anos mais chuvosos (acima de 2.200 mm) se mantiveram em 1983, 1997, 1998, 2015 e 2016 e os menos chuvosos (abaixo de 1.400 mm) estiveram presentes em 1978, 1985, 1988, 2020 e 2021.

Se tratando das regiões em que as chuvas ocorreram, nota-se que no litoral, por exemplo, estão presentes os maiores índices de chuva, tendo em vista que a zona litorânea concentra um aporte de umidade superior advindo do oceano Atlântico em relação às outras áreas do continente, como o extremo oeste. A presença da Serra do Mar intensifica os efeitos orográficos, favorecendo a concentração de precipitações pluviais durante todo o ano, quando comparado com as demais áreas do território, conforme observado na série histórica apresentada na figura 16.

Já as demais áreas, como o centro e o norte do Estado, se destacam como as de menores precipitações. Embora essa dinamicidade esteja presente, nota-se que ao longo dos anos o Paraná foi constituído por uma variabilidade pluvial intensa, uma vez que a existência de anos e períodos mais secos ou chuvosos constituíram o cenário pluvial. De forma geral, o reconhecimento por chuvas abundantes e frequentes durante todas as épocas do ano se torna válido quando observado os

valores totais, contudo, tal fato não impede a ocorrência de episódios de seca, por exemplo.

Em épocas expressivas de déficit e/ou superávit pluvial, como analisados nos capítulos subsequentes, as chuvas trouxeram fortes impactos para o território. Em regiões com maior e/ou menor acúmulo de precipitação, dependendo do ano referido, episódios de inundação e/ou de secas se tornaram uma problemática enfrentada pela população. Para o presente trabalho, tal panorama é imprescindível para análise das secas, haja vista que uma diminuição significativa no total de chuva anual pode potencializar o desenvolvimento do fenômeno, como observado nos anos de 2006, 2020 e 2021 (Figura 16).

Embora não seja objetivo do trabalho analisar a distribuição das chuvas com os eventos atmosféricos de larga escala, pode-se constatar uma forte relação desses fenômenos, como o ENOS e outros modos de variabilidade, com os padrões de chuvas para o Paraná (KIRST e GEBERT, 2022), capazes de alterar as dinâmicas pluviais no território e desencadear eventos extremos de seca e/ou de excedentes pluviais como demonstrados na figura 16. Dessa forma, para compreender o fenômeno climático descrito, suas características e também a sua complexidade relacionada as interações entre oceano-continente-atmosfera se faz necessário elucidar alterações promovidas nos últimos 45 anos.

4.1.1 PRINCIPAIS ANOS CHUVOSOS AO LONGO DA SÉRIE HISTÓRICA

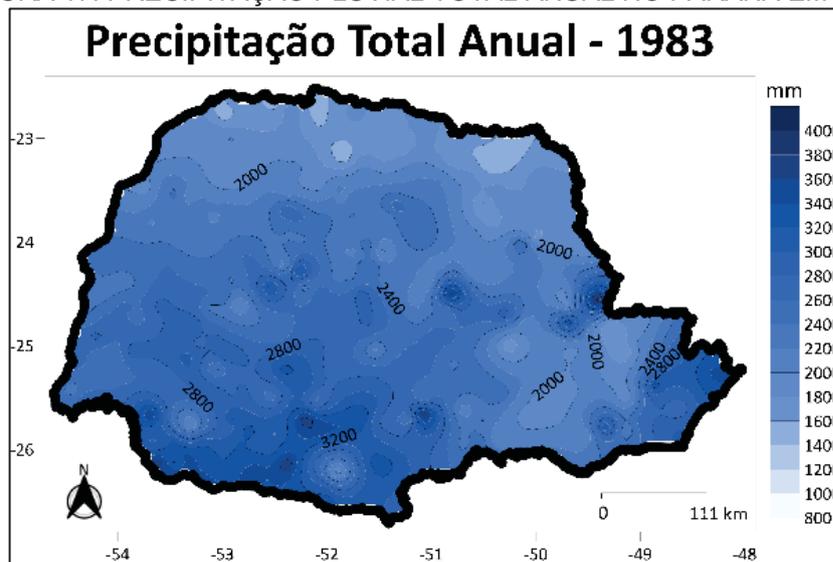
A partir da série histórica das precipitações totais anuais apresentada anteriormente, observa-se que os anos de 1983, 1998 e 2015 tiveram valores acumulados de precipitação pluvial acima do restante, tornando-os mais chuvosos em relação aos demais. Ao realizar uma breve análise da distribuição de chuvas no espaço geográfico é possível afirmar que o ano de 1983 possui os valores totais de chuva mais expressivos na história do Paraná, tendo regiões com registros pontuais que superam os 3.000 mm, chegando pontualmente a 3.200 mm precipitados no ano na porção sul.

Destaca-se que nesse ano (1983), o sudoeste paranaense, por exemplo, registrou valores de chuvas totais acima da média, quando comparado com anos de baixa precipitação, com médias entorno de 1.200 mm, enquanto as porções

historicamente reconhecidas pela alta pluviosidade, como o litoral e o centro-sul, mantiveram-se com valores elevados, acima de 2.800 mm (figura 17). Apesar da região norte apresentar os menores valores totais de precipitação pluvial, os acumulados ainda se revelaram expressivos em relação aos padrões da região, com valores de 1.800 a 2.000 mm, corroborando com a análise de um ano atípico chuvoso.

Uma das evidências que explicam esse aporte de chuva sobre a área estudada é o desenvolvimento do El Niño no Pacífico Equatorial Centro-Leste entre os anos de 1982-1983, sendo um dos responsáveis por aumentar as precipitações na região Sul do país. De acordo com Kayano e Moura (1986), o fenômeno perdurou no espaço geográfico entre os meses de junho de 1982 até meados de setembro de 1983, promovendo secas no Nordeste e Norte do Brasil e fortes chuvas no Equador, Peru e na região Centro-Sul do país, como destacados na figura 17.

FIGURA 17: PRECIPITAÇÃO PLUVIAL TOTAL ANUAL NO PARANÁ EM 1983



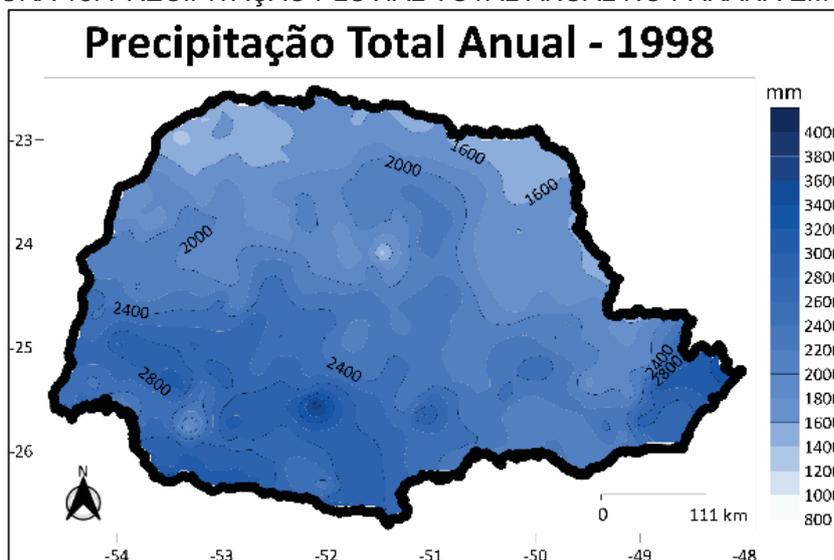
Fonte: do autor (2024).

Tais excessos de chuva também puderam ser constatados no ano de 1998, onde novamente o sudoeste paranaense se destacou pelos valores totais de chuva em sua área. De acordo com os dados disponíveis foram estimados, em média, mais de 2.200 mm de precipitação para o ano, ultrapassando zonas historicamente reconhecidas pelos acumulados pluviais expressivos, como o litoral do Estado, no qual registrou totais aproximados de 2.600 mm. Ao comparar com os anos menos expressivos para a região, como 1978 e 1985, é possível estabelecer a quantidade de

chuvas destinadas para a área, uma vez que nesses anos as médias totais de chuvas ficaram entorno de 1.240 mm e 1.172 mm, respectivamente.

Corroborando com as análises destacadas, outros estudos comprovam o excesso pluvial atípico originado em 1998 (figura 18), como por exemplo as análises de Nery e Siqueira (2020), onde constataram que entre os anos de 1997-1988 o evento de El Niño se manteve relativamente forte e intenso, sendo marcado por chuvas acima da média no sul do Estado e favorecendo as condições climatológicas encontradas, com desvios superiores a 700 mm nas médias pluviométricas anuais.

FIGURA 18: PRECIPITAÇÃO PLUVIAL TOTAL ANUAL NO PARANÁ EM 1998



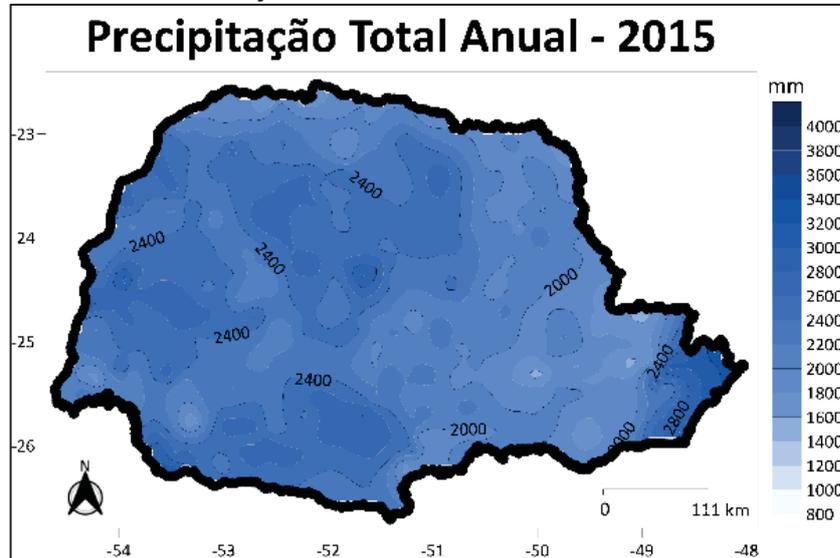
Fonte: do autor (2024)

Os autores ainda registram uma particularidade vista no ano de 2015 e comprovada no presente estudo em relação ao deslocamento e concentração das chuvas no Paraná, em que ao contrário dos períodos mais chuvosos, como observados anteriormente (1998), nesse ano, isto é, 2015, as precipitações pluviométricas se concentraram não apenas ao sul. Ao plotar o mapa de precipitação total para o ano de 2015 (figura 19), observa-se que praticamente todo o território paranaense esteve com totais de chuva na ordem de 2.000 mm, sendo a região centro-oeste a mais chuvosa.

Em concordância com os outros anos, o litoral também concentrou grandes volumes de chuva devido às interações entre oceano-continente, representando a

área com mais chuvas, ao mesmo tempo que a região centro-leste manteve os menores valores totais acumulados, com valores variando de 1.800 a 2.000 mm.

FIGURA 19: PRECIPITAÇÃO PLUVIAL TOTAL ANUAL NO PARANÁ EM 2015



Fonte: do autor (2024).

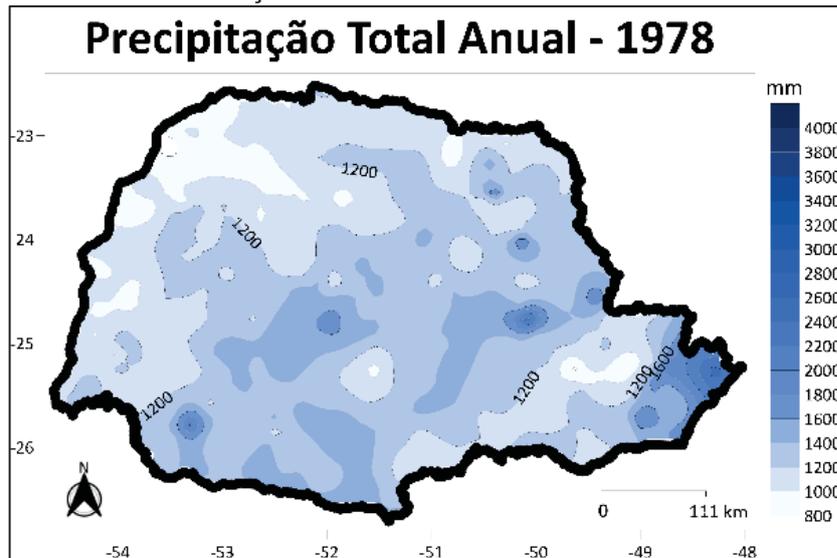
4.1.2 PRINCIPAIS ANOS SECOS AO LONGO DA SÉRIE HISTÓRICA

Ao contrário do que foi exposto anteriormente, o Paraná também sofreu com grandes períodos de déficit pluvial, uma vez que a atuação de sistemas atmosféricos e padrões de variabilidade entre o oceano-continente-atmosfera desfavoreceram a formação das chuvas. Ao analisar a série histórica dos últimos 45 anos, percebeu-se que os anos de 1978, 1985 e 2020 foram os períodos com menores totais de chuva acumulados, com médias entorno de 1.240 mm, 1.172 mm e 1.256 mm respectivamente, e posteriormente com as maiores anomalias de precipitação negativa, tendo o ano de 2020 como um dos mais secos da história.

No que tange as distribuições de chuva para o ano de 1978 (figura 20), nota-se que grande parte do oeste esteve com acumulados de precipitação no entorno de 1.000 mm, enquanto áreas do norte e sul também seguiram as mesmas condições, acrescentando pouco mais de 300 mm aos totais anuais registrados no oeste. O litoral, embora seja a área do Estado com maior expressividade pluvial em 1978, ainda está abaixo do esperado para seus padrões habituais climatológicos, se compararmos, por

exemplo, com outras épocas (figura 16). Para Nery et al. (1997), a ocorrência dessas chuvas fracas desencadeou um período de seca para o Estado, de modo que no verão, principal época para o desenvolvimento das chuvas na localidade, tal anomalia foi caracterizada como intensa e moderada, resultando na diminuição de precipitação, como observado na figura 20.

FIGURA 20: PRECIPITAÇÃO PLUVIAL TOTAL ANUAL NO PARANÁ EM 1978

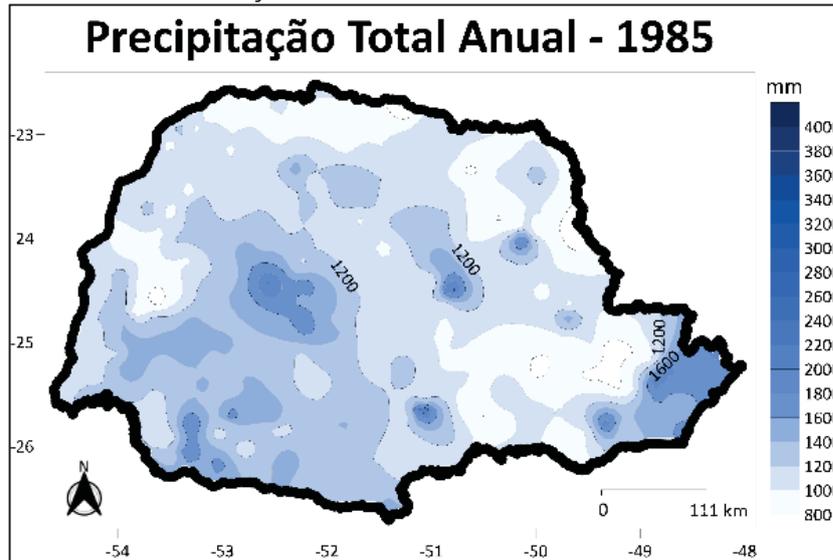


Fonte: do autor (2024).

Outro ano a registrar baixos totais de precipitação pluvial foi 1985 (figura 21), onde praticamente todo o território paranaense registrou médias totais anuais de 1.172 mm, com exceção novamente do litoral que se manteve entre os maiores acumulados, com aproximadamente 1.600 mm. Conforme Nery et al. (2005), uma das justificativas para os valores pluviométricos inferiores às condições normais foi a atuação da La Niña no Paraná, fenômeno este que inibe a ocorrência de chuvas na região sul do Brasil, acarretando assim o desenvolvimento das secas.

Dessa forma, observa-se que em 1985 todo o Estado apresentou um saldo negativo de baixa produção e distribuição das chuvas, de modo que os locais que sempre foram favorecidos pelas fortes precipitações acabaram tendo sua diminuição de maneira expressiva, especialmente a zona norte do Estado, com intervalos próximos de 1.100 mm. Diante desse fato, Terassi et al., (2018) explicam que este ano foi responsável por evidenciar de forma clara a atuação da La Niña para a redução das chuvas nessa área, culminando em déficits pluviométricos na área conforme aponta a figura 21.

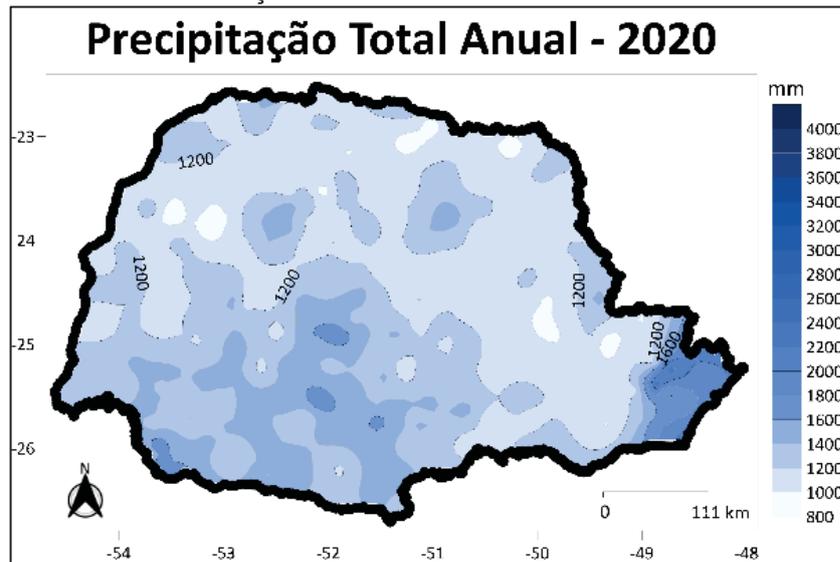
FIGURA 21: PRECIPITAÇÃO PLUVIAL TOTAL ANUAL NO PARANÁ EM 1985



Fonte: do autor (2024).

Por fim, o último ano analisado foi o de 2020, onde os valores de chuva estiveram entre os mais baixos da história do Paraná, como demonstrados na figura 22. Na região central, os acumulados de chuva totalizaram entorno de 1.200 mm, enquanto nas porções mais extremas do Estado, como o sul, e também o litoral do território, os valores variaram entorno de 1.300 mm, semelhantes aos demais períodos de déficit pluviométrico. Um dos motivos pelos quais houve uma baixa pluviosidade com a combinação de atuação da La Niña com outros modos de variabilidade, como o SAM (Modo Anular Sul) e Madden-Julian (MJO), em diferentes períodos, os quais dificultaram a chegada da chuva no Estado e possibilitaram as condições de estabelecimento da seca, o que explica eventualmente os baixos índices de chuva destacados na figura 22 (GRIMM, 2019; GOMES et al., 2021).

FIGURA 22: PRECIPITAÇÃO PLUVIAL TOTAL ANUAL NO PARANÁ EM 2020



Fonte: do autor (2024).

Como nos períodos de excedente pluviométrico, manifestados pelo El Niño, as alterações entre oceano-atmosfera promovidas pela La Niña contribuíram para os baixos valores totais de precipitação no Estado do Paraná (1978, 1985 e 2020). Reforçando a importância do ENOS na distribuição de chuvas para o Estado, Salton e Lohmann (2021) demonstraram a forte ligação entre a atuação da La Niña com os períodos secos para o território, especialmente na frequência e intensidade das anomalias. Ao destacar o fortalecimento dos ventos alísios combinados com o deslocamento da célula de Hadley e dos sistemas atmosféricos frontais responsáveis por originar chuvas para a região sul do Brasil, os autores revelaram a diminuição de precipitação pluvial e o aparecimento dos déficits pluviais, resultando assim nos cenários de seca para o Estado.

4.2 ANÁLISE DOS SPI 3, 6 E 12 MESES PARA O ESTADO DO PARANÁ

Ao aplicar o Índice de Precipitação Padronizada (SPI) para a série histórica de 45 anos, revelou-se padrões significativos nos diferentes intervalos temporais propostos (3, 6 e 12 meses). No intervalo de 3 meses a sensibilidade do índice permitiu identificar flutuações mensais de déficit pluvial, o torna particularmente útil para averiguar condições curtas de secas no espaço geográfico e seus impactos em diversos setores, sobretudo o agrícola e de abastecimento hídrico.

Ao observar as anomalias pluviais destacadas na figura 23, foi possível evidenciar que os anos de 1978, 1985, 1988, 1991, 2006, 2019, 2020 e 2021 se

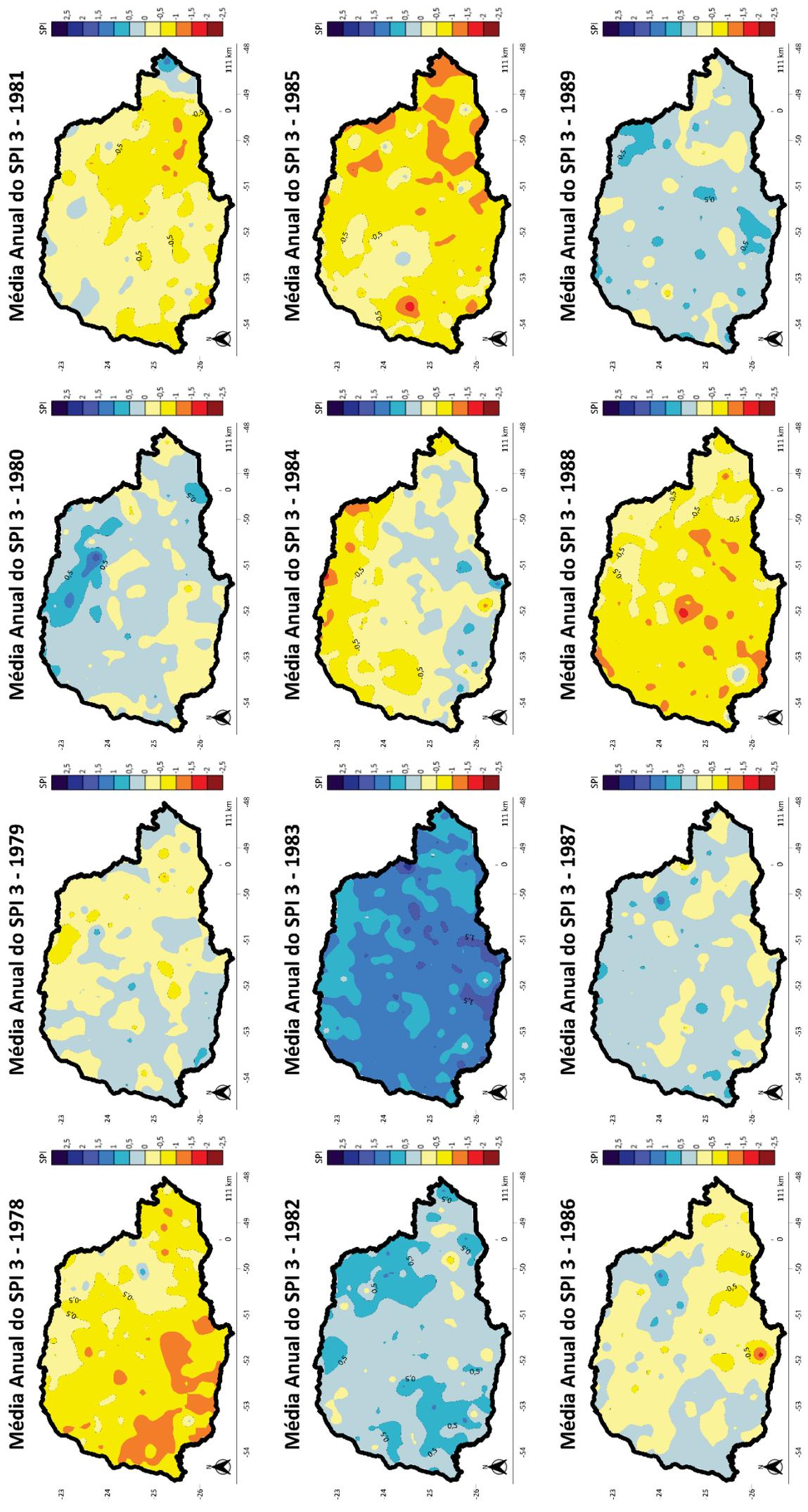
sobressaíram em relação aos demais períodos, onde os desvios estiveram entorno de -1,0, configurando situações de seca moderada (Mckee et al., 1993). O ano de 1978, por exemplo, apresentou um dos primeiros anos de seca na série, com desvios acentuados no sudoeste do Estado (acima de 1,5) e boa parte no noroeste e leste. Tal quadro explicitado é reflexo das chuvas abaixo do esperado identificadas para o ano (figura 20), sendo as áreas destacadas as mais atingidas.

Outros episódios críticos de seca num intervalo temporal curto puderam ser revelados no ano de 2006, onde o déficit pluvial impactou diretamente a produção agrícola no território (FERNANDES et al., 2006). A análise breve para esse ano revelou um quadro negativo de persistência do fenômeno, especialmente na região Centro-Sul em que grandes manchas caracterizaram a área com desvio de -1,5 a -2,0. Embora não fosse a região com menores acúmulos de precipitação pluvial, conforme a figura 16, nota-se uma severidade à medida que o espaço é reconhecido por grandes cargas de chuva durante todas as épocas do ano.

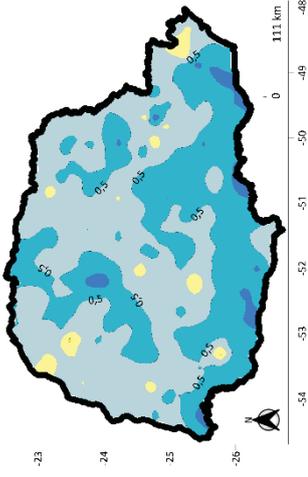
A persistência da seca entre os anos de 2019-2021 também ganhou notoriedade em relação a série histórica, devido a longa duração do fenômeno. Os déficits pluviométricos promoveram um colapso a curto, médio e longo prazo (figura 23) nos sistemas de abastecimento hídrico, geração de energia e produção agrícola em todo o Estado, de modo a implementar políticas públicas para mitigação dos impactos (CARVALHO et al., 2021). Tais desvios, assim como os demais anos secos, mantiveram-se entorno de -1,0 em praticamente todo o período, com exceção ao ano de 2020, onde parte do litoral paranaense e primeiro planalto se manteve em situação de seca severa.

Nos demais anos com déficit pluvial, anomalia climática das secas perpetuo em diferentes intensidades, porém revelando sua manifestação no território. Dessa forma, ao sublinhar a relevância do SPI 3 a análise crítica e curta da seca no espaço geográfico é necessário investigar se tais quadros perpetuaram e intensificaram nos demais intervalos temporais.

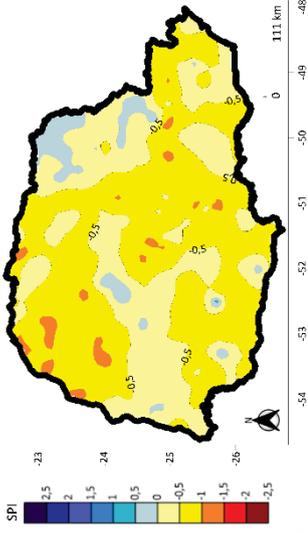
FIGURA 23: MÉDIA ANUAL DO SPI3 PARA A SÉRIE HISTÓRICA DE 1978-2022 DO PARANÁ



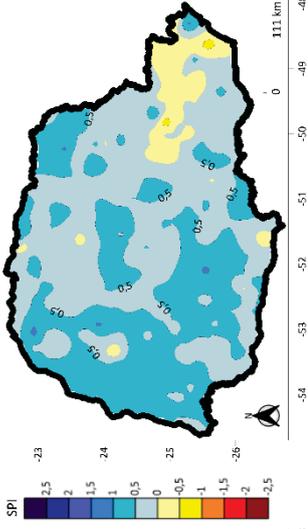
Média Anual do SPI 3 - 1990



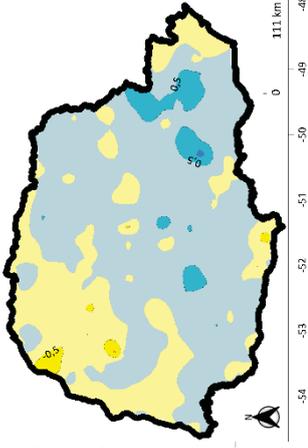
Média Anual do SPI 3 - 1991



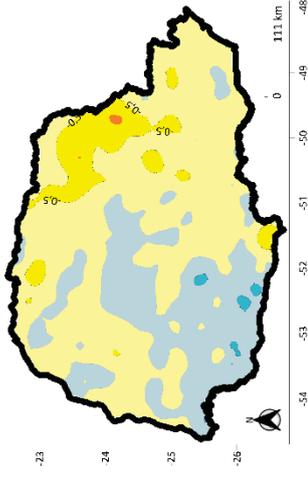
Média Anual do SPI 3 - 1992



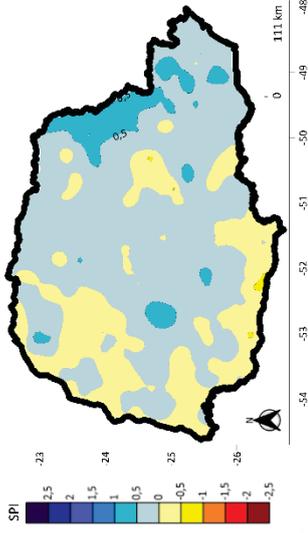
Média Anual do SPI 3 - 1993



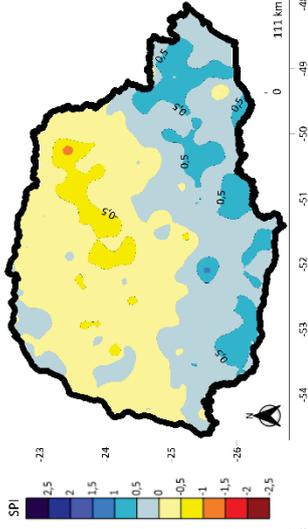
Média Anual do SPI 3 - 1994



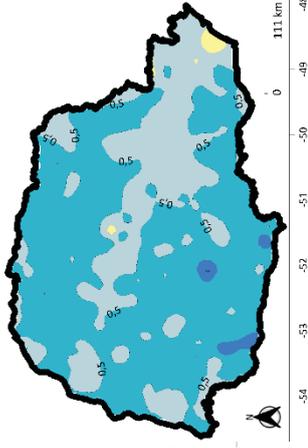
Média Anual do SPI 3 - 1995



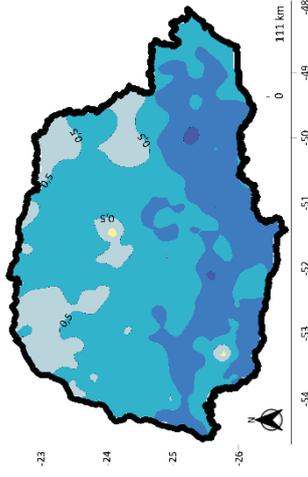
Média Anual do SPI 3 - 1996



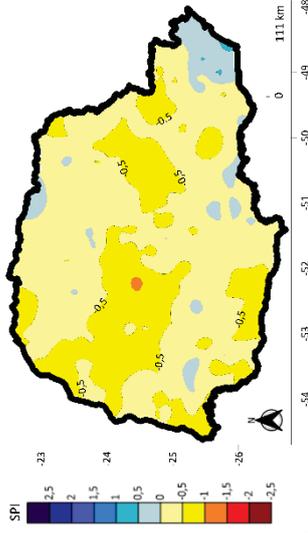
Média Anual do SPI 3 - 1997



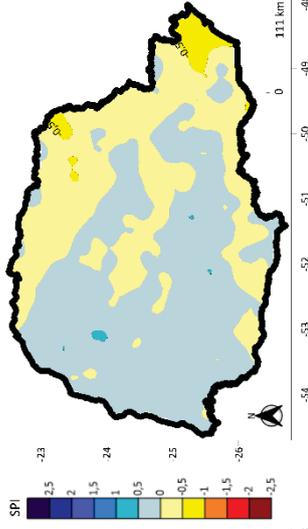
Média Anual do SPI 3 - 1998



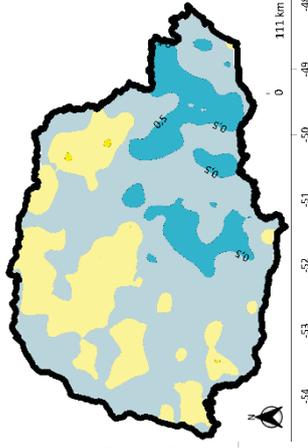
Média Anual do SPI 3 - 1999



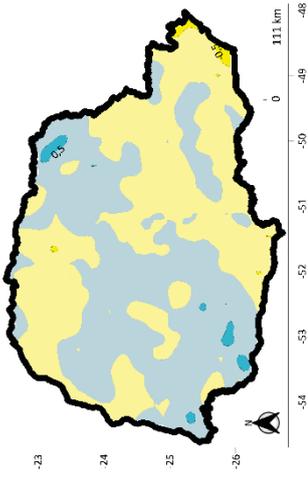
Média Anual do SPI 3 - 2000



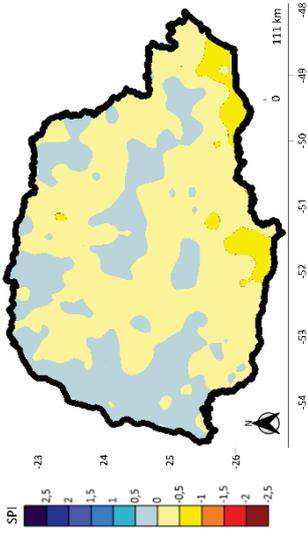
Média Anual do SPI 3 - 2001



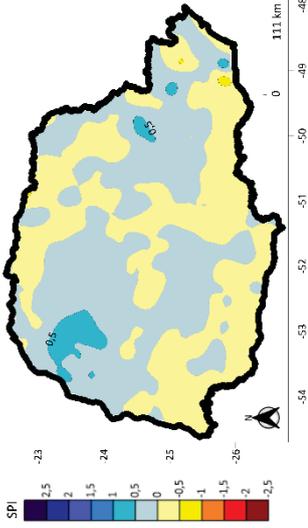
Média Anual do SPI 3 - 2002



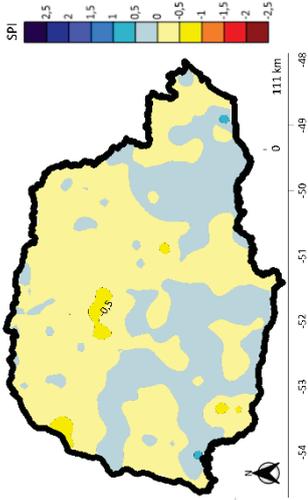
Média Anual do SPI 3 - 2003



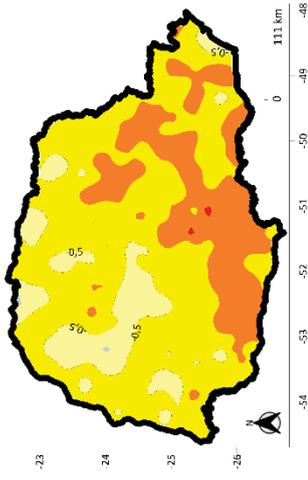
Média Anual do SPI 3 - 2004



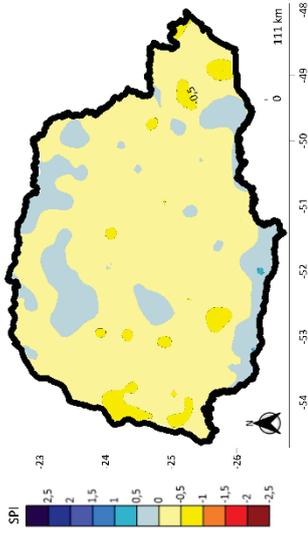
Média Anual do SPI 3 - 2005



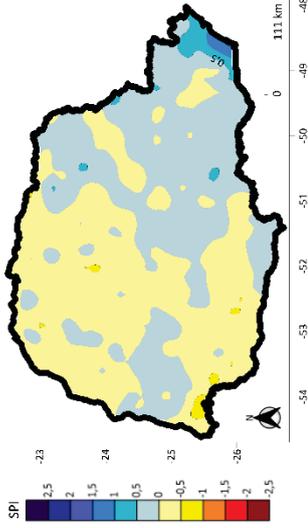
Média Anual do SPI 3 - 2006



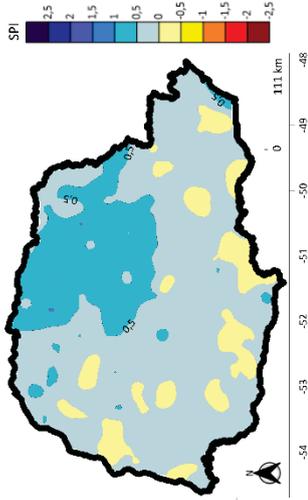
Média Anual do SPI 3 - 2007



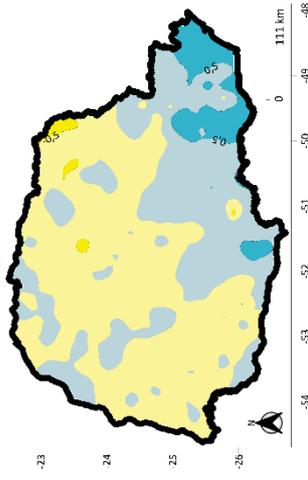
Média Anual do SPI 3 - 2008



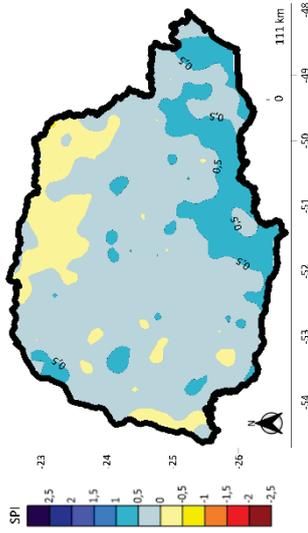
Média Anual do SPI 3 - 2009



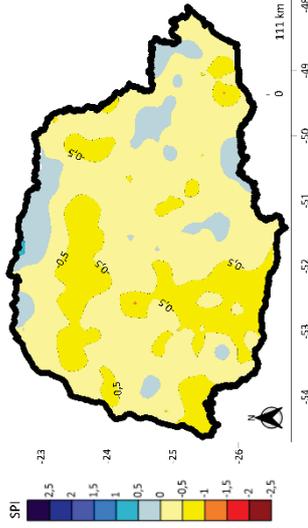
Média Anual do SPI 3 - 2010



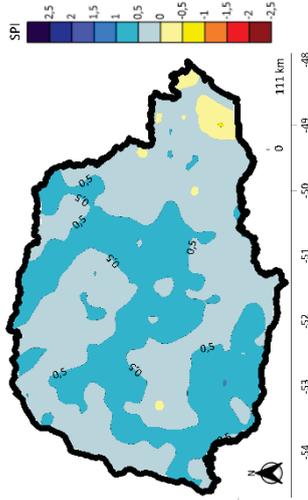
Média Anual do SPI 3 - 2011



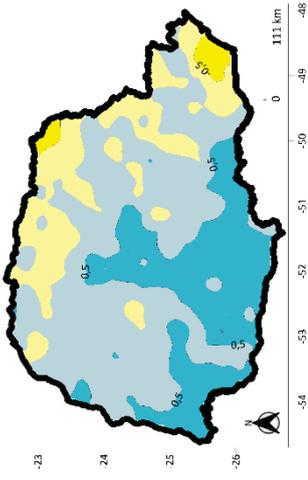
Média Anual do SPI 3 - 2012



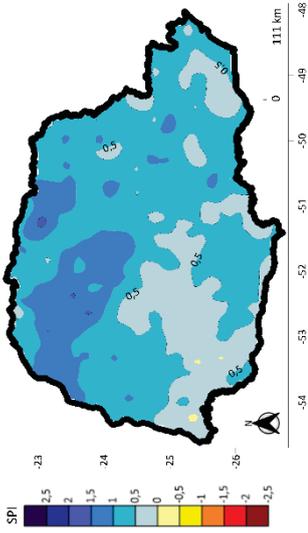
Média Anual do SPI 3 - 2013



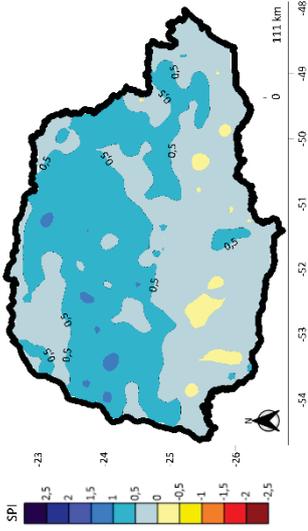
Média Anual do SPI 3 - 2014



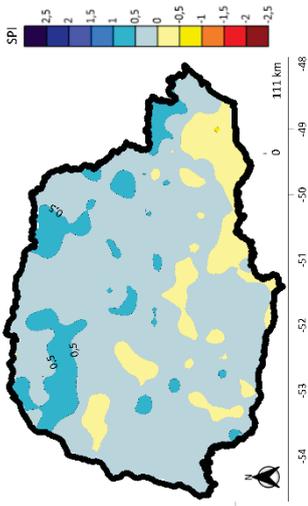
Média Anual do SPI 3 - 2015



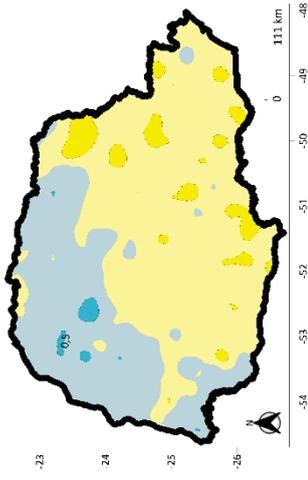
Média Anual do SPI 3 - 2016



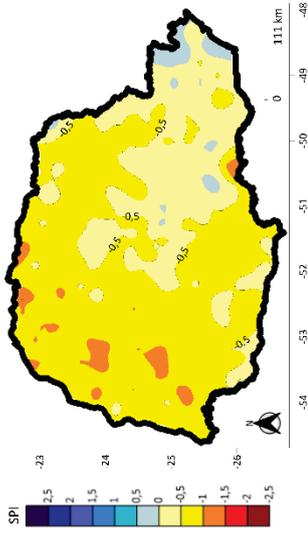
Média Anual do SPI 3 - 2017



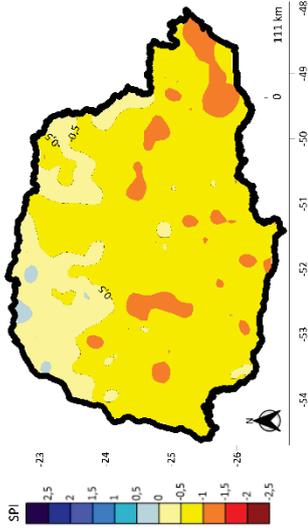
Média Anual do SPI 3 - 2018



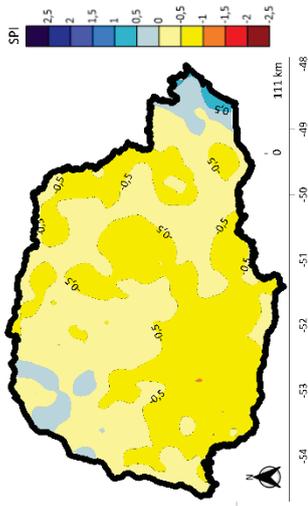
Média Anual do SPI 3 - 2019



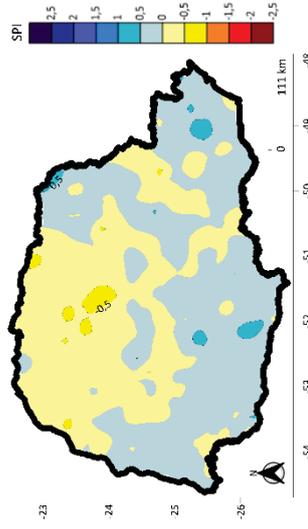
Média Anual do SPI 3 - 2020



Média Anual do SPI 3 - 2021



Média Anual do SPI 3 - 2022



Fonte: do autor (2024)

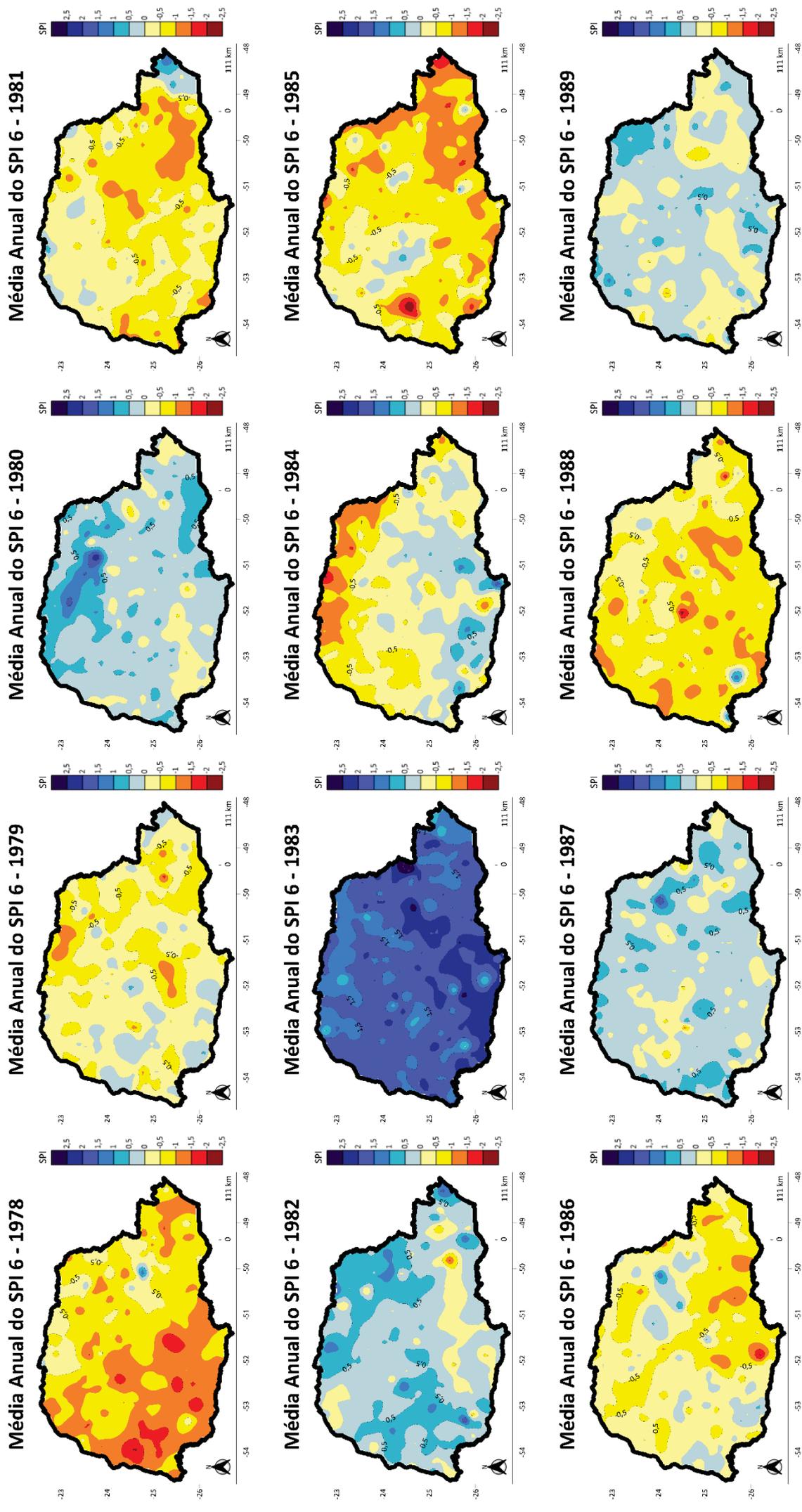
Em relação as análises obtidas a partir do SPI6, presentes na figura 24, foi possível evidenciar um agravamento em relação aos períodos secos identificados no SPI 3 (1978, 1985, 1988, 1991, 2006, 2019, 2020 e 2021). Tal escala revelou tendências marcantes de déficits pluviais, especialmente por abarcar secas sazonais prolongadas, que ultrapassam estações do ano específicas. Em relação aos desvios de 1978, nota-se uma intensificação da anomalia na região sudoeste do Estado, sendo que esta já estava em situação de seca moderada, isto é, desvio entorno de -1,0.

Na escala semestral, as secas moderadas deram espaço as secas severas e extremas em alguns pontos, o que pode ter acarretado impactos ambientais e sociais, como no verão, onde foram observados desvios expressivos (NERY et al., 1997). Já no ano de 1985, por exemplo, os autores identificaram anomalias negativas de precipitação, assim como demonstrados na figura 23, podendo explicar a situação de seca para esta época. Neste período, a região leste do Estado se manteve com desvios acima de -1,5 e até -2,0 em algumas áreas do oeste, evidenciando assim a perpetuidade da anomalia climática.

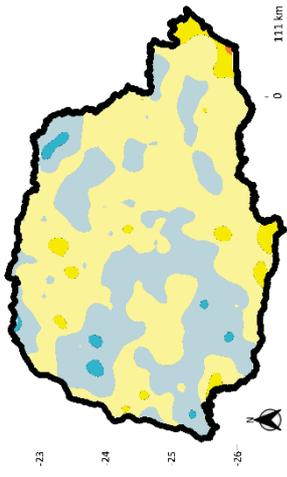
Em 2006, as condições de seca no Estado do Paraná alcançaram níveis críticos, com impactos mais severos nas regiões do centro-sul e sudeste. Os dados do SPI revelaram desvios significativos de precipitação, abaixo de -1,5, enquanto em áreas mais interiorizadas, como o centro-oeste e noroeste, as secas se mantiveram moderadas. Esta dinâmica também pode ser observada nos anos de 1988 e 1991, onde grande parte do território apresentou aspectos semelhantes em relação ao desenvolvimento das secas moderadas, com exceção do noroeste do Estado, em que no ano de 1991 os totais de chuvas acumulados (figura 16) propiciaram o agravamento do fenômeno para aquela área.

O ano de 2019 a 2021, a situação de severidade perpetuou, especialmente no ano de 2020, ano este que ficou reconhecido como um dos períodos mais secos da história do Paraná. Ao analisar o mapa para aquele ano, constatou-se um agravamento na intensidade dos desvios de precipitação pluvial na região leste, reconhecida historicamente pela alta concentração de chuvas. O SPI para tal área variou entre -1,5 e -2,0, comprovando o colapso social, ambiental e econômico vivenciado por milhares de habitantes dependentes dos sistemas hídricos. Para tanto, tais comprovações podem ser analisadas na figura 24.

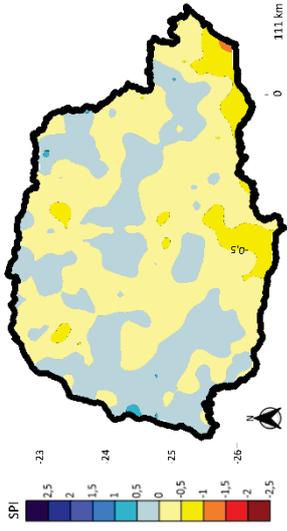
FIGURA 24: MÉDIA ANUAL DO SPI6 PARA A SÉRIE HISTÓRICA DE 1978-2022 DO PARANÁ



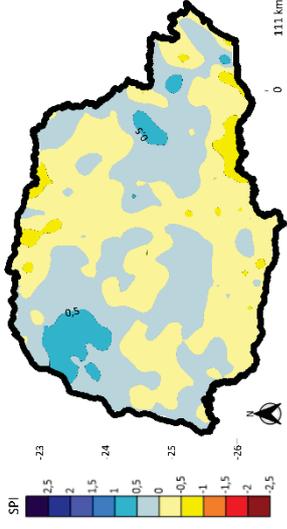
Média Anual do SPI 6 - 2002



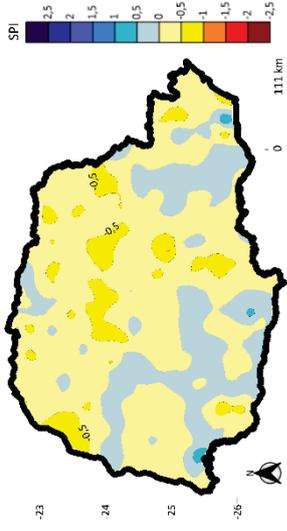
Média Anual do SPI 6 - 2003



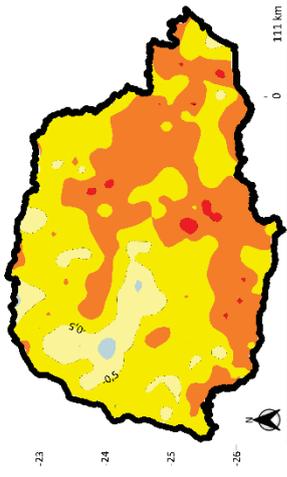
Média Anual do SPI 6 - 2004



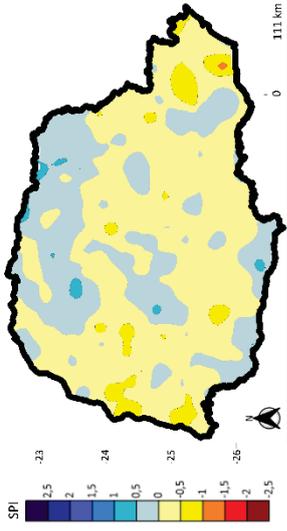
Média Anual do SPI 6 - 2005



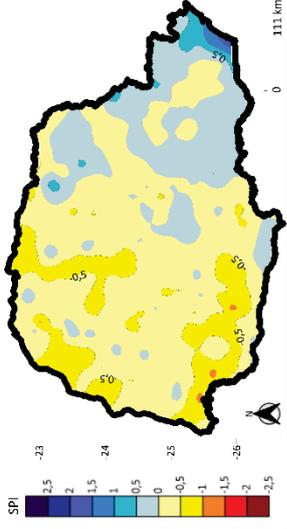
Média Anual do SPI 6 - 2006



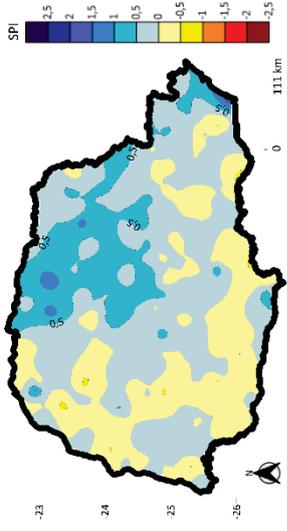
Média Anual do SPI 6 - 2007



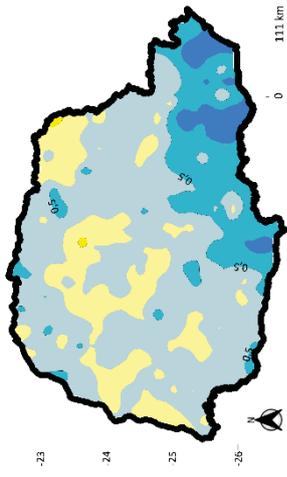
Média Anual do SPI 6 - 2008



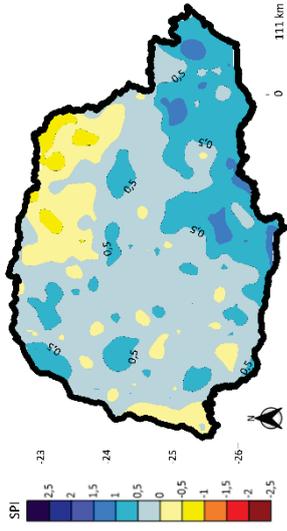
Média Anual do SPI 6 - 2009



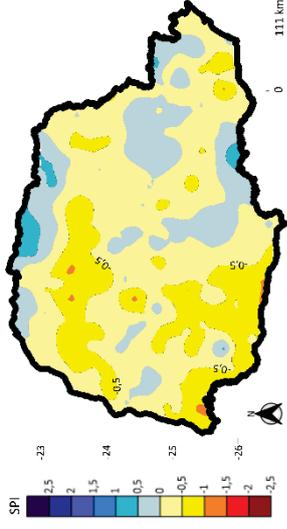
Média Anual do SPI 6 - 2010



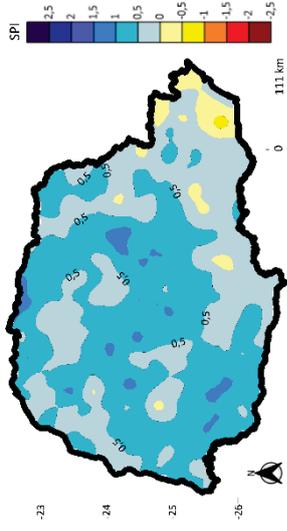
Média Anual do SPI 6 - 2011



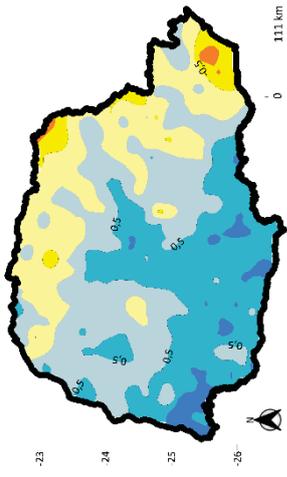
Média Anual do SPI 6 - 2012



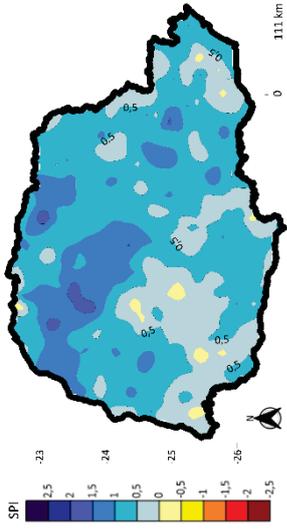
Média Anual do SPI 6 - 2013



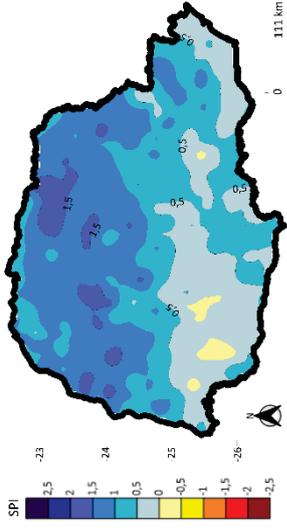
Média Anual do SPI 6 - 2014



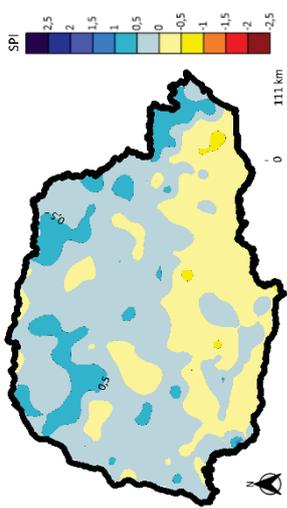
Média Anual do SPI 6 - 2015



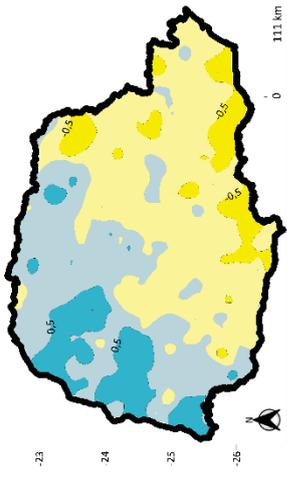
Média Anual do SPI 6 - 2016



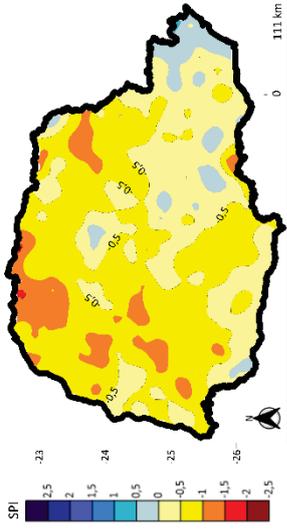
Média Anual do SPI 6 - 2017



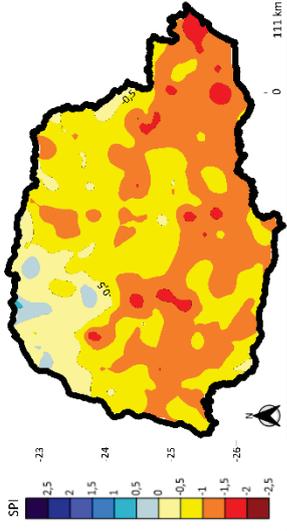
Média Anual do SPI 6 - 2018



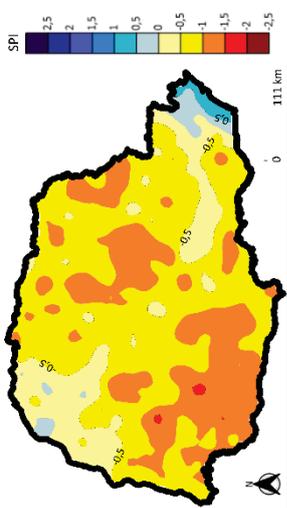
Média Anual do SPI 6 - 2019



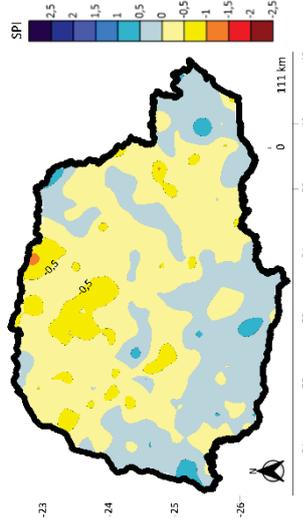
Média Anual do SPI 6 - 2020



Média Anual do SPI 6 - 2021



Média Anual do SPI 6 - 2022



Fonte: do autor (2024).

Somando a isso, as observações promovidas no intervalo de 12 meses ofereceram uma análise a longo prazo, refletindo condições acumuladas que auxiliaram a compreender a persistência, intensidade e seus possíveis impactos das secas. Os desvios negativos, como nos demais anos, prevaleceram entre os períodos já citados (1978, 1985, 1988, 1991, 2006, 2019, 2020 e 2021), contudo notou-se uma alteração em relação a intensificação e redução das secas nessa escala temporal, como por exemplo nos anos de 1985 e 1991.

Em 1991, as condições de seca, a partir da aplicação do SPI6, prevaleciam com desvios entorno de -1,0, caracterizando *status* de moderado conforme a classificação de Mckee et al. (1993), entretanto ao averiguar a continuidade da anomalia climática no acumulado temporal, evidenciou-se uma diminuição na sua intensidade, haja vista que os desvios passaram para -0,5, revelando um quadro de seca incipiente. Além disso, pontos até então secos começaram a se tornar úmidos, como no sudoeste, mostrando a variabilidade pluvial na região.

Apesar das alterações de redução em algumas áreas exemplificadas, o padrão de intensificação das secas em outros anos se mostrou relevante. Anos como 1986, 2000 e 2008 apontaram desvios negativos acentuados no território, resultados de somatórios de déficits pluvias intensos. Em 1986, por exemplo, regiões úmidas identificadas no SPI 3, deram espaços para áreas secas no SPI6, de modo que no SPI12 os desvios de -2,0 (extremamente seco) reforçaram tais condições. Logo, áreas como o sudeste puderam vivenciar situações críticas de secas em intervalos temporais longos.

Em épocas como 2000 e 2008, condicionados a esse processo de aumento categórico das secas, moderadas para severas, observou-se a influência novamente dos fenômenos de larga escala, como o ENOS. De acordo com Calderon e Borsato (2017), em 2020, a atuação da La Niña combinada com o fortalecimento do jato polar inibiu a atuação de sistemas frontais, influenciando o regime de chuvas na região Sul, sobretudo no Paraná. Dessa forma, esta dinâmica é capaz de explicar os desvios de -1,0 e -1,5 acometidos em diversos trechos, como na região centro-leste.

Considerando ainda as afirmações dos autores, em 2008 foram identificadas novas anomalias de TSM, indicando uma formação da La Niña para o Estado. Autores como Terassi et al., (2018) também identificaram a atuação do fenômeno no território, corroborando com a redução das chuvas descritas no presente trabalho (figura 16), resultando novamente na intensificação de secas na porção oeste. A tabela a seguir

comprova a ação da La Niña com as secas apresentadas por meio das aplicações do SPI 3, 6 e 12 meses.

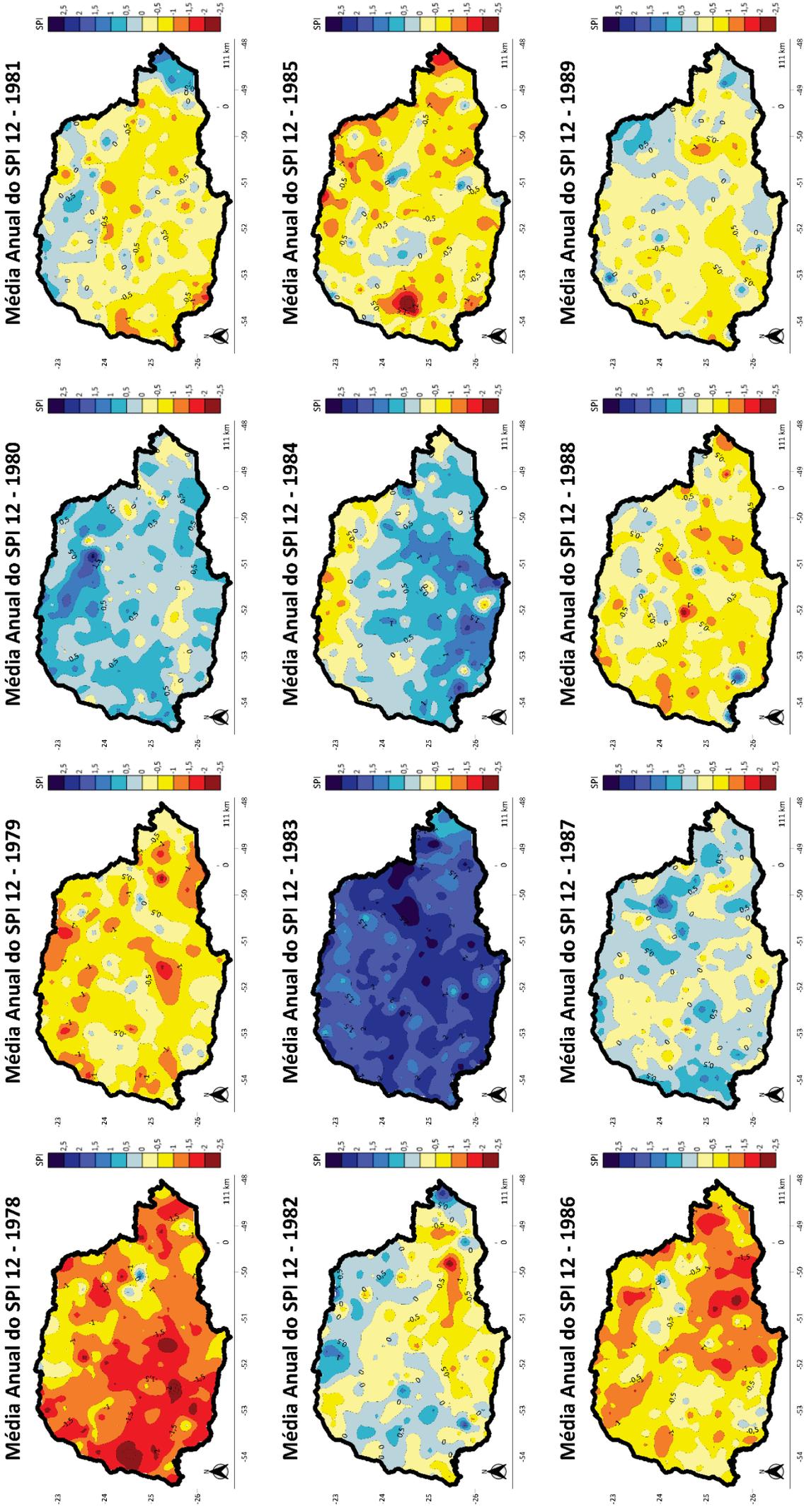
FIGURA 25: EVENTOS DE LA NIÑA E SUA INTENSIDADE ENTRE 1976-2019

El Niño (EN)	Tipo (DJF)	Intensidade	La Niña (LN)	Tipo (DJF)	Intensidade
1976 - 1977	EP	Fraca	1975 - 1976	MX	Forte
1977 - 1978	CP	Fraca	1983 - 1984	MX	Fraca
1979 - 1980	MX	Fraca	1984 - 1985	EP	Fraca
1982 - 1983	EP	Muito forte	1988 - 1989	MX	Forte
1986 - 1987	MX	Moderada	1995 - 1996	MX	Moderada
1987 - 1988	MX	Forte	1998 - 1999	CP	Forte
1991 - 1992	MX	Forte	1999 - 2000	MX	Forte
1994 - 1995	CP	Moderada	2000 - 2001	CP	Fraca
1997 - 1998	EP	Muito forte	2005 - 2006	EP	Fraca
2002 - 2003	MX	Moderada	2007 - 2008	MX	Forte
2004 - 2005	CP	Fraca	2008 - 2009	CP	Fraca
2006 - 2007	MX	Fraca	2010 - 2011	MX	Forte
2009 - 2010	MX	Moderada	2011 - 2012	CP	Moderada
2014 - 2015	CP	Fraca	2017 - 2018	EP	Fraca
2015 - 2016	EP	Muito Forte			
2018 - 2019	MX	Fraca			

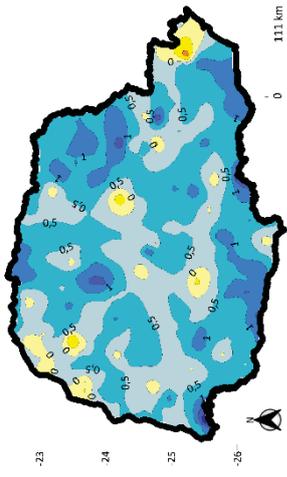
Fonte: Goudard (2023).

Por fim, os anos de 1978 e 2020 foram os que mais se destacaram na análise do SPI12, uma vez que em ambos a situação extrema de seca esteve presente em todo o Estado. Em 1978, praticamente toda a parte noroeste apresentou desvios superiores a -2,0 e/ou -2,5, enquanto esta situação em 2020 se concentrava mais a leste, o que agravou ainda mais a produção de energia e abastecimento hídrico para referido ano. Nessa perspectiva, a partir das observações realizadas no presente trabalho, detectou-se a necessidade de realizar um recorte histórico na última seca expressiva do Paraná (2019-2022), na tentativa de compreender e delimitar sua ocorrência e intensidade.

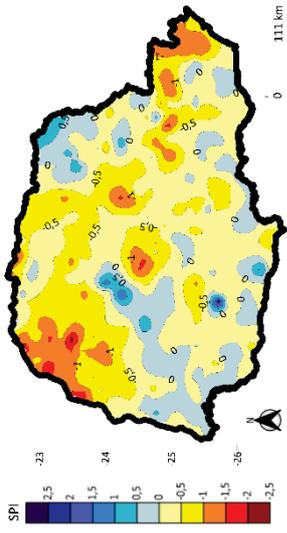
FIGURA 26: MÉDIA ANUAL DO SPI12 PARA A SÉRIE HISTÓRICA DE 1978-2022 DO PARANÁ



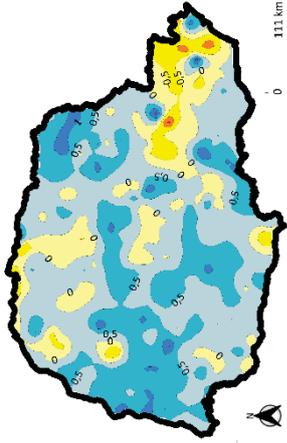
Média Anual do SPI 12 - 1990



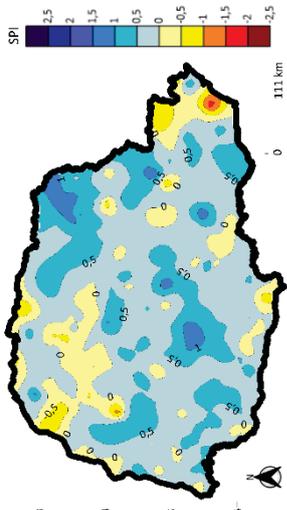
Média Anual do SPI 12 - 1991



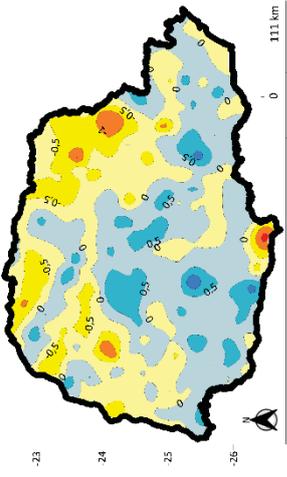
Média Anual do SPI 12 - 1992



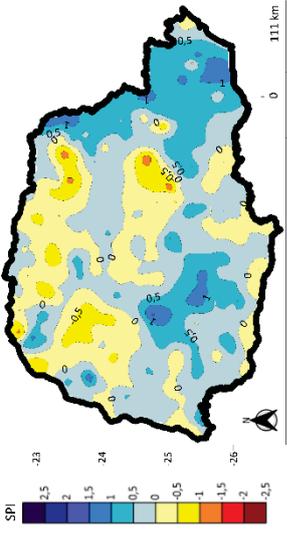
Média Anual do SPI 12 - 1993



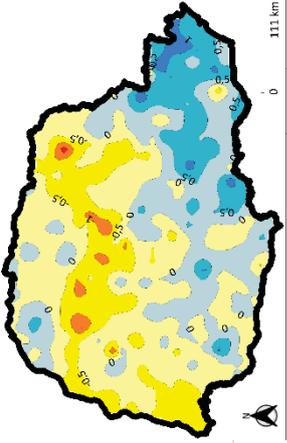
Média Anual do SPI 12 - 1994



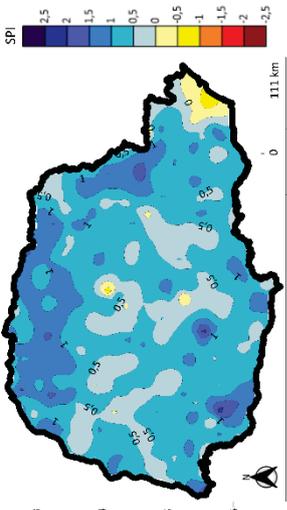
Média Anual do SPI 12 - 1995



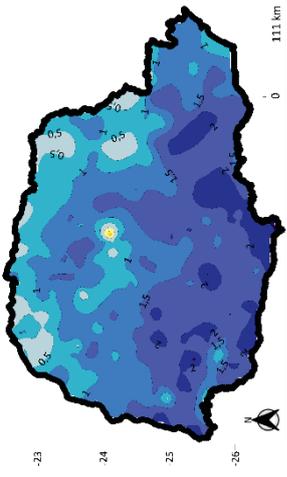
Média Anual do SPI 12 - 1996



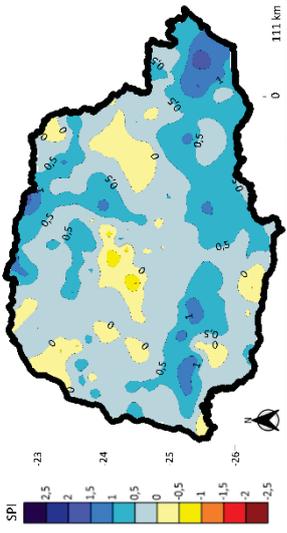
Média Anual do SPI 12 - 1997



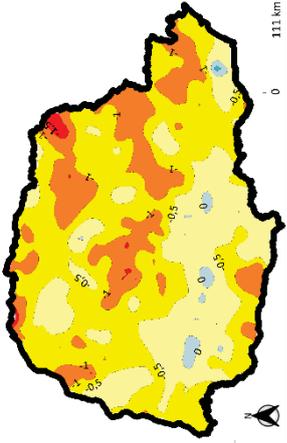
Média Anual do SPI 12 - 1998



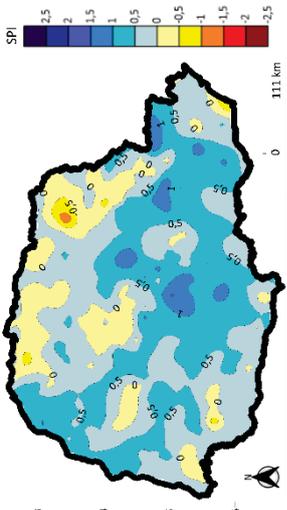
Média Anual do SPI 12 - 1999



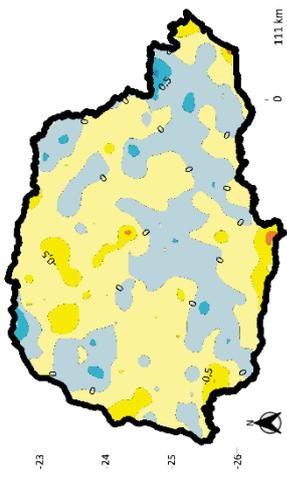
Média Anual do SPI 12 - 2000



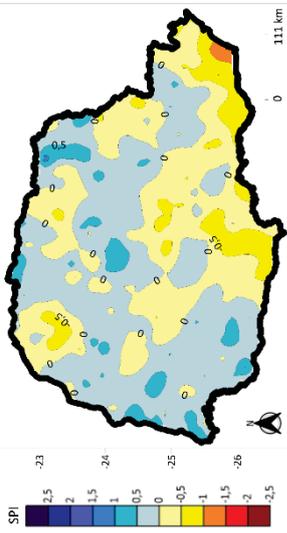
Média Anual do SPI 12 - 2001



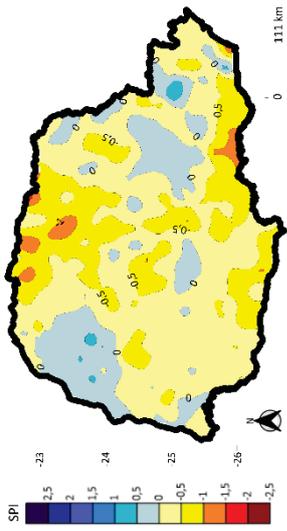
Média Anual do SPI 12 - 2002



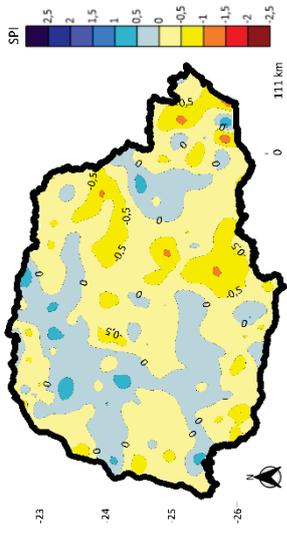
Média Anual do SPI 12 - 2003



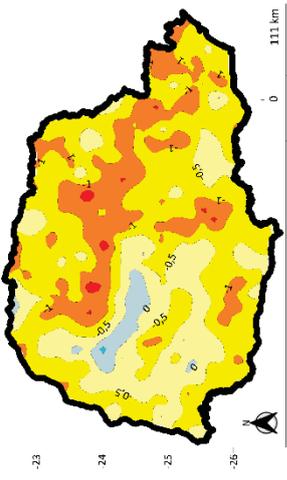
Média Anual do SPI 12 - 2004



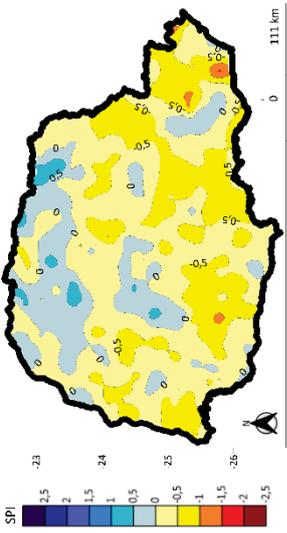
Média Anual do SPI 12 - 2005



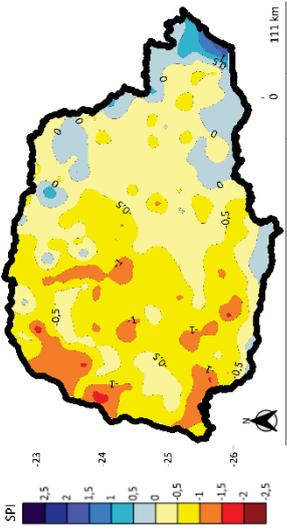
Média Anual do SPI 12 - 2006



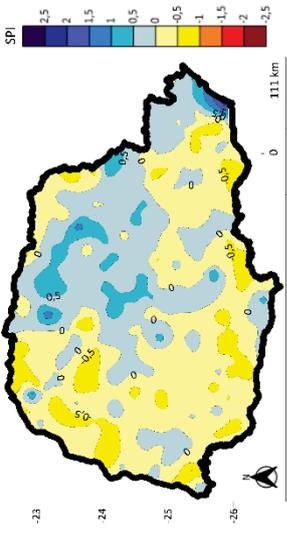
Média Anual do SPI 12 - 2007



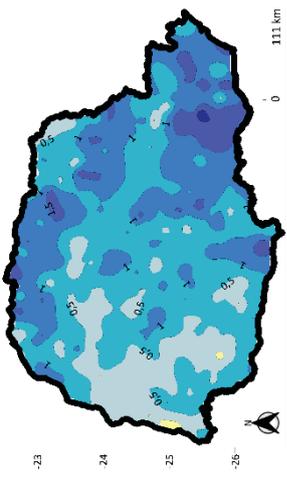
Média Anual do SPI 12 - 2008



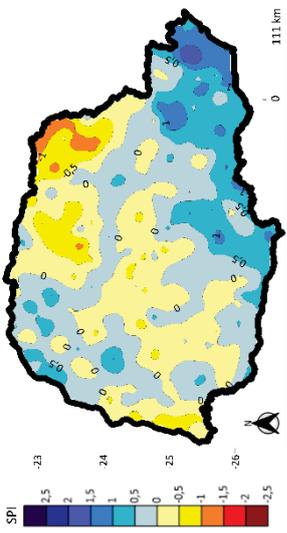
Média Anual do SPI 12 - 2009



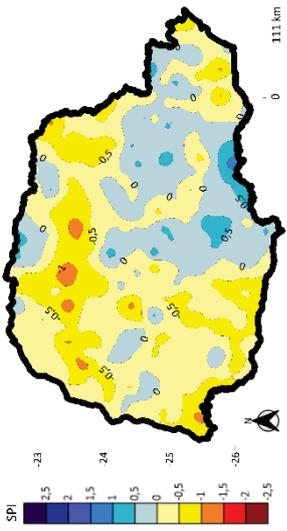
Média Anual do SPI 12 - 2010



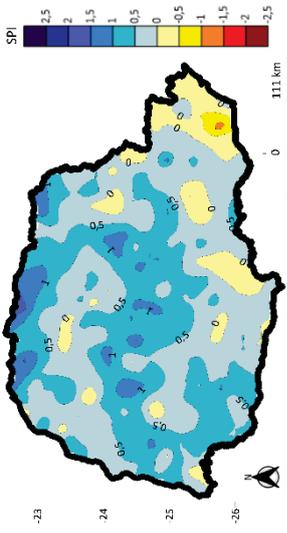
Média Anual do SPI 12 - 2011



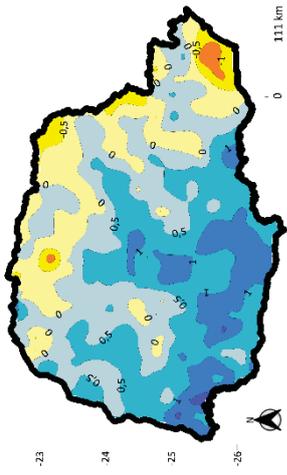
Média Anual do SPI 12 - 2012



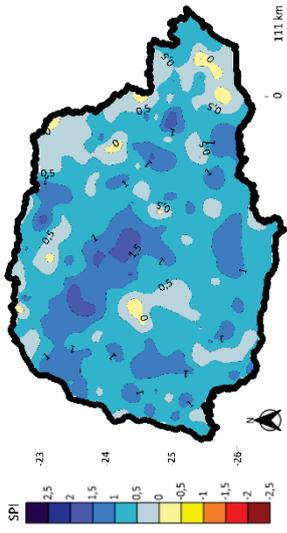
Média Anual do SPI 12 - 2013



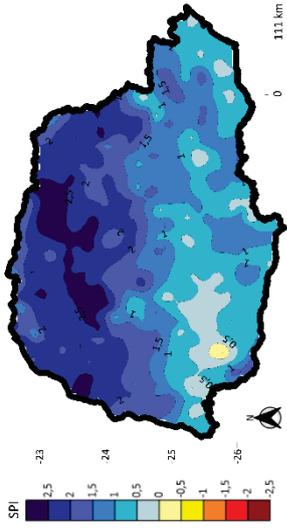
Média Anual do SPI 12 - 2014



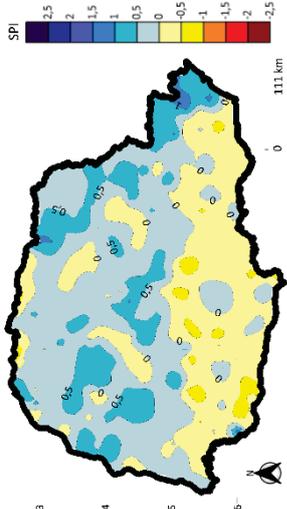
Média Anual do SPI 12 - 2015



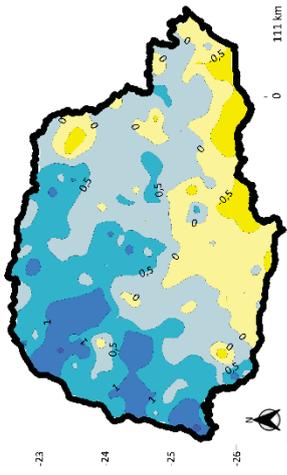
Média Anual do SPI 12 - 2016



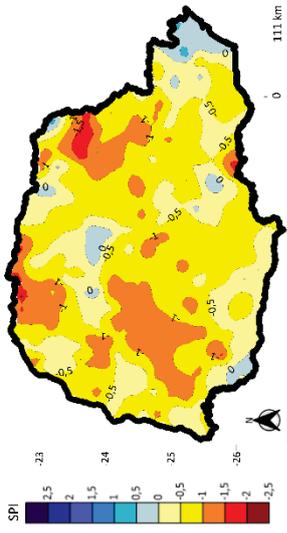
Média Anual do SPI 12 - 2017



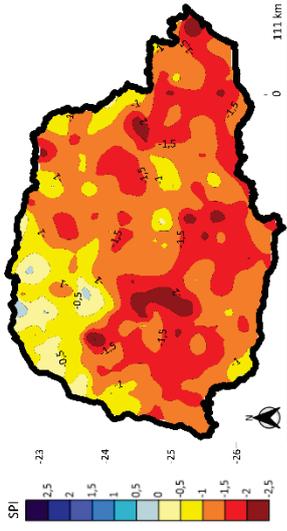
Média Anual do SPI 12 - 2018



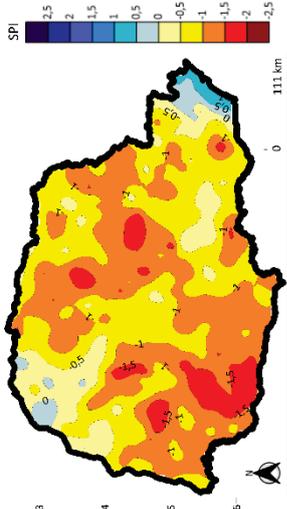
Média Anual do SPI 12 - 2019



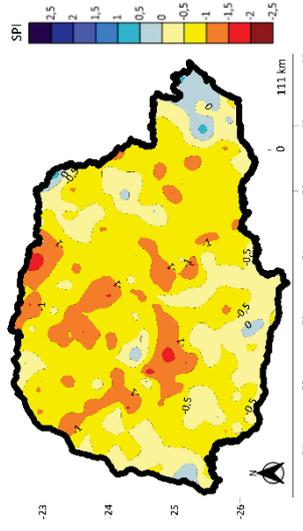
Média Anual do SPI 12 - 2020



Média Anual do SPI 12 - 2021



Média Anual do SPI 12 - 2022



Fonte: do autor (2024).

4.3 A SECA DE 2019-2022 NO PARANÁ

As secas ocorridas entre 2020-2022 no Estado do Paraná impactaram fortemente diversos setores da sociedade, especialmente o de abastecimento hídrico, geração de energia e de produção agrícola. Segundo Júnior e Casola (2024), uma das causas para o desenvolvimento da anomalia climática se referiu a atuação da La Niña nesse intervalo temporal, onde mudanças nos padrões atmosféricos e oceânicos alteraram os regimes de chuvas na região centro-sul do país, intensificando os períodos de déficit pluvial para a área.

Nessa perspectiva, no intuito de corroborar com os estudos climatológicos se faz necessário recorrer a fontes externas, como notícias de jornais, matérias televisivas, entre outros registros responsáveis por informar à população a crise hídrica vivenciada no final de 2020 até 2022 no Estado. Como exemplo marcante desse período se têm a assinatura do decreto estadual de nº 4626, em que decretava a situação de emergência hídrica por 180 dias em todo o Paraná (PARANÁ, 2020). No primeiro momento, cabe destacar que embora a repercussão espacial das secas tenha ocorrido apenas em 2020, autores como Fernandes et al. (2020) destacam que o início do fenômeno procedeu no mês de junho de 2019, sendo intensificado a partir do mês de setembro.

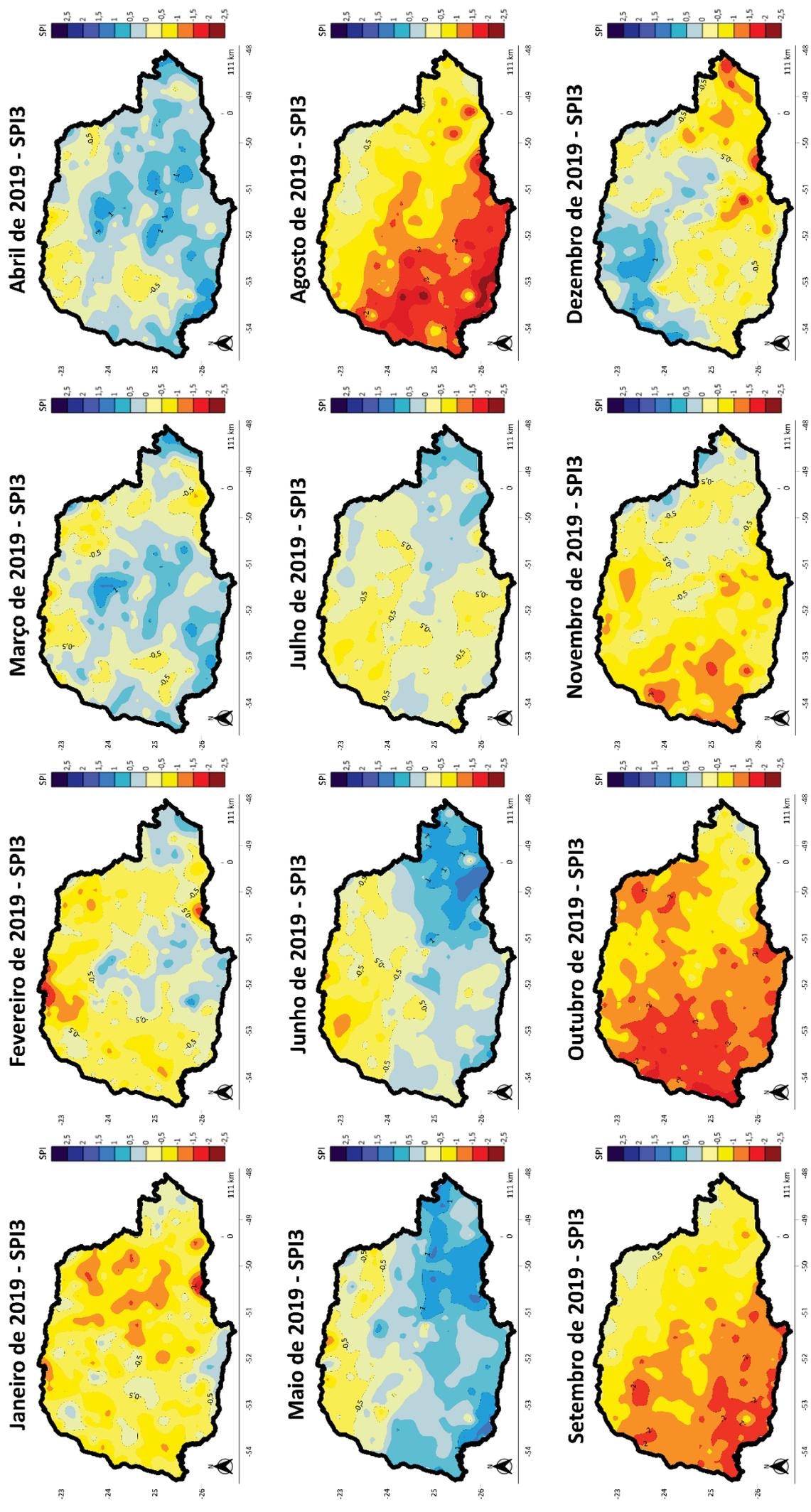
Ao analisar os mapas do SPI3 e SPI12, para curta e longa duração do fenômeno climático (figura 27 e 28), observou-se que desde agosto de 2019, os desvios negativos de precipitação já estavam presentes no Paraná. Para este mês, a região sudoeste do Paraná, através do SPI3, indicava desvios de -2,0 a -2,5, caracterizando situação de seca severa e extrema, enquanto zonas mais a leste contemplavam condições de seca moderada. Nos meses de setembro, outubro e novembro, o quadro crítico perpetuou, com desvios superiores a -1,0 sobre todo o território paranaense, potencializando assim o desenvolvimento da anomalia negativa pluvial para os anos seguintes.

Na análise do SPI12 para o ano de 2019 (figura 27), também é possível observar o quadro crítico das secas, contudo de forma mais branda, à medida que o método privilegia os efeitos de longa duração. Com isso, nota-se que os déficits pluviais se mantiveram durante todo o ano, principalmente nos meses de outubro e novembro. Em outubro, por exemplo, a porção noroeste do território apresentava situação de seca extrema, com desvios correspondentes a -2,0, ao mesmo tempo que

as áreas localizadas mais ao centro-oeste indicavam a intensificação do fenômeno de forma severa.

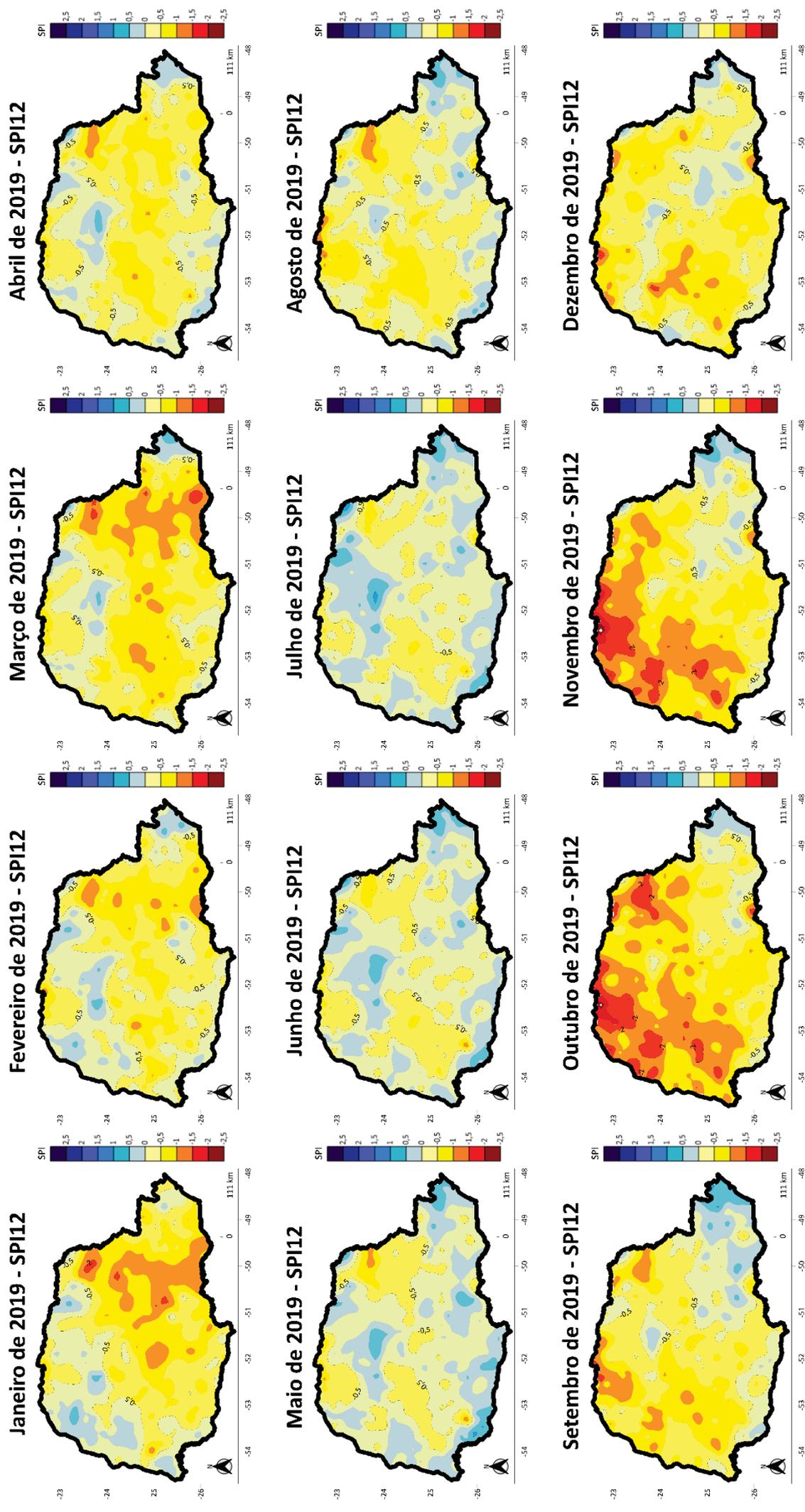
No mês de novembro o mesmo panorama se manteve, com condições críticas em todo o Estado. Corroborando com tais informações, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), em 2019, noticiava o avanço das secas e sua intensificação em algumas regiões, impactando o plantio de novas safras de culturas agrícolas para o Paraná, como observados na figura 27.

FIGURA 27: APLICAÇÃO MENSAL DO SPI3 PARA O ANO DE 2019 NO PARANÁ



Fonte: do autor (2024).

FIGURA 28: APLICAÇÃO MENSAL DO SPI12 PARA O ANO DE 2019 NO PARANÁ



Fonte: do autor (2024).

Em 2020, a situação de seca se agravou no Estado. Segundo Grimm et al., (2020), o primeiro trimestre do ano foi considerado muito seco no sul do país, especialmente no inverno austral e início da primavera, afetando significativamente múltiplos segmentos. Autores como Juliani et al. (2020) revelaram que, no primeiro semestre do ano, órgãos como o Cemaden, confirmaram a ocorrência do fenômeno no sul do Brasil, de modo que em março do mesmo ano o poder público começou a realizar estudos sobre o desenvolvimento das secas no espaço geográfico:

Em março de 2020, a Agência Nacional de Águas (ANA) mobilizou a criação de uma “sala de crise” com o Cemaden, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e as agências de monitoramento hidrometeorológico desses estados, além de outros interessados, com o objetivo de informar as condições climáticas, realizar prognósticos mensais e discutir medidas para a mitigação dos impactos da seca (JULIANI et al., 2020, p. 1).

Ao observar os dados do SPI3 (figura 30), em março o nordeste do Estado se encontrava em situação de seca extrema, com desvios de -2,0, já o restante do Paraná registrava desvios entorno de -1,0. Na análise do SPI12 a situação estava mais crítica, tendo em vista que desde o começo daquele ano os déficits pluviométricos se mantiveram fortemente ativos, resultando na escassez dos recursos hídricos. Conseqüentemente, as primeiras tentativas de conter os impactos da seca começaram a surgir, como por exemplo, os rodízios de água em Curitiba e região metropolitana (figura 29).

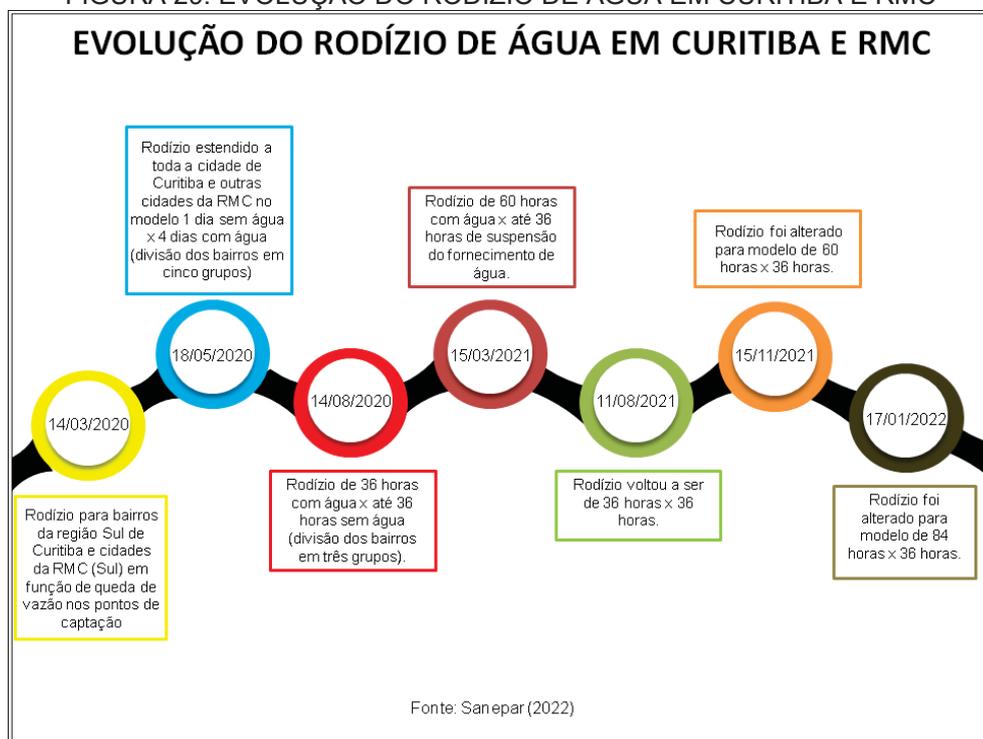
Dentre essas medidas, citam-se: implementação de rodízios, em especial no Sistema de Abastecimento Integrado de Curitiba e Região Metropolitana (SAIC), que afetou em algum grau os seus 3,5 milhões de habitantes; instalação de captações emergenciais em mananciais cujo uso era previsto no futuro e em cavas e lagos de pedreiras desativadas; antecipação de obras estruturais (reservatórios de água tratada, adutoras, transposições, etc.); otimização do armazenamento de água bruta nos reservatórios da Sanepar; intensificação do monitoramento de vazões e de qualidade da água nos rios afluentes aos reservatórios e demais rios de mananciais; orientação da comunidade para a adoção de práticas voltadas ao uso racional da água; e solicitação ao órgão ambiental competente para que atuasse no sentido de restringir ou revisar vazões de outorga (ALMEIDA et al., 2021, p. 2).

Em maio de 2020, relatos sobre a severidade das secas estampavam as principais manchetes dos jornais e preocupavam a população paranaense. A seis semanas após o 1º decreto de rodízio de água em Curitiba, o Jornal Plural revela: "Curitiba enfrenta sua pior seca em 40 anos: Sanepar lança mão dos rodízios no fornecimento porque o volume de água em um dos rios que abastece a cidade caiu 70%". Ainda nesse mesmo mês, outros veículos de midiáticos relataram a gravidade

das secas no Paraná, como o Jornal Tribuna, que no dia 26 de maio de 2020 afirmou que o Estado teve o pior cenário de seca registrado nos últimos 100 anos.

Os mapas de SPI para o período comprovam a gravidade das informações, de forma que todo o litoral e o primeiro planalto do Paraná estavam em situações críticas por conta da seca, registrando desvios extremos de -2,5 para ambos os intervalos temporais – SPI3 e SPI12. No SPI12, o mês de maio obteve a maior intensificação da seca, sendo que todas as regiões, com exceção do noroeste, estavam fortemente impactadas.

FIGURA 29: EVOLUÇÃO DO RODÍZIO DE ÁGUA EM CURITIBA E RMC



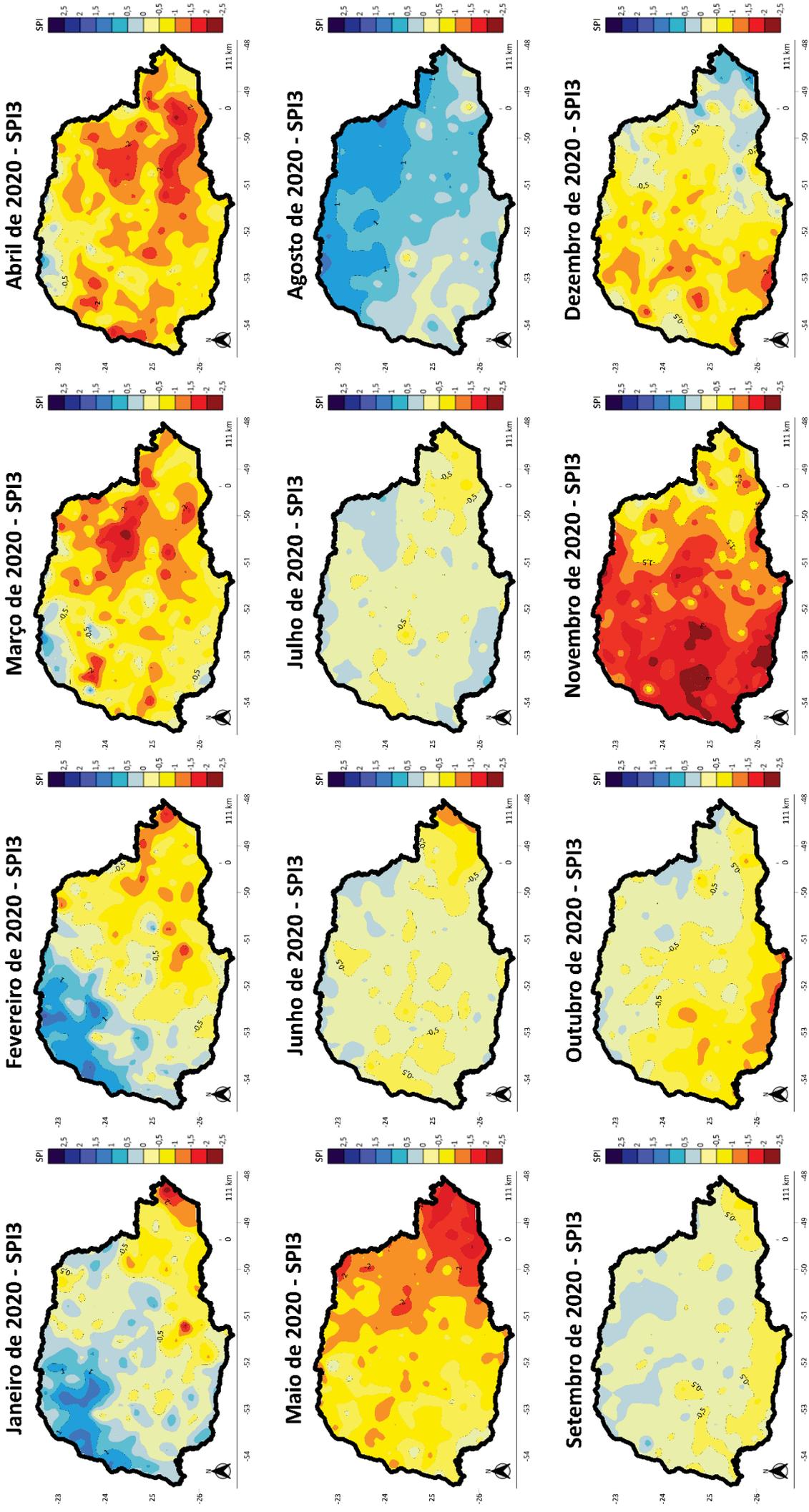
Fonte: Sanepar (2022). Adaptação: do autor (2024).

Nos meses subsequentes, o cenário de escassez hídrica proveniente das secas prosseguiu, os meses junho, julho e agosto, através do SPI12, apontavam a calamidade e a severidade (figura 31). Para Nepomoceno (2023), a verificação na ocorrência nesses meses, de forma geral, teve impacto negativo em relação a produção agrícola para a região, uma vez que a agricultura e suas inúmeras vertentes ficam suscetíveis a crises hídricas. Este fato acarretou na implementação de novos decretos na capital e entorno (figura 29) e de campanhas públicas, como a “Meta 20”, lançada pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), cujo o objetivo era

a redução em 20% do consumo de água da população para evitar sua escassez (CARVALHO et al., 2021).

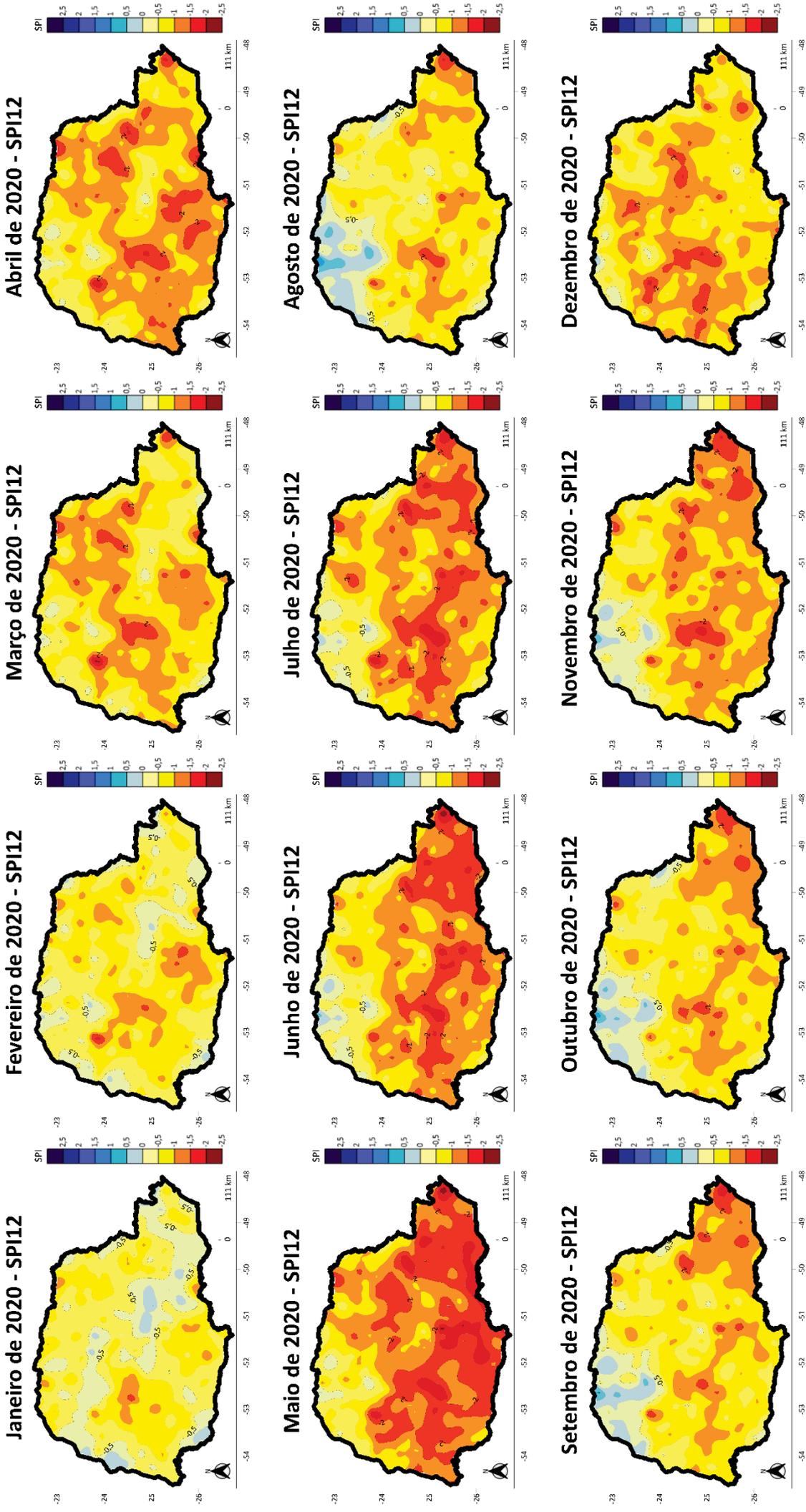
Em relação ao mês de novembro, os dados do SPI3 indicaram uma piora no quadro das secas na região oeste, com desvios de -2,5 em algumas áreas, sendo estas situações reforçadas quando se avalia a escala de 12 meses conforme a figura 31. Na capital, o acumulado de déficit pluvial preocupava o fornecimento de água para a sociedade, conforme apontado em matéria realizadas pela Câmara Municipal de Curitiba. A jornalista Fernanda Foggiato alegou que o nível do Sistema de Abastecimento de Água Integrado de Curitiba (SAIC) correspondia há 27,75% e que se este quadro se reduzisse para 25% a Sanepar não descartaria um rodízio de água mais rigoroso, com 12 horas a menos do que decretado naquele período, conforme visto anteriormente.

FIGURA 30: APLICAÇÃO MENSAL DO SPI3 PARA O ANO DE 2020 NO PARANÁ



Fonte: do autor (2024).

FIGURA 31: APLICAÇÃO MENSAL DO SPI12 PARA O ANO DE 2020 NO PARANÁ



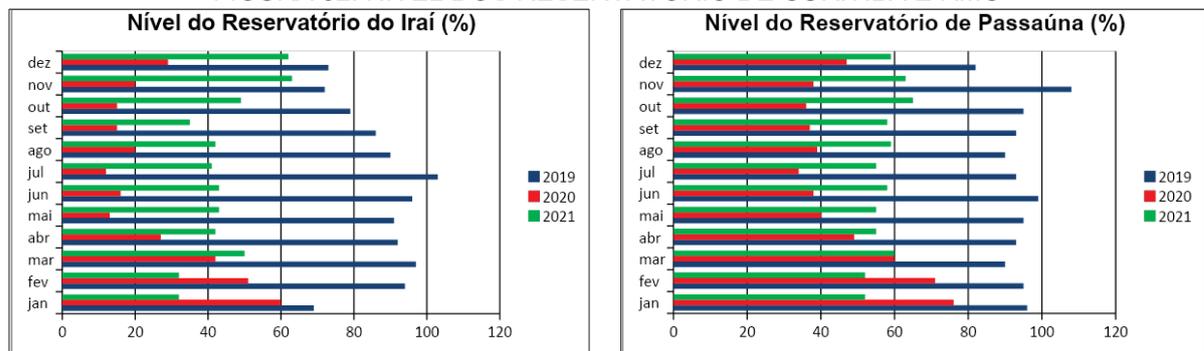
Fonte: do autor (2024).

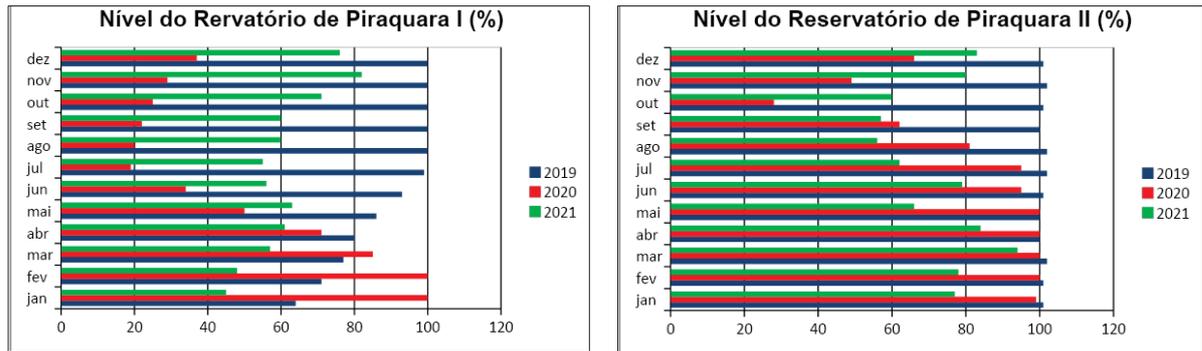
Percebe-se que tais condições apresentadas não foram exclusivas para o ano de 2020, pois no ano de 2021 o fenômeno da seca se perpetuou no espaço geográfico paranaense. Em consonância, a figura 34 representa a persistência e a intensidade da seca em todos os meses, evidenciando uma condição climática desfavorável em diversas regiões. Os valores do SPI para a época apresentaram desvios superiores a -1,0 e até mesmo -2,5, como no mês de agosto, onde parte do segundo planalto do Estado estava em situação crítica.

No SPI3 esta situação se tornou favorável (figura 33), indicando uma elevação em relação ao acumulo de precipitação pluvial no intervalo de 3 meses. Embora o Paraná estivesse registrando superávits de chuva, como apresentados em boa parte do território no primeiro trimestre de 2021, a partir de desvios positivos de até 1,5, no acumulado geral a situação de seca persistia. Nota-se que o aumento das chuvas não foi suficiente para a flexibilização de outros decretos na capital, por exemplo, no dia 11/08/2021 instituiu-se um novo rodízio de água, semelhante ao registrado no ano anterior, no qual voltava para 36 horas o consumo de água e 36 horas sem o fornecimento (G1, 2021).

Reafirmando essas análises, observa-se que as secas estavam impactando os principais sistemas responsáveis por atender Curitiba e RMC. Ao comparar os níveis dos reservatórios, evidencia-se que o panorama das secas de 2020 causou consequência em relação ao acumulado de água, de modo que em todos os meses o valor percentual ficou abaixo do esperado, conforme a figura 32.

FIGURA 32: NÍVEL DOS RESERVATÓRIO DE CURITIBA E RMC

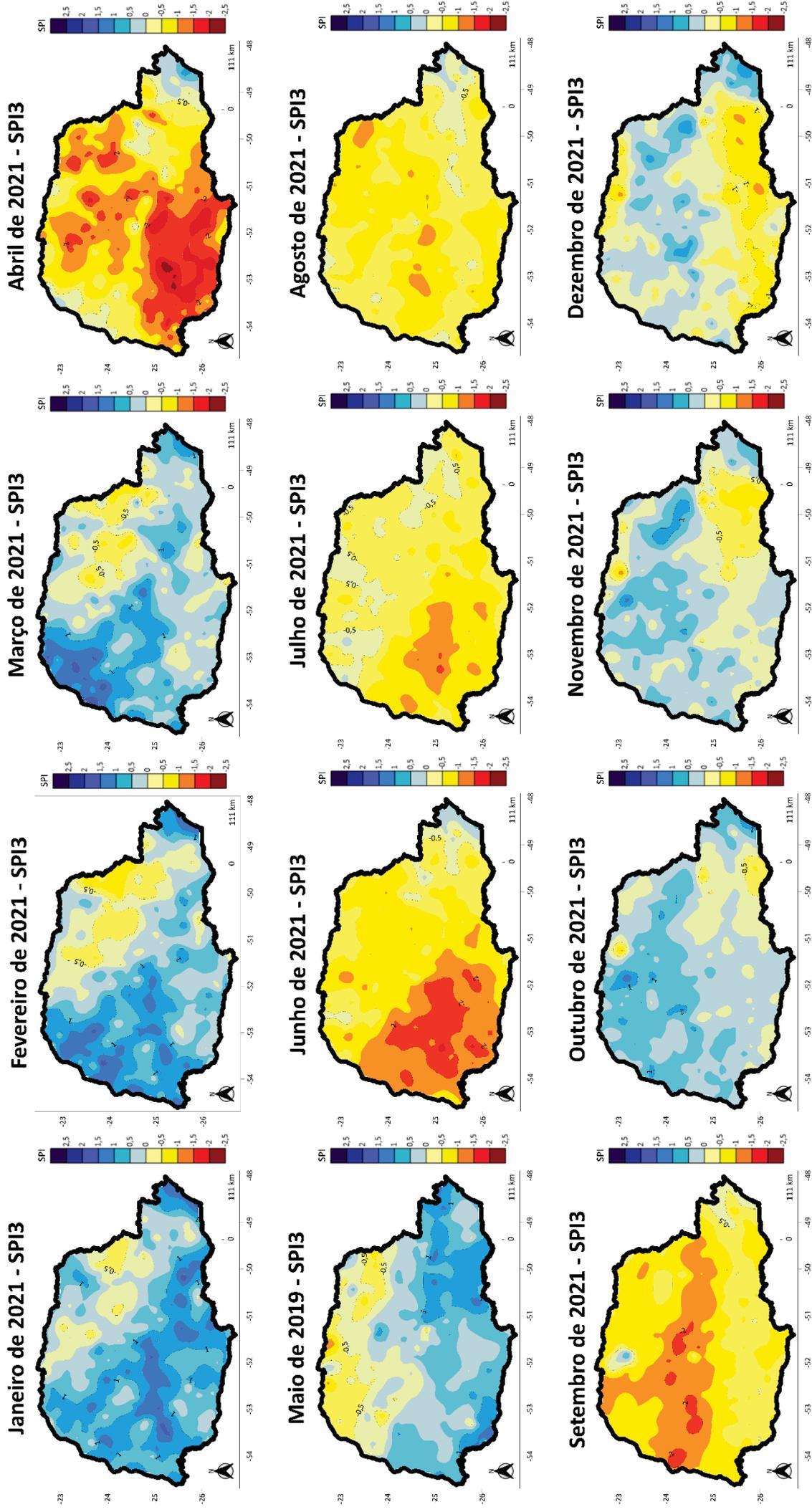




Fonte: Sanepar (2021). Adaptação: Gonzatto (2024).

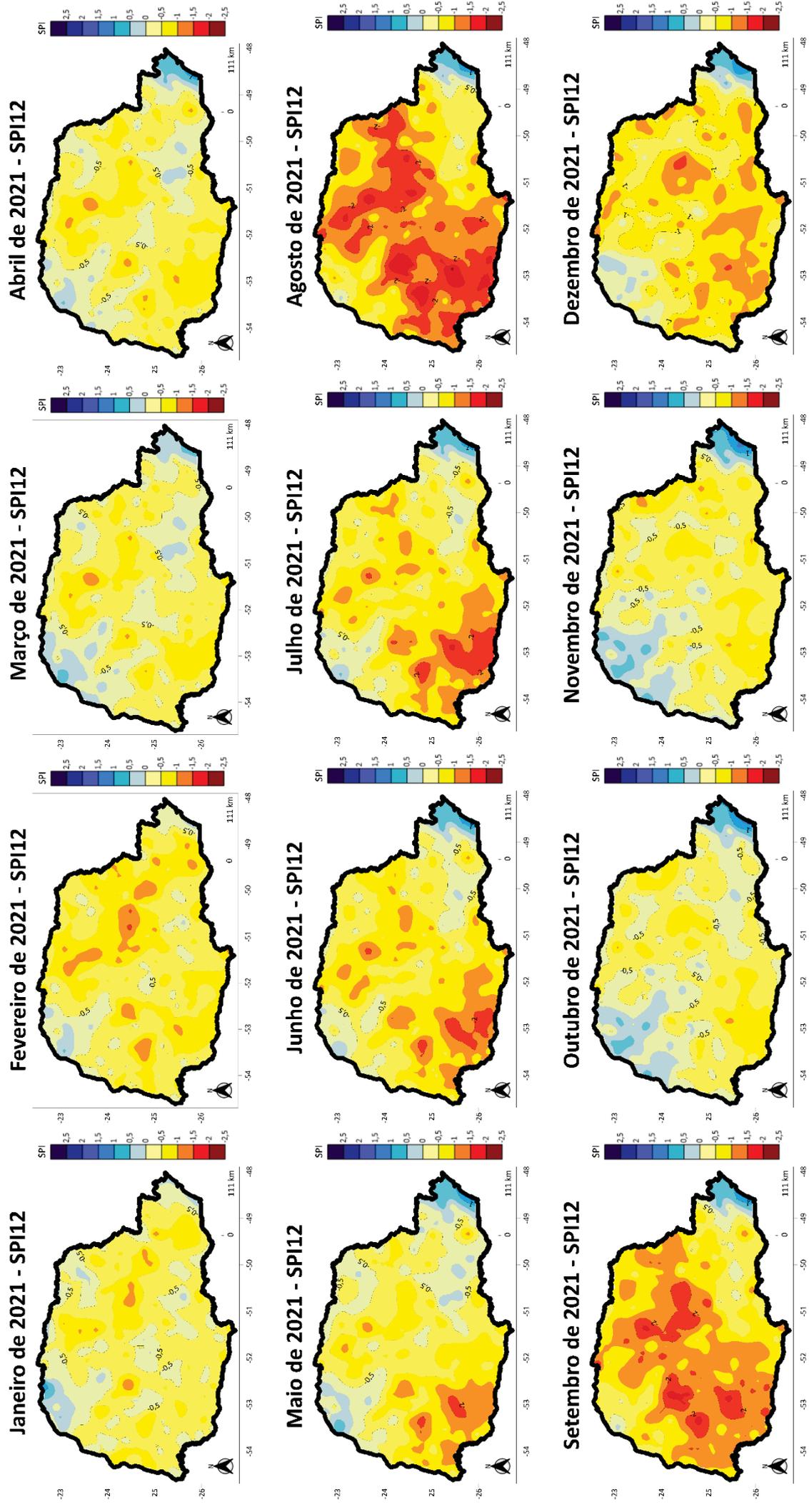
Contudo, em 2021 os reservatórios de água apresentaram um crescimento expressivo em sua capacidade, registrando um aumento significativo em relação à porcentagem acumulada. Este fato não acompanhou uma diminuição na intensificação das secas, pois nos meses seguintes, isto é, setembro, outubro, novembro e dezembro, os valores dos desvios se mantiveram negativos. No mês de setembro, o SPI12 indicou condições de déficit pluviométrico na região centro-oeste do Estado, onde os desvios mais acentuados sugeriram uma seca severa e/ou extrema (-1,5 a -2,0), como demonstrado nas figuras 33 e 34.

FIGURA 33: APLICAÇÃO MENSAL DO SPI3 PARA O ANO DE 2021 NO PARANÁ



Fonte: do autor (2024).

FIGURA 34: APLICAÇÃO MENSAL DO SPI12 PARA O ANO DE 2021 NO PARANÁ

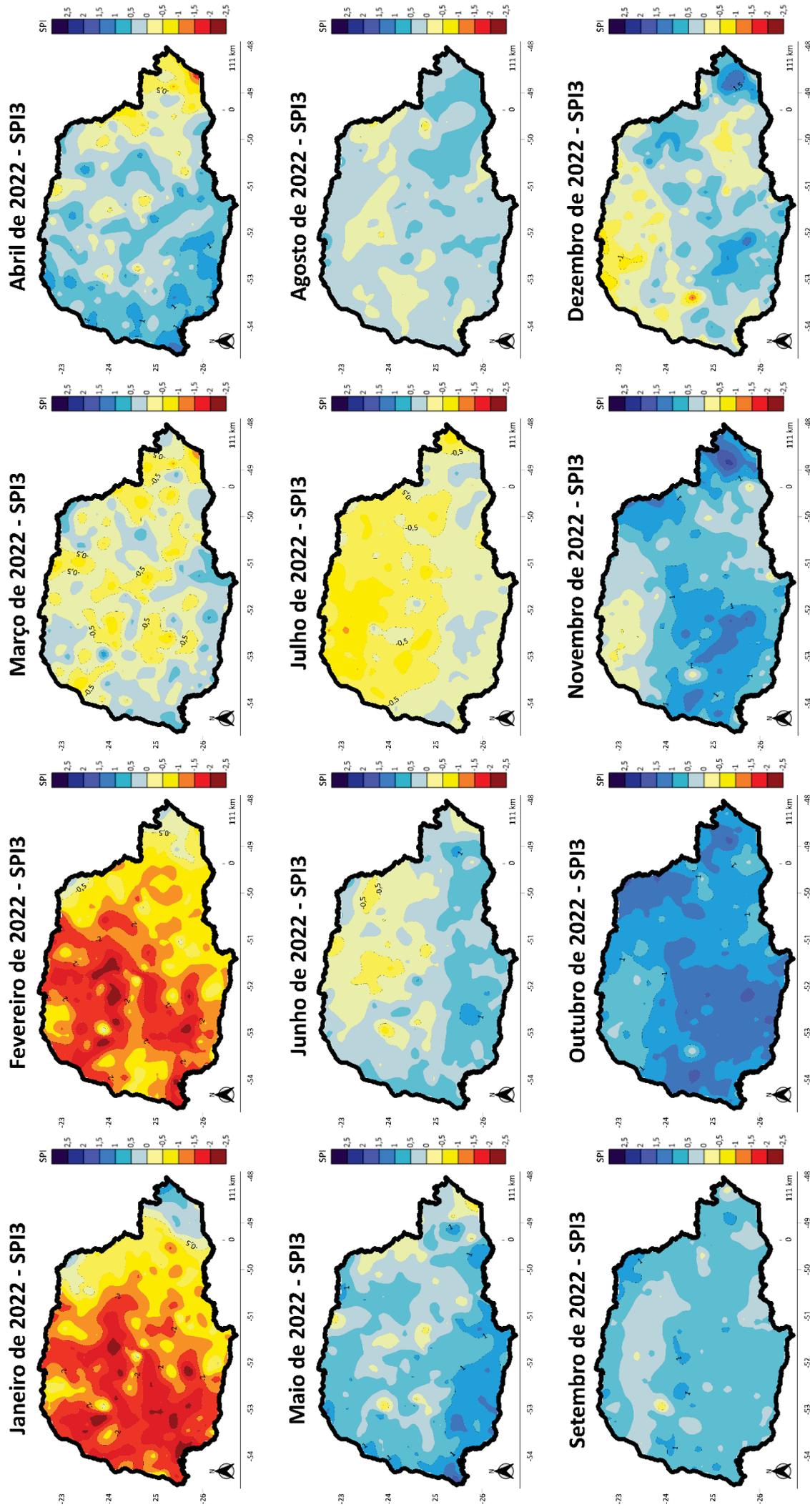


Fonte: do autor (2024).

Em 2022, último ano em que as secas se consolidaram, tanto o SPI 3, quanto o SPI12 revelaram condições extremas nos meses de janeiro e fevereiro, épocas estas reconhecidas pelas chuvas intensas em todo o Paraná. As informações obtidas nas diferentes escalas temporais revelaram desvios negativos na ordem de -2,0 (extremamente seco) nas regiões centro-oeste, centro-norte e centro-sul do Estado. Conforme registros do Ministério Público do Paraná, até o mês de maio de 2022, 98% do território paranaense estava em situação de seca, seja ela moderada, severa ou extrema, todavia, nota-se que apesar desta situação, na capital, por exemplo, o então governador da época, no dia 19 de janeiro de 2022, anunciou o fim do rodízio de água, menosprezando os déficits pluviais ainda registrados.

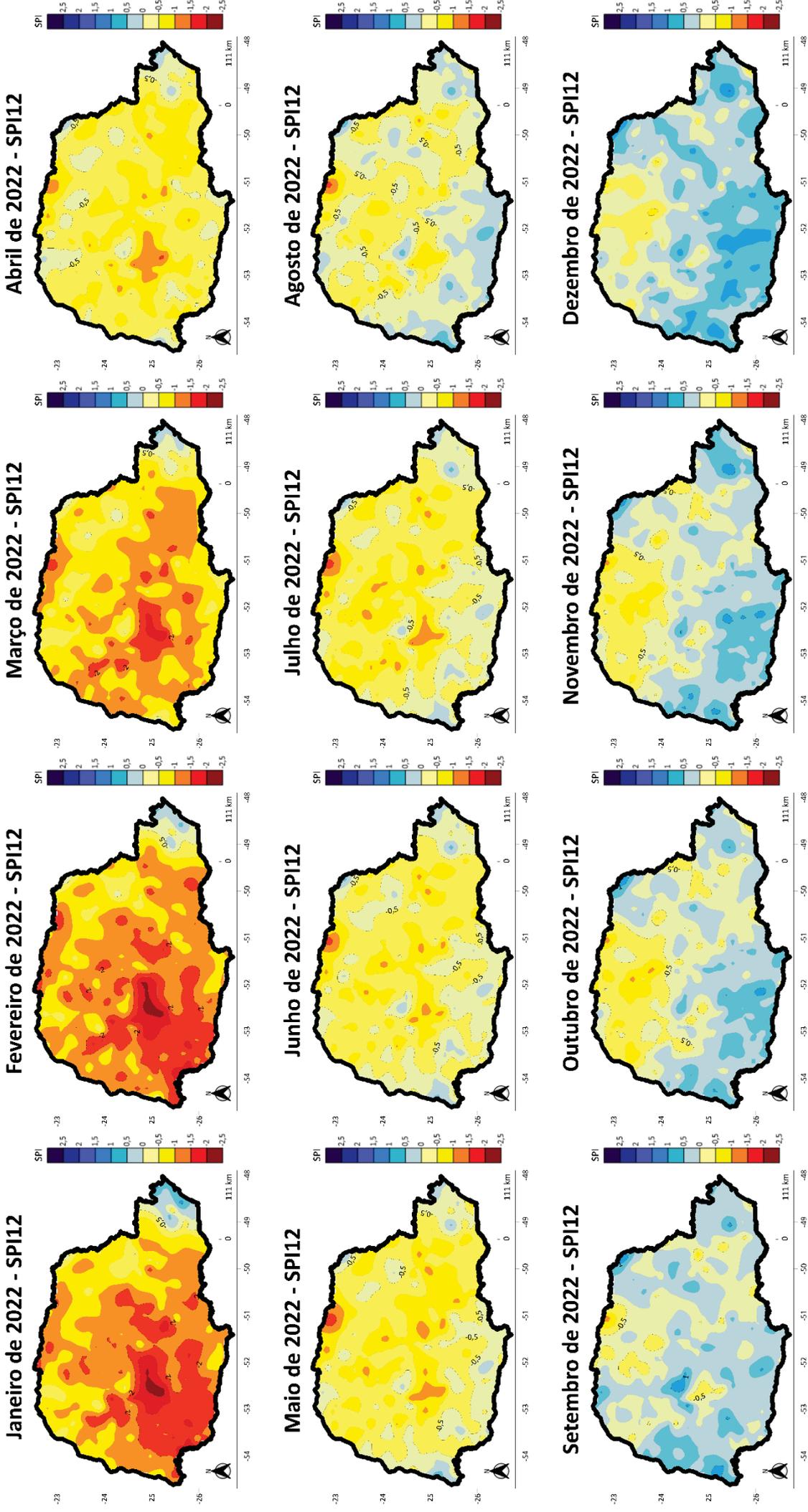
De acordo com a Agência Brasil, foram 649 dias de rodízio de água para a população dependente e que a meta estipulada pela Sanepar para a redução de 20% no consumo hídrico foi quase alcançada, sendo correspondida com mais 17%. A partir disso, nos meses subsequentes, observou-se que os lugares secos deram espaços a períodos de excesso pluvial, averiguados a partir do segundo semestre, como constados na figura 35 e 36.

FIGURA 35: APLICAÇÃO MENSAL DO SPI3 PARA O ANO DE 2022 NO PARANÁ



Fonte: do autor (2024).

FIGURA 36: APLICAÇÃO MENSAL DO SPI12 PARA O ANO DE 2022 NO PARANÁ



Fonte: do autor (2024).

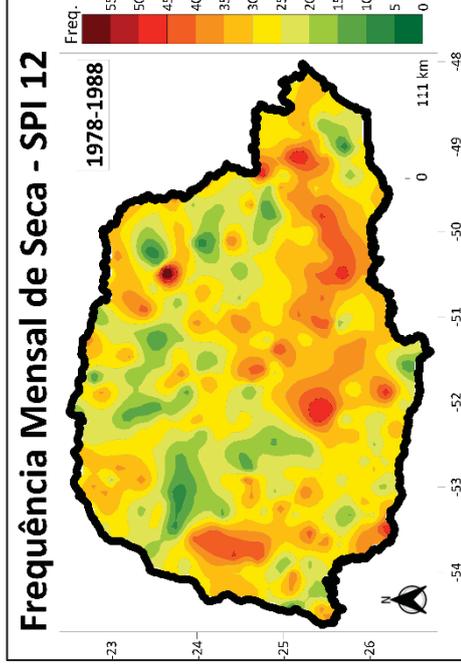
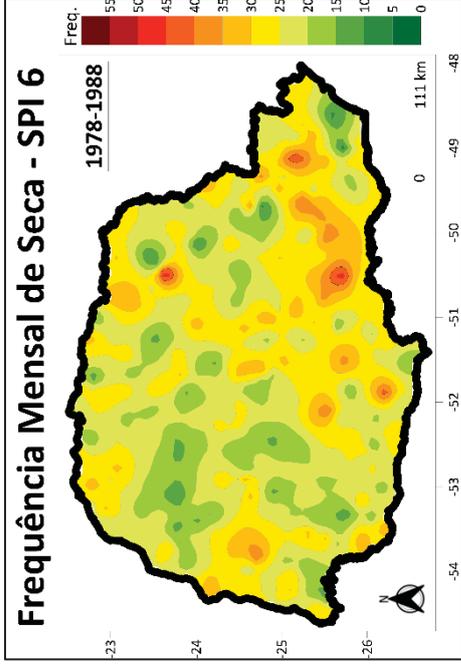
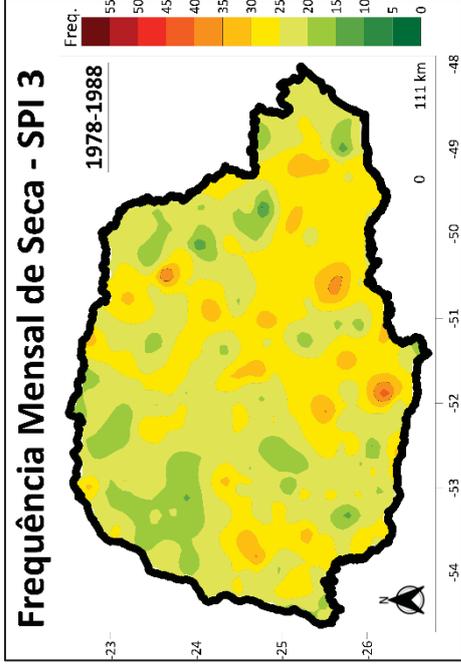
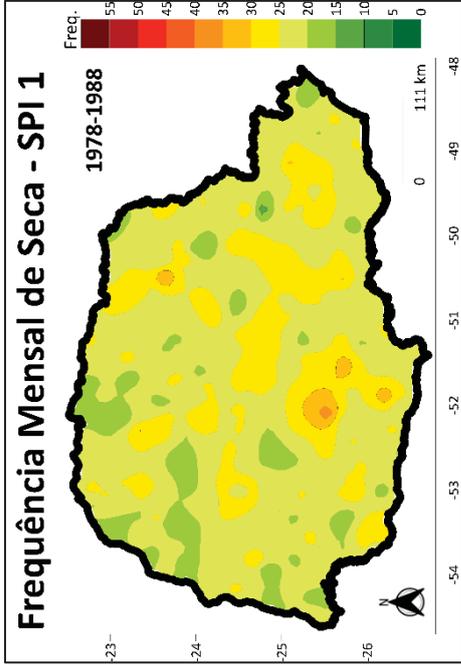
4.4 ANÁLISE DA FREQUÊNCIA MENSAL DAS SECAS NO PARANÁ

No contexto da análise de frequência das secas no Paraná, observa-se nas figuras abaixo (37, 38, 39, 40 e 41) uma variabilidade temporal e espacial em relação a ocorrência das anomalias negativas pluviométricas no Paraná. As décadas de 1978-1988 e 2011-2022 destacaram-se como os períodos de maior incidência, caracterizados por uma concentração de eventos secos mais expressivos em diferentes partes do Estado. Este padrão evidencia que a distribuição dos episódios de seca não ocorre de forma homogênea no tempo, uma vez que ciclos naturais terrestres regionais e globais, como o ENOS, interferem nos padrões de chuva para a região, como visto anteriormente.

Por outro lado, os períodos de 1989-1999 e 2000-2010 apresentaram uma redução significativa na aparição da anomalia climática em questão, indicando a variabilidade pluviométrica acometida no Estado. Dessa forma, análise espacial, a priori, revela que a intensidade e abrangência das secas variam conforme a localização geográfica, afetando distintamente regiões mais específicas em determinados períodos temporais.

Ao observar os mapas de frequência para a década de 1978-1988 (figura 37), em distintos intervalos (SPI 1, 3, 6 e 12 meses), constata-se que as áreas historicamente mais suscetíveis as secas enfrentaram impactos mais severos, como por exemplo, as porções do sudeste e oeste paranaense nas escalas de 6 e 12 meses do índice. Segundo os estudos realizados por Ely (2019), os anos entre 1977 a 1981 foram considerados um dos períodos mais secos do Paraná, o que explica o maior registro de frequência no espaço geográfico. Combinado a isso, Nery e Siqueira (2020) identificaram 3 eventos moderados de La Niña durante a década destacada. Esses eventos podem ter contribuído diretamente para a redução dos índices de precipitação pluvial, intensificando a frequência de secas e seus impactos em diversas regiões do Estado, como demonstrados na figura 37.

FIGURA 37: FREQUÊNCIA MENSAL DE SECA ENTRE 1978-1988 NO PARANÁ



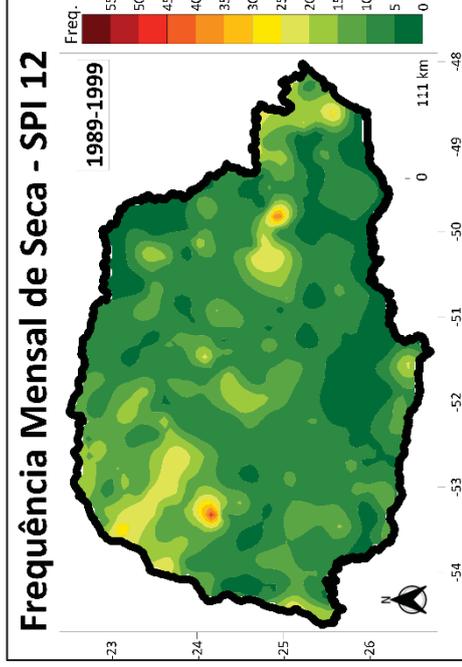
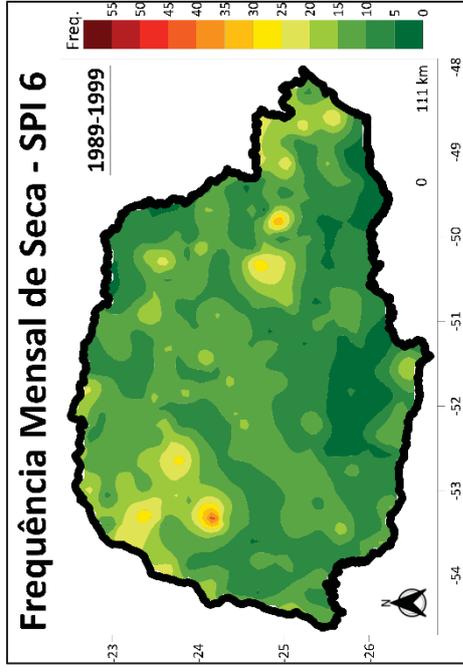
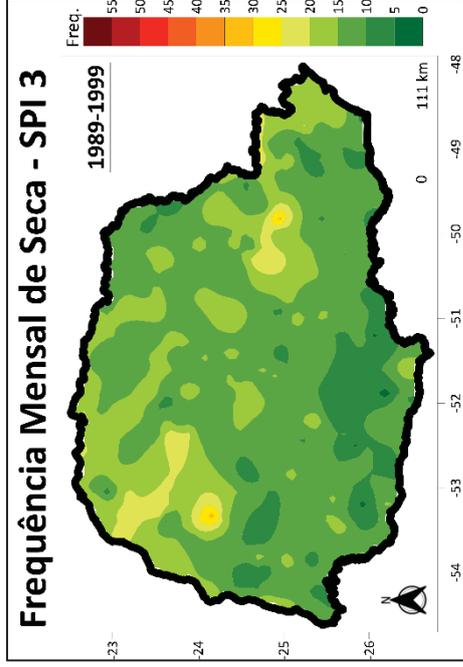
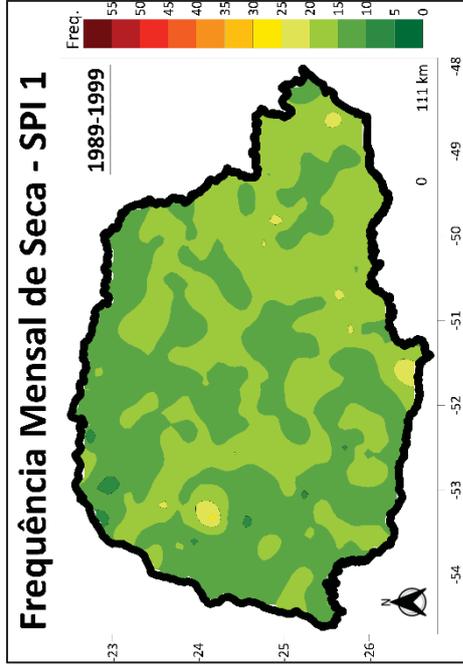
Fonte: do autor (2024).

Por outro lado, a década de 1989-1999 apresentou um comportamento totalmente diferente do período anterior. Enquanto nos anos anteriores observou-se um aumento expressivo na ocorrência de secas no território, nesse intervalo temporal (figura 38), uma redução em todas as regiões foi observada. Ao comparar as duas décadas é possível observar que as áreas enfatizadas anteriormente, isto é, sudeste e parte do oeste tiveram uma diminuição de até 3 vezes na ocorrência de secas, indicando a variabilidade pluviométrica da região.

Conforme os mapas anuais de desvio de chuva, especialmente o do SPI12 (figura 26), nota-se que, dos 11 anos analisados, 6 anos (1990, 1992, 1993, 1997, 1998 e 1999) registraram desvios positivos com valores acima da média esperada, proporcionando a redução na frequência de eventos relacionados às secas durante o período. Este panorama pluvial elucidado age em concordância com as análises de chuva realizadas para o Estado, de modo que anomalias climáticas, como o desencadeamento do fenômeno El Niño, puderam ser averiguadas ao intervalo proposto (NERY e SIQUEIRA, 2020).

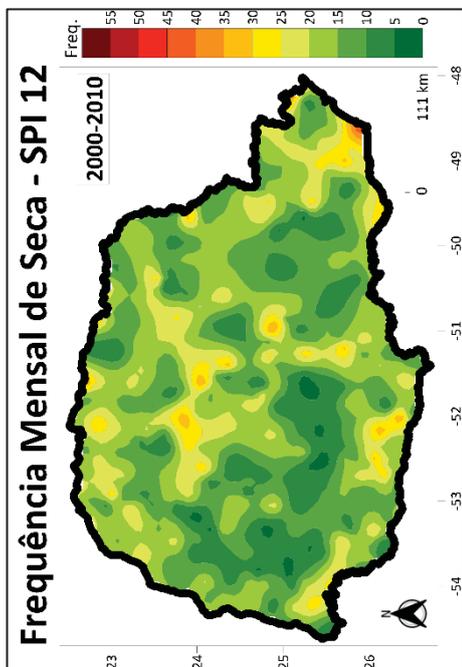
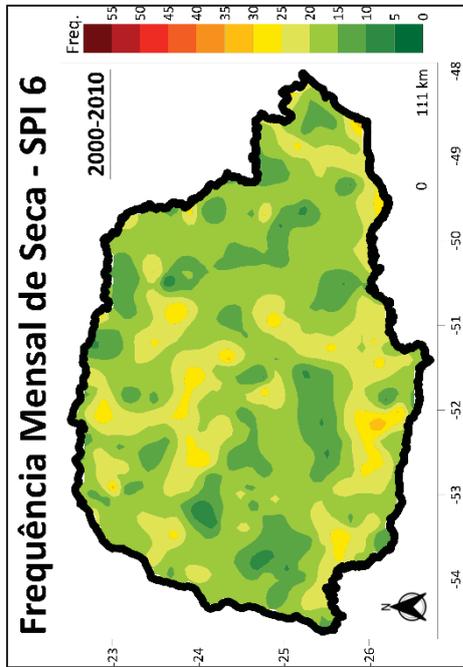
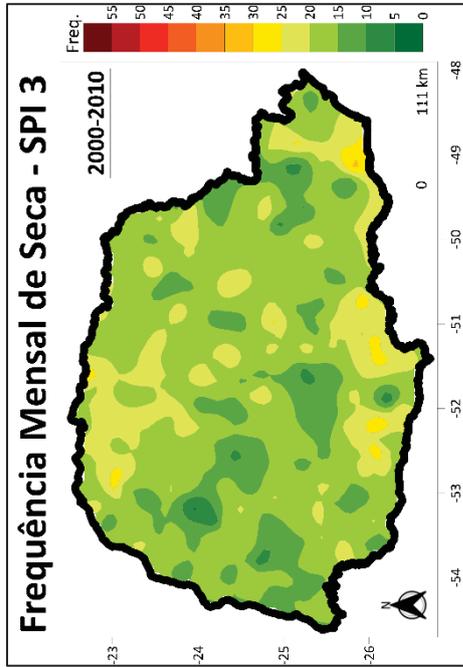
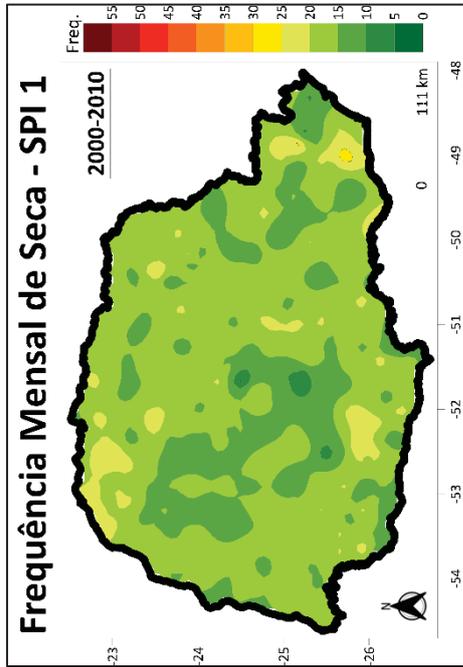
Na década entre 2000-2010 (figura 39), tal tendência de redução na frequência das secas no território também foi constatada, entretanto, com um leve aumento em relação a década anterior (1989-1999). As áreas como sudeste e centro-oeste acabaram se destacando as alterações climáticas, que embora tenham repercutido de forma menos intensa, quando comparada a década de 1978-1888, reafirmaram a variabilidade pluvial conforme os anos. As análises realizadas através dos SPI's apontam que a distribuição das secas manteve um caráter mais localizado, de menor intensidade e também frequência, conforme observados na figura 38 e 39.

FIGURA 38: FREQUÊNCIA MENSAL DE SECA ENTRE 1989-1999 NO PARANÁ



Fonte: do autor (2024).

FIGURA 39: FREQUÊNCIA MENSAL DE SECA ENTRE 2000-2010 NO PARANÁ

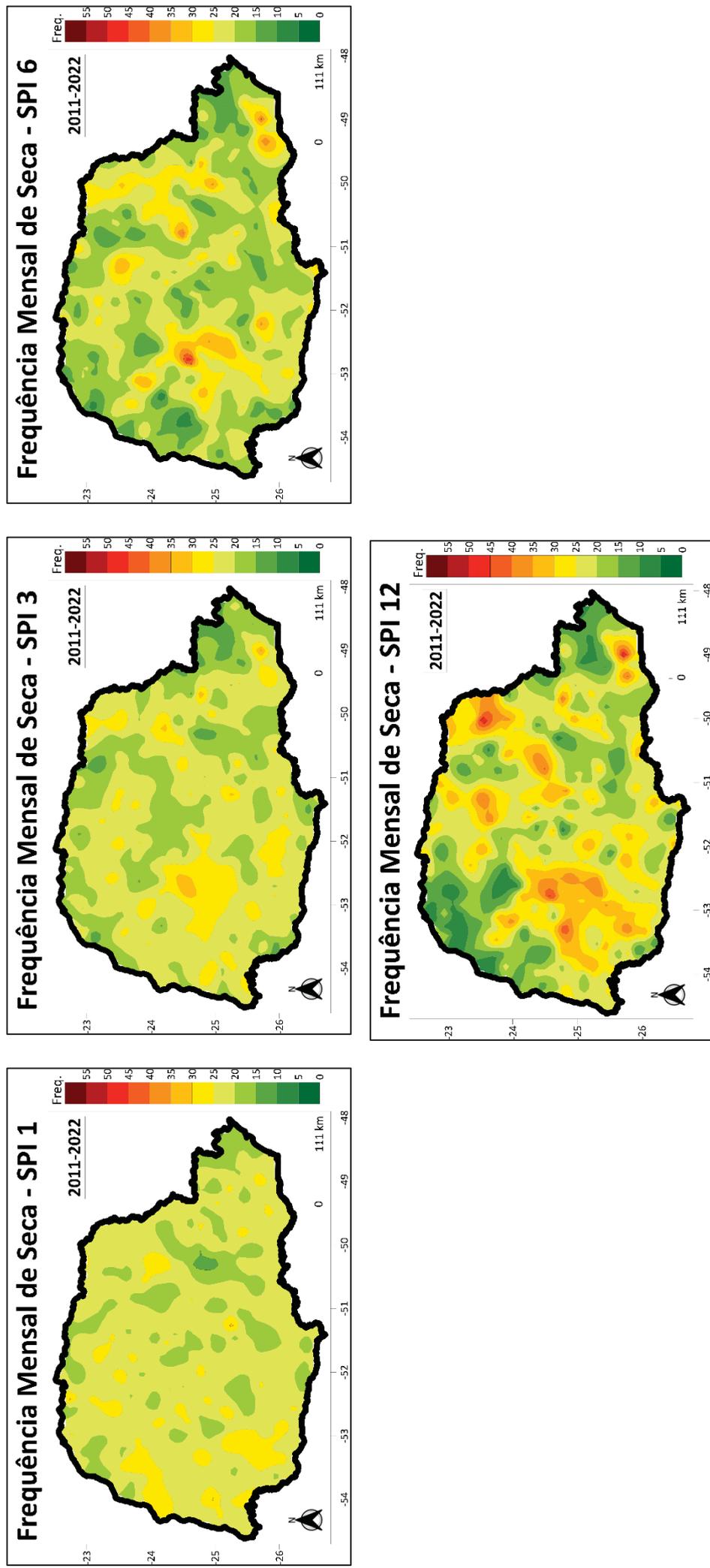


Fonte: do autor (2024).

Esta crescente, observada anteriormente em relação aos episódios de seca no Paraná, acabaram se intensificando novamente nos anos entre 2011 e 2022 (figura 40), isso porque o território vivenciou um dos períodos de maior déficit hídrico na sua história. Os anos de 2019, 2020, 2021 e 2022 possibilitaram o aumento na frequência do fenômeno climático extremo em boa parte da região, sobretudo no sudoeste e nordeste do Estado, conforme revelado no SPI12. Embora as análises de Ely (2019) indicassem uma tendência úmida para o território a partir de 2013, tais eventos citados proporcionaram uma alteração pluvial drástica, potencializando os déficits pluvial e, por consequência, o desenvolvimento das secas.

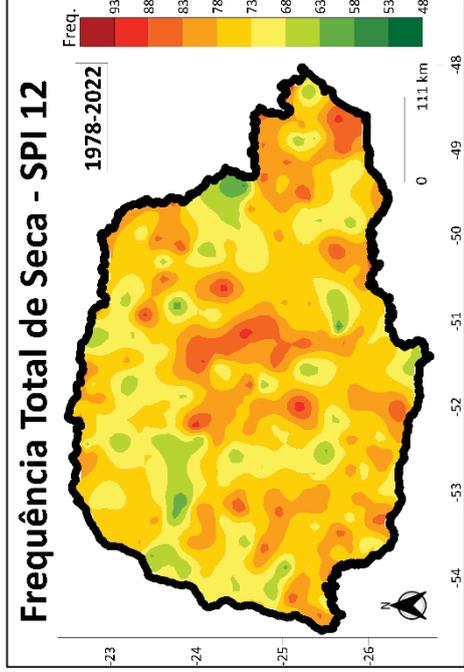
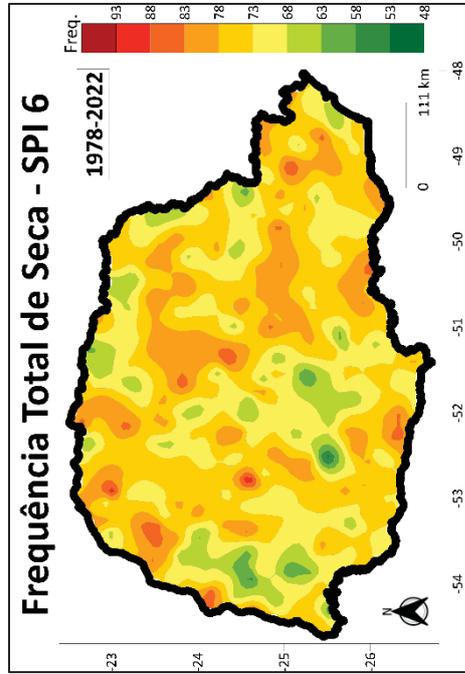
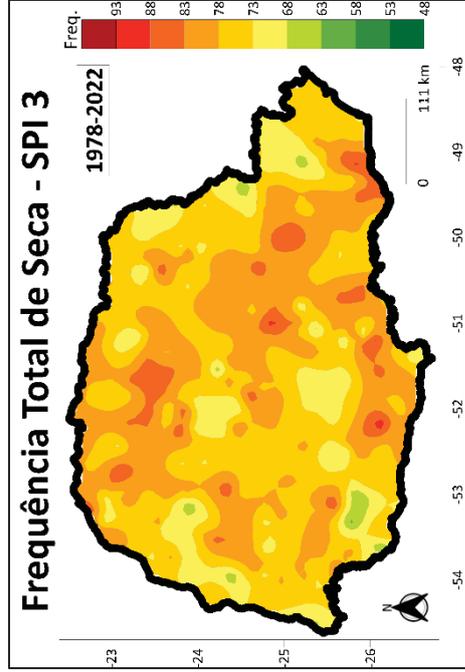
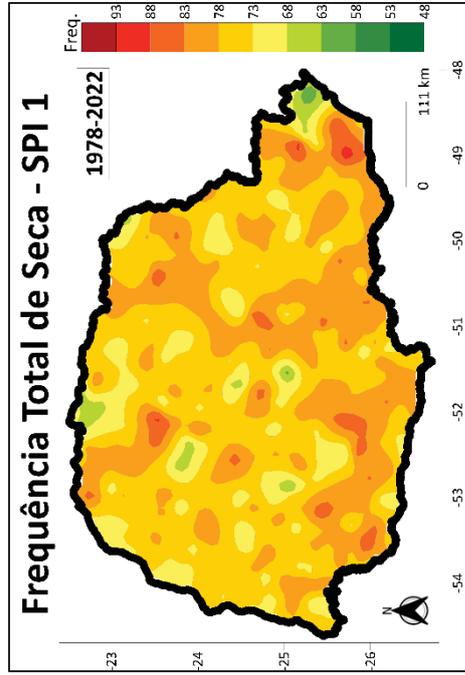
Os dados analisados indicam que o número de episódios de seca aumentou expressivamente, chegando a registrar até 30 eventos a mais, como no sudoeste, do que observados nas décadas anteriores. Nessa perspectiva, essa elevação revelou a importância em compreender os padrões de variação espacial e temporal para o Estado, especialmente aquelas que apresentam aumento na ocorrência de secas, haja vista que podem afetar os setores produtivos e econômicos da região (ELY e DUBREUIL, 2017).

FIGURA 40: FREQUÊNCIA MENSAL DE SECA ENTRE 2011-2022 NO PARANÁ



Fonte: do autor (2024).

FIGURA 41: FREQUÊNCIA TOTAL DE SECA ENTRE 1978-2022 NO PARANÁ



Fonte: do autor (2024).

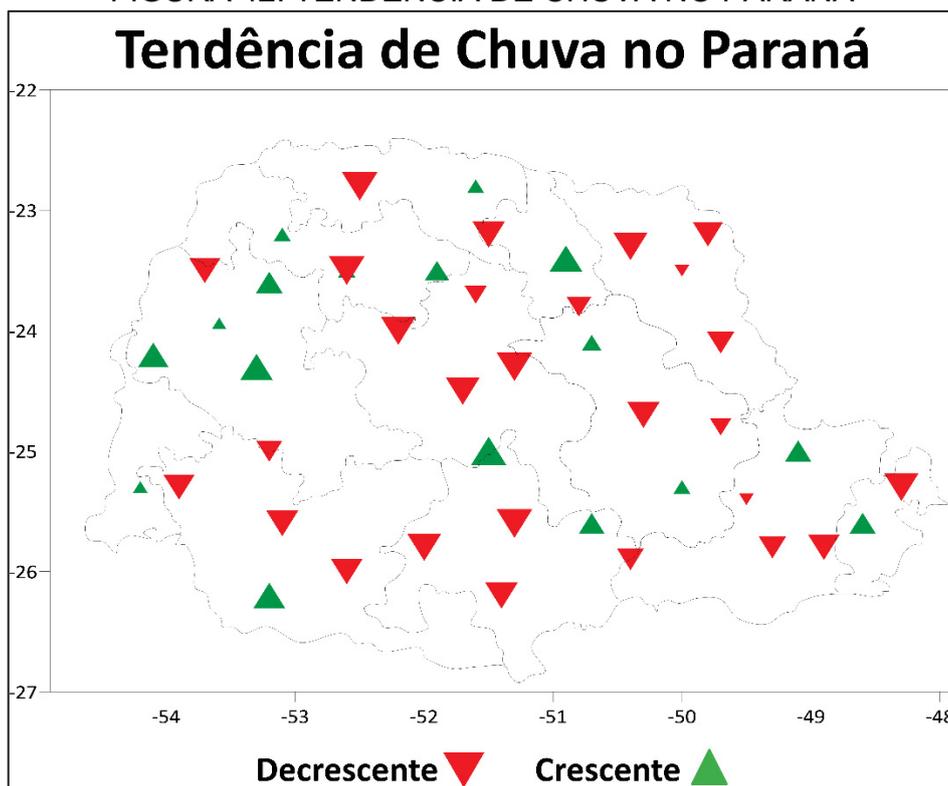
4.5 ANÁLISE DE TENDÊNCIAS POR MEIO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS NO PARANÁ

Em relação à análise de tendências realizada neste estudo, optou-se por adotar um enfoque simplificado utilizando o critério de delimitação por bacias hidrográficas por meio de 46 postos pluviométricos representativos instalados nesses locais. A partir disso, observa-se uma predisposição significativa para tendências negativas (decrecentes), especialmente ao longo dos trechos que acompanham os principais cursos hídricos do território, como o Rio Iguaçu. Essa característica sugere uma diminuição gradual no volume total de chuvas em regiões críticas, sinalizando períodos de seca mais frequentes e prolongados na região.

Entretanto, a dominância de tais tendências não é absoluta, haja vista que existem postos pluviométricos no Estado que apresentam comportamentos positivos em relação a sua série histórica. O contexto evidenciado é reafirmado nas figuras de frequência das secas (37, 38, 39, 40 e 41), uma vez que a variabilidade pluvial da região indica que ao longo de toda a série histórica é influenciada por múltiplos fatores geográficos, antrópicos ou naturais, como a ocorrência do El Niño e La Niña, capazes de alterar os padrões de precipitação pluvial (TERASSI et al., 2018).

Ao analisar, por exemplo, os postos pluviométricos presentes nas bacias (apêndice D), evidencia-se que tal dinâmica pluviométrica é recompensada em diferentes períodos do ano, haja vista que a precipitação pluvial não ocorre de maneira homogênea, apresentando oscilações sazonais e interanuais que caracterizam a variabilidade pluviométrica do Estado. Esses padrões são influenciados por diversos fatores, como já mencionado anteriormente, fazendo com que períodos de chuva intensa alternados com secas prolongadas impactem diretamente a disponibilidade hídrica, como comprovados no apêndice C.

FIGURA 42: TENDÊNCIA DE CHUVA NO PARANÁ



Fonte: Gonzatto (2024).

Segundo autores como Malfatti et al. (2018), esse comportamento heterogêneo é encontrado dentro das próprias bacias, como a do Rio Paraná, onde foi possível destacar regiões pluviométricas uniformes em diferentes trechos. A coexistência dessas regiões implica diretamente nos padrões de chuvas desses locais que, por consequência, mantém o fluxo hídrico perene durante todo o ano.

Contudo, cabe destacar que a tendência negativa apresentada na figura 42 é preocupante, visto que tais locais abrangem os principais rios responsáveis pelo abastecimento da população, geração de energia e produção da agrícola no território paranaense. Dessa forma, ao analisar o quadro de secas, concomitante ao de tendências, nota-se a suscetibilidade do Estado às questões pluviais, dissociando a ideia da regularidade das chuvas durante todas as épocas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como foi possível constatar ao longo do trabalho, o estado do Paraná apresenta grande variabilidade pluvial em seu território, alternando em momentos de superávit e déficit pluvial. Este comportamento resulta em períodos de seca extrema ou de excedentes pluviais, capazes de alterar as formações da paisagem e impactar diversos setores da sociedade, como os ambientais, econômicos e sociais. A compreensão desses cenários se torna de extrema importância quando aplicadas ao contexto de variabilidade/mudanças climáticas, à medida que tais alterações podem refletir em novos padrões pluviométricos para a região, especialmente nos momentos de seca.

Dessa forma, a partir das observações realizadas conclui-se que: o primeiro aspecto a ser analisado refere-se à ocorrência de chuvas nos 45 anos investigado. Apesar de estar situado geograficamente numa área marcada por chuvas abundantes e frequentes durante todas as épocas do ano, é possível afirmar que o Estado possui alternâncias em relação a períodos mais secos e úmidos em sua série histórica. Por meio das análises de escala temporal e espacial, constatou-se que os anos de 1978, 1986, 2000, 2006, 2019, 2020, 2021 e 2022 foram os que apresentaram os maiores desvios em relação ao SPI nos intervalos de 3, 6 e 12 meses.

É relevante destacar a ocorrência das secas no quadriênio de 2019 a 2022, considerado um dos períodos mais severos na história do Paraná. Os déficits pluviais registrados na época, possibilitaram o colapso nos sistemas de abastecimento hídrico da capital e entorno, assim como em outras áreas, especialmente a agrícola. Esta análise permitiu constatar os efeitos a curto, médio e longo prazo do fenômeno, de forma a compreender a evolução das secas em relação ao seu grau de severidade e durabilidade no espaço geográfico.

O segundo aspecto analisado refere-se à suscetibilidade do território paranaense à ocorrência de eventos de seca. Os mapas de frequência evidenciaram que todas as áreas do Estado, em algum momento, enfrentaram episódios de escassez hídrica, sem que se observe uma disposição regional específica. Além disso, verificou-se que, em função da variabilidade pluvial anteriormente destacada, o Paraná carece de um padrão espaço-temporal uniforme para a manifestação dessas secas, as quais ocorrem com intensidades

variáveis, alternando entre períodos mais severos (1978-1988 e 2011-2022) e outros menos (1989-1999 e 2000-2010).

Por fim, o último aspecto averiguado foi a análise de tendências pluviiais para o Estado, evidenciando-se aumentos e reduções nas precipitações da área. Através dos 46 postos pluviométricos representativos constatou-se uma predisposição negativa na região, sobretudo no principal rio do Estado, responsável por desempenhar um papel crucial no abastecimento hídrico e especialmente na geração de energia hidrelétrica, uma vez que o Paraná possui uma dependência deste tipo energético.

Este indicativo de redução das precipitações pluviiais, associada ao contexto de mudanças climáticas, infere, portanto, diretamente em estratégias para a mitigação dos impactos a curto, médio e longo prazo, de modo a estabelecer políticas públicas eficientes para a adaptação dos setores em períodos de seca extrema.

6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. Agência Brasil. **Termina Rodízio no Fornecimento de Água em Curitiba.** Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/202201/terminarodizionofornecimentodeaguaemcuritiba#:~:text=O%20governo%20do%20Paran%C3%A1%20anunciou,com%20as%20chuvas%20deste%20m%C3%AAs> Acesso em: 15 dez. 2024.

ALTAMIRANO, R. J. A. **Climatologia dos Eventos Chuvosos e Secos Severos, Extremos e muito Extremos usando o Índice de Precipitação Normalizada (SPI) para as Regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil.** Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

ALPINO, T. M. A, FREITAS, C. M, COSTA, A. M. Seca com um Desastre. **Revista Ciência e Trópico**, v. 38, n. 2, p. 109-134, 2014.

ALVES, L. M.; MARENGO, J. A.; CAVALCANTI, I. F. A. **Histórico de secas na Amazônia.** In: BORMA, L. S.; NOBRE, C. A Secas na Amazônia: causas e conseqüências. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

ALMEIDA, A. S.; LEITE, E. A.; KUANA, L. A.; MERCURI, E. G. F.; GONÇALVES, J. E.; GOBBI, E. F.; BENETI, C. A. A.; MARCON, R. A.; LOBO, A. V. L.; MENDES, E. A. A. **Regionalização de Curvas de Permanência no Estado do Paraná.** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2021.

ANDRADE, A. J. P.; SILVA, N. M.; SOUZA, C. R. As percepções sobre as variações e mudanças climáticas e as estratégias de adaptação dos agricultores familiares do Seridó potiguar. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, v. 31, 2014.

ARMOND, N. B. **Dinâmica climática, excepcionais e vulnerabilidade: contribuições para uma classificação geográfica do clima do estado do Rio de Janeiro**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 170p. 2018.

BARDDAL, M. L.; RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; CURCIO, G. R. Caracterização florística e fitossociológica de um trecho sazonalmente inundável de floresta aluvial, em Araucária, PR. Santa Maria, **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 37-50, 2004.

BASSO, C.; PIRAN, N. L. **Estiagens no Rio Grande do Sul: a linguagem climática**. In: Congresso Internacional das Linguagens, IV, 2010. Erechim: URI, p. 43-47, 2010.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, n. 8, p. 141-152, 2004.

BLAIN, G. C.; BRUNINI, O. Análise da escala temporal de monitoramento das secas agrícolas e meteorológicas no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, p. 255-261, 2007.

BORSATO, V. A. A dinâmica atmosférica no centro-sul do Brasil no verão e as influências do El Niño Oscilação Sul (ENOS). **Revista do Departamento de Geografia**, v. 22, p. 135-157, 2011.

BORSATO, V. A.; HIERA, M. D.; MARCON, L. S. A Zona de Convergência do Atlântico Sul e a dinâmica atmosférica para o noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 11, p. 104-118, 2012.

BRADFORD, J. B.; SCHLAEPFER, D. R.; LAUENROTH, W. K.; PALMQUIST, K. A. Robust ecological drought projections for drylands in the 21st century. **Global change biology**, v. 26, n. 7, p. 3906-3919, 2020.

CALDERON, G.; BORSATO, V. A. O fenômeno La Niña e sua influência na disponibilidade hídrica no município de Campo Mourão-PR. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 21, n. 1, p. 177-197, 2017.

CARMO, M. V. N. S.; LIMA, C. H. R. Caracterização Espaço-Temporal das Secas no Nordeste a partir da Análise do índice SPI. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 233-242, 2020.

CALDERON, G.; BORSATO, V. A. O fenômeno La Niña e sua influência na disponibilidade hídrica no município de Campo Mourão-PR. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 21, n. 1, p. 177-197, 2017.

CALLIARI, L. J.; KLEIN A. H. Características Morfodinâmica e Sedimentológicas das Praias Oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. **Pesquisas**, v. 20, n. 1, p. 48-56, 1993.

CARVALHO, T. S.; VALE, V. A.; SOUZA, K. B. Impactos Econômicos da Crise Hídrica na Região Metropolitana de Curitiba em 2020. **Revista Paranaense de Desenvolvimento-RPD**, v. 42, n. 140, 2021.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D.; GALDINO, J.; BORROZINO, E.; GIACOMINI, C. C.; SONOMURA, M. G.; PUGSLEY, L. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina: Iapar, v. 1, 2000.

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Sistema de Monitoramento de Seca para o Brasil – Outubro/2019**. 2019. Disponível em: <<http://www2.cemaden.gov.br/sistema-de-monitoramento-de-seca-para-o-brasil-outubro2019/>> Acesso em: 10 dez. de 2024.

COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. A seca de 2013 a 2015 na região sudeste do Brasil. *Revista Climanalise*, p. 55-66, 2016.

CONTI, J. B. Considerações sobre as mudanças climáticas globais. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, v. 16, p.70-75, 2005.

CRAUSBAY, S. D.; RAMIREZ, A. R.; CARTER, S. L.; CROSS, C. M.; HALL, K. R.; BATHKE, D. B.; BETANCOURT, J. L.; COLT, B. S.; CRAVENS, A. E.; DALTON, M. S.; DUNHAM, J. B.; HAY, L. E.; HAYES, M. J.; MCEVOY, J.; MCNUTT, C. A.; MORITZ, M. A.; NISLOW, N. R.; SANFORD, T. Defining Ecological Drought for the Twenty-First Century. *American Meteorological Society*, 98, 2543–2550, 2017.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1999.

CUNHA, D. G. F.; VECCHIA, F. As abordagens clássica e dinâmica de clima: uma revisão bibliográfica aplicada ao tema da compreensão da realidade climática. *Ciência e Natura*, v. 29, n. 1, p. 137 - 149, 2007.

CURCIO, Gustavo Ribas. **Relações entre geologia, geomorfologia, pedologia e fitossociologia nas planícies fluviais do rio Iguaçu**, Paraná, Brasil. 2006.

DERAL, Departamento de Economia Rural. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Governo do Estado do Paraná. **Seca e calor reduzem estimativa da produção de grãos no Paraná**. Janeiro de 2019. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/Noticia/Seca-e-calor-reduzem-estimativa-da-producao-degraos-no-Parana>> Acesso em: 15 jul. 2023.

DAI, A. Drought under global warming: a review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, v. 2, n. 1, p. 45-65, 2011.

DIAS, M. A. F. S. Eventos climáticos extremos. *Revista USP*, n. 103, pág. 33-40, 2014.

DOURADO, C. S.; OLIVEIRA, S. R. M.; AVILA, A. M. H. Análise de zonas homogêneas em séries temporais de precipitação no Estado da Bahia. *Bragantia*, v. 72, p. 192-198, 2013.

DUARTE, C. C.; NÓBREGA, R. S.; COUTINHO, R. Q. Análise climatológica e dos eventos extremos de chuva no município do Ipojuca, Pernambuco. *Revista de Geografia (UFPE)*, v. 32, n. 2, 2015.

ELY, D. F. **Teoria e método da climatologia geográfica brasileira: uma abordagem sobre seus discursos e práticas**. Tese (Doutorado em Geografia). UNESP, Presidente Pudente, 2006.

ELY, D. F. A Climatologia Produzida no Interior da Ciência Geográfica Brasileira: uma análise de teses e dissertações defendidas em programas de pós-graduação em geografia. **Terra Livre**, n. 29 (2): 247-264, 2007.

ELY, D. F.; DEBREUIL, V. Análise das tendências espaço-temporais das precipitações anuais para o estado do Paraná–Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017.

ELY, D. F. Padrões Espaciais Das Tendências Das Precipitações Sazonais E Mensais No Estado Do Paraná–Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2019.

FAYE, C. Comparative Analysis of Meteorological Drought Based on the SPI and SPEI Indices. **HighTeach and Innovation Journal**, v. 3, 15-27, 2022.

FECHINE, J. A. L. Identificação de secas meteorológicas na região metropolitana de Fortaleza, usando o índice de precipitação padronizada (SPI). **Boletim de Geografia**, v. 33, n. 2, p. 18-33, 2015.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L.; AMORIM, A. O.; CARDOSO, A. S. **Índices para a Quantificação das Secas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009.

FERNANDES, V. R.; CUNHA, A. P. M. A.; PINEDA, L. A. C.; LEAL, K. R. D.; COSTA, L. C. O.; BROEDEL, E.; FRANÇA, D. A.; ALVALÁ, R. C. S.; SELUCHI, M. E.; MARENGO, J. Secas e os impactos na região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, p. 561-584, 2021.

FERREIRA, M. E. **Estiagens no Estado do Paraná 1971-2004**. Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 148 p., 2007.

FERREIRA, J. S. Teoria e método em climatologia. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 8, p. 766–773-766–773, 2012.

FLORES, B. Á.; GAUDIANO, É. J. G. Percepción social de los eventos climáticos extremos: una revisión teórica enfocada en la reducción del riesgo. **Trayectorias**, v. 16, n. 39, pág. 36-58, 2014.

FREIRE, J. L. M.; LIMA, J. R. A.; CAVALCANTI, E. P. Análise de aspectos meteorológicos sobre o Nordeste do Brasil em anos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, n. 1, p. 429-444, 2011.

FREITAS, M. A. S. Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semi-áridas. **Revista Tecnologia**, v. 19, n. 1, 1998.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; WERGE, M. S.; CHAVES NETO, A. Análise da pluviometria para definição de zonas homogêneas no Estado do Paraná. **RA'E GA-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 23, 2011.

FONTÃO, P. A. B. **Variações do ritmo pluvial na Região Metropolitana de São Paulo: reflexos no armazenamento hídrico e impactos no**

abastecimento urbano. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. 2018.

FONTÃO, P. A. B. **A Escola Brasileira de Climatologia Geográfica: perspectivas atuais e futuras do paradigma do ritmo climático.** In: GUIMARÃES, A. R.; FONSECA, R. Gerolineto; F., S. (org.). *Perspectivas geográficas.* Ituiutaba: Barlavento, 200 p. 2021.

FONTÃO, P. A. B.; MOLINA, J. V.; SALGADO, P. P. Avaliação dos Riscos de Secas na Região Metropolitana de São Paulo. **RAEGA-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 55, p. 3-24, 2022.

FREITAS, M. A. S. Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semi-áridas. **Revista Tecnologia Fortaleza.** nº 19. p. 19 -30. dez. 1998.

GALVANI, E; LIMA, N. G. B; ALVES, R. R. Variabilidade e tendência das precipitações no litoral sul de São Paulo. **Revista GEONORTE**, Edição Especial 2, v.1, n.5, p.1163-1176, 2012.

GARCIA, D. A. Z.; VIDOTTO-MAGNONI, A. P.; ORSI, M. L. Características reprodutivas de peixes invasores no rio Paranapanema, bacia do alto rio Paraná, sul do Brasil. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 14, n. 4, p. 511-528, 2019.

GEBERT, D. M. P.; KIST, A.; VIRGENS FILHO, J. S. Determinação de regiões homogêneas de precipitação pluviométrica no estado do Paraná por meio de técnicas de análise multivariada e geoestatística. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, 2018.

GRIMM, A. M.; ALMEIDA, A. S.; BENETI, C. A. A.; LEITE, E. A. The combined effect of climate oscillations in producing extremes: the 2020 drought in southern Brazil. **RBRH**, v. 25, p. e48, 2020.

GOMES, M. S.; CAVALCANTI, I. F. A.; MÜLLER, G. V. 2019/2020 drought impacts on South America and atmospheric and oceanic influences. **Weather and Climate Extremes**, v. 34, p. 100404, 2021.

GONÇALVES, S. T. N.; JUNIOR, F. C. V.; SAKAMOTO, M. S.; SILVEIRA, C. S.; MARTINS, E. S. P. R. Índices e metodologias de monitoramento de Secas: Uma revisão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, p. 495-511, 2021.

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

GOUDARD, G. **Interações Oceano-Atmosfera e Efeitos na Variabilidade Pluvial do Clima Subtropical Brasileiro.** Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Paraná, Setor Ciências da Terra, 2023.

GUTIÉRREZ, A. P. A.; ENGLE, N. L.; NYS, E. D.; MOLEJON, C.; MARTINS, E. S. Drought preparedness in Brazil. **Weather and Climates Extremes.** Liverpool - UK, v. 3, p. 95-106, 2014.

HAILE, G. G.; TANG, Q.; LI, W.; LIU, X.; ZHANG, X. Drought: Progress in broadening its understanding. **WIREs Water**, v. 2, p. e1407, 2019.

HARTSHORNE, R. The nature of geography: A critical survey of current thought in the light of the past. **Annals of the Association of American geographers**, v. 29, n. 3, p. 173-412, 1939.

HERRMANN, M.S.; HUTCHINSON, C. F. The Scientific Basis: Linkings between Land Degradation, Drought, and Desertification. In: JOHNSON, P. M.; MAYRAND, K.; PAQUIN, M. **Governing Global Desertification: Linking Environmental Degradation, Poverty and Participation**. Hampshire: Ashgate Publishing, p. 10-28, 2006.

IPCC. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2023.

JAIN, S. K.; KUMAR, V. Trend analysis of rainfall and temperature data for India. **Current Science**, p. 37-49, 2012.

JULIANI, B. H.T.; CAMPOS, A. L.; ALMEIDA, A. S.; LEITE, E. A. **Índice operacional para o monitoramento da seca hidrológica no alto Iguaçu**. In Anais do II END - Encontro Nacional de Desastres da ABRHidro, online, dez. 2020.

JÚNIOR, E. F.; CASOLA, L. D. R. Secas na Região Geoeconômica Centro-Sul do Brasil (de 2020 a 2022): uma discussão teórica. **Revista Foco**, v. 17, n. 10, p. 1-21, 2024.

KAYANO, M. T.; MOURA, A. D. O El Niño de 1982-83 e a precipitação sobre a América do Sul. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 4, p. 201-214, 1986.

KIST, A.; GEBERT, D. M. P. Contribuição aos estudos da influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 31, p. 207-229, 2022.

KIST, A.; GEBERT, D. M. P. Contribuição aos estudos da influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 31, p. 207-229, 2022.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928.

KUMAR, V.; JAIN, S. K.; SINGH, Y. Analysis of long-term rainfall trends in India. **Hydrological Sciences Hydrologiques**, v. 55, n. 4, p. 484-496, 2010.

LI, L.; ELA, D.; ZHENG, H.; LIN, P.; YANG, Z. L. Elucidating diverse drought characteristics from two meteorological drought indices (SPI and SPEI) in China. **Journal of Hydrometeorology**, v. 21, n. 7, p. 1513-1530, 2020.

LIMBERGER, L. Estudos de teleconexões atmosféricas e possibilidades de avanços na Climatologia Geográfica: conceitos, fontes de dados e técnicas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 19, ano 12, pp. 10-19, 2016.

LIMBERGER, L.; ELY, D. F. Régionalisation des précipitations dans l'état du Paraná (Brésil) en lien avec la température de surface de la mer. In: XXXII Colloque Internationale de l'Association Internationale de Climatologie, 2019, Actes. **Thessaloniki**, v. 1, p. 493-498, 2019.

LIU, C.; YANG, C.; YANG, Q.; WANG, J. Spatiotemporal drought analysis by the standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in Sichuan Province, China. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1280, 2021.

MALFATTI, M. G. L.; CARDOSO, A. O.; HAMBURGER, D. S. Identificação de regiões pluviométricas homogêneas na bacia hidrográfica do Rio Paraná. **Geociências**, v. 37, n. 2, p. 409-421, 2018.

MANGILI, F. B. **Dinâmica das Chuvas no Paraná: da análise rítmica á espacial**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, 2021.

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**, Edição Especial, 2009.

MARENGO, J. A.; SANTOS, S. N. **As secas de 1998, 2005 e 2010: análise climatológica**. In: BORMA, L. S.; NOBRE, C. A Secas na Amazônia: causas e consequências. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Crise hídrica em São Paulo em 2014: seca e desmatamento. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 19, n. 3, p. 485-494, 2015.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, A.; ALVES, L. M.; MENDIONDO, E. M.; OBREGÓN, G.; SAMPAIO, G. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, n. 106, p. 31-44, 2015.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Revista Climanálise**, v. 3, n. 1, p. 49-54, 2016.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ESPINOZA, J.-C.; FU, R.; SCHÖNGART, J.; JIMENEZ, J. C.; COSTA, M. C.; RIBEIRO, J. M.; WONGCHUIG, S.; ZHAO, S. The Drought of Amazonia in 2023-2024. **American Journal of Climate Change**, v. 13, n. 03, p. 567-597, 2024.

MARTINS, E. S. P. R.; MAGALHÃES, A. R. A. Seca de 2012-2015 no Nordeste e seus Impactos. **Parcerias Estratégicas**. Brasília, v. 20, n. 41, p.107-128, jul./dez., 2015.

MARTINS, L. L.; SOBIERAJSKI, G. R.; BLAIN, G. C.; Elevações na frequência de ocorrência de secas meteorológicas no Estado de São Paulo sob condições de mudanças climáticas. **Derbyana**, v. 44, 2023.

MASUD, M. B.; KHALIQ, M. N.; WHEATER, H. S. Analysis of meteorological droughts for the Saskatchewan River Basin using univariate and bivariate approaches. **Journal of Hydrology**, v. 522, p. 452-466, 2015.

MELO, J. C. O fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil. Raízes: **Revista de Ciências Sociais e Econômicas**, n. 20, p. 13-21, 1999.

MELO, E. F. R. Q.; MELO, R. H. R. Q.; MELO, R. H. R. Q. Eventos climatológicos extremos na bacia do rio Inhandava e a gestão urbana. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 14, n. 5, 2018.

MELLO, Y. R.; SAMPAIO, T. V. M. Análise geoestatística da precipitação média para o estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2019.

MINUZZI, R. B.; CARAMORI, P. H. Variabilidade climática sazonal e anual da chuva e veranicos no Estado do Paraná. **Revista Ceres**, v. 58, p. 593-602, 2011.

MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. A review of drought concepts. **Journal of hydrology**, v. 391, n. 1-2, p. 202-216, 2010.

MONTANHER, O. C; MINAKI, C. Precipitação em Maringá-PR: estatísticas descritivas, tendência de longo prazo e probabilidade de eventos extremos diários. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 39, p. 138-153, 2020.

MORAES, A. C. R. Geografia: pequena história crítica. **Annablume**, 2009.

NAGAROLLI, M. **Evolução Climática do Estado do Paraná: 1970-1999**. Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 153 p., 2007.

NASCIMENTO, B. M. **Estudo Comparativo dos índices SPEI e SPI na Caracterização de Secas no Centro-Oeste de São Paulo**. Monografia (Graduação), Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 44p. 2021.

NASCIMENTO JUNIOR, L. Perspectivas da Variabilidade Climática. **Geografia em Questão**, v. 10, n. 1, 2017.

NEPOMOCENO, T. A. R. As Múltiplas Dimensões da Crise Hídrica na Agricultura do Estado do Paraná. **Revista Pleiade**, v. 17, n. 38, p. 13-21, 2023.

NERY, J. T.; VARGAS, W. M.; MARTINS, M. L. O. F. Caracterização da Precipitação no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 2, p. 81-89, 1996.

NERY, J. T.; VARGAS, W. M.; MARTINS, M. L. O. F. Variabilidade interanual da precipitação do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 115-125, 1997.

NERY, J. T. Dinâmica climática da região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.1, n.1, p. 61-75, 2005.

NERY, J. T.; STIVARI, S. M. S.; MARTINS, M. L. O. F.; SILVA, E. S.; SOUSA. Estudo da precipitação do estado do Paraná e sua associação à temperatura da superfície do Oceano Pacífico. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 1, p. 161-171, 2005.

NERY, J. T.; SIQUEIRA, B. Índice de Anomalia de Chuva aplicado ao estudo das precipitações no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, 2020.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

NUNES, L. H.; LOMBARDO, M. A. A questão da variabilidade climática: uma reflexão crítica. **Revista do Instituto Geológico (Descontinuada)**, v. 16, n. 1-2, p. 21-31, 1995.

OJHA, S. S.; SINGH, V.; ROSHNI, T. Comparison of meteorological drought using SPI and SPEI. **Civ. Eng. J**, v. 7, p. 2130-2149, 2021.

OLIVEIRA, M. R. P.; GALVANI, E. Eventos Extremos de Precipitação no Perfil Longitudinal Paraty (RJ)-Campos do Jordão (SP). **Revista do Departamento de Geografia**, p. 58-66, 2017.

OTTO, F. E. L. Extreme events: the art of attribution. **Nature: Climate Change**, v. 6, pp.342-343, 2016.

PANSERA, W. L.; GOMES, B. M.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C.; MELO, E. L.; QUEIROZ, M. M. F. Regionalization of monthly precipitation values in the state of Paraná (Brazil) by using multivariate clustering algorithms. **Irriga, Botucatu**, v. 20, n. 3, p. 473-489, 2015.

PAROLIN, M.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; LEANDRINI, J. A. **Abordagem ambiental interdisciplinar em bacias hidrográficas no Estado do Paraná**. In: PAROLIN, M.; GUERREIRO, R. L.; KUERTEN S.; MENEZES, H. R. Bacias Hidrográficas Paranaenses. Campo Mourão: Editora da Fecilcam, p. 158, 2010.

PESSINI, P. B.; CHAGAS, V. B. P.; CHAFFE, P. L. B. **Aplicação do Índice de Precipitação Padronizado (SPI) para a região Sul do Brasil (1975-2010)**. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, SC, 2017.

PIRES, V. **Frequência e intensidade de fenômenos meteorológicos extremos associados à precipitação**. Tese (Mestrado) em Ciências e Engenharia da Terra Universidade de Lisboa, Portugal. 2003.

PINTO, L. F. D.; SILVA, M. A. A.; NITSCHKE, P. R.; FARIAS, J. R. B.; SIBALDELLI, R. N. R.; ZUCARELLI, C. Ocorrência de Estiagem no Estado do Paraná. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 44, n. 4, p. 1463-1488, 2023.

PLURAL. Jornal Plural Curitiba. Disponível em: <<https://www.plural.jor.br/noticias/vizinhanca/curitiba-enfrenta-sua-pior-seca-em-40-anos/>> Acesso em: 15 dez. 2024.

PRELA, A.; PEREIRA, A. R.; GARCIA, B. I. L.; PIEDADE, S. M. S. P. Influência dos fenômenos El Niño e La Niña na chuva de Pato Branco-Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 121, n. 1, p. 205-210, 2004.

QIN, Y.; YANG, D.; LEI, H.; XU, K.; XU, X. Comparative analysis of drought based on precipitation and soil moisture indices in Haihe basin of North China during the period of 1960–2010. **Journal of Hydrology**, v. 526, p. 55-67, 2015.

QUIRING, S. M. Monitoring drought: an evaluation of meteorological drought indices. **Geography Compass**, v. 3, n. 1, p. 64-88, 2009.

RAHMAN, R.; LATEH, H. Meteorological drought in Bangladesh: assessing, analysing and hazard mapping using SPI, GIS and monthly rainfall data. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, p. 1-20, 2016.

RIAHI, K. et al. The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: an overview. **Global Environmental Change**, v. 42, p. 153-168, 2017.

RUDY, L. **Clima e Rios Urbanos: as variações do ritmo pluvial na Bacia do Rio Belém**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Curitiba (PR), 180p. 2023.

SANCHES, F. O.; VERDUM, R.; FISCH, G. Estudo de tendência de chuvas de longo prazo. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, p. 214-228, 2013.

SALTON, F. G.; MORAIS, H.; LOHMANN, M. Períodos secos no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, p. 295-303, 2021.

SAMPAIO, S. C.; QUEIROZ, M. M. F.; FRIGO, E. P.; LONGO, A. J.; SUSZEK, M. Estimativa e distribuição de precipitações decendiais para o Estado do Paraná. **Irriga**, v. 12, n. 1, p. 38-53, 2007.

SANEPAR, Companhia de Saneamento do Paraná. **Seca não dá trégua e exige ações emergenciais**. Julho de 2020. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/noticias/secanao-da-tregua-e-exige-aco-es-emergenciais>> Acesso em: 15 set. 2022.

SALTON, F. G.; MORAIS, H.; LOHMANN, M. Períodos Secos no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, p. 295-303, 2021.

SANTOS, A. A.; SOUZA, J. L. M.; ROSA, S. L. K. Evapotranspiração de referência horária e diária pelo modelo ASCE-PM para o Estado do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, p. 197-209, 2021.

SANTOS, S. R. Q.; SANSIGOLO, C. A.; BRAGA, C. C.; NEVES, T. T. A. T.; SANTOS, A. P. P. Identificação e caracterização de secas recentes na região Amazônica: Avaliação no contexto climático atual. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, p. 1746-1759, 2017.

SANTOS, S. R. Q.; SANSIGOLO, C. A.; NEVES, T. T. A. T.; CAMPOS, T. L. O. B. SANTOS, A. P. P. Frequências de eventos extremos de seca e chuva na Amazônia utilizando diferentes bancos de dados de precipitação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 2, p. 468-478, 2017.

SANTOS, E. M.; GAIO, D. C.; PAULO, S. R.; BIUDES, M. S.; MACHADO, N. G.; SANTOS, L. O. F. Detecção dos extremos climáticos e suas relações com os índices oceânicos para quatro estações meteorológicas do estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 03, p. 1180-1195, 2022.

SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. L. S. Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de geomorfologia**, v. 7, n. 2, 2006.

SCHENK, J. J.; STEPPAN, S. J. Too long to read: Assessing the motivation behind graduate student attendance in reading groups. **Journal of College Science Teaching**, v. 44, n. 2, p. 40-45, 2014.

SCHNEIDER, S.H. Encyclopaedia of Climate and Weather. **Oxford University Press**, New York. 1996.

SEREBRENICK, S. **Classificação Meteorológica dos Climas do Brasil**. – In: Congresso Brasileiro de Geógrafos. Florianópolis – CNG/IBGE, Rio de Janeiro, p. 440 - 459, 1940.

STEPHENSON, D. Definition, diagnosis, and origin of extreme weather and climate events. In: DIAZ, Henry; MURNANE, Richard (eds.). **Climate extremes and society**. Cambridge University Press, 2008.

SILVA, C. B, SANT'ANNA NETO, J. L; TOMMASELLI, J. T. G. **Variabilidade pluviométrica no curso médio do Rio Paraná: área de integração paisagística da “Raia divisória” SP-PR-MS**. In Anais do XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Natal (RN), 2007.

SILVA, V. M. A.; PATRÍCIO, M. C.; RIBEIRO, V. H.; MEDEIROS, R. M. O desastre seca no Nordeste Brasileiro. **Polêm!ca**, v. 12, n. 2, p. 284-293, 2013.

SILVA, D. F.; LIMA, M. J. S.; NETO, P. F. S.; GOMES, H. B.; SILVA, F. D. S.; ALMEIDA, H. R. R. C.; PEREIRA, M. P. S.; COSTA, R. L. Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no índice Padronizado de Precipitação Para o Leste do Nordeste. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 449-464, 2020.

SILVA, S. M.; PEREIRA, F. N.; MEDEIROS, F. G. N.; TEIXEIRA, C. A. F. S. Cenários e perspectivas sobre os impactos das mudanças climáticas na segurança alimentar e nutricional. **Cadernos de Agroecologia**, v. 19, n. 1, 2024.

SILVA, M. E. S.; SILVA, C. B. Variabilidade Climática–processos físicos e dinâmicos nos oceanos e atmosfera. **Revista do Departamento de Geografia**, p. 372-406, 2012.

SILVEIRA, C. T.; SILVEIRA, R. M. P.; TRETIN, R.; ROBAINA, L. E. S. Classificação Automatizada de Elementos de Relevo no Estado do Paraná (Brasil) por meio da Aplicação da Proposta dos Geomorphons. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 1, 2018.

SLEIMAN, J.; SILVA, M. E. S. Padrões atmosféricos associados a eventos extremos de precipitação sobre a região sul do Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 20, p. 93-109, 2010.

SLETTE, I. J.; POST, A. K.; AWAD, M.; EVEN, T.; PUNZALAN, A.; WILLIAMS, S.; SMITH, M. D.; KNAPP, A. K. How ecologists define drought, and why we should do better. **Global Change Biology**, v. 25, n. 10, p. 3193-3200, 2019.

SOUSA, F. A. S.; VIEIRA, V. R.; SILVA, V. P. R.; MELO, V. S.; GUEDES, R. W. S. Estimativas dos riscos de chuvas extremas nas capitais do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 02, p. 430-439, 2016.

SOUZA, P. H.; SANCHES, R. G.; SANTOS, B. C. Índices climáticos e chuvas intensas no município de alfenas/mg no período de 1984-2016. **Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais**, v. 14, p. 320-341, 2018.

TERASSI, P. M. B.; GALVANI, E. O efeito orográfico da Serra do Mar e o potencial erosivo das chuvas nas bacias hidrográficas do Ribeira e Litorânea-Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017

TERASSI, P. M. B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; GÓIS, G.; GALVANI, E. Variabilidade do índice de precipitação padronizada na região norte do estado do Paraná associada aos eventos de El Niño-Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, p. 11-25, 2018.

TERASSI, P. M. B. **Variabilidade Pluviométrica e os Eventos Pluviais Extremos em Bacias Hidrográficas do Leste do Estado do Paraná**. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2019.

THORNTHWAITE, C. W. An approach towards a rational classification of climate. **Geographical Review**, London, v. 38, p. 55-94, 1948.

TRIBUNA. Tribuna Paraná. Disponível em: <https://tribunapr.uol.com.br/noticias/curitiba-regiao/parana-tem-o-pior-cenario-de-seca-em-100-anos-entenda-esta-estiagem/> Acesso em 15 dez. 2024.

USTA, D. F. B.; TEYMOURI, M.; CHATTERJEE, U. Assessment of temperature changes over Iran during the twenty-first century using CMIP6 models under SSP1-26, SSP2-4.5, and SSP5-8.5 scenarios. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 15, n. 5, p. 416, 2022.

VAN LOON, A. F. Hydrological drought explained. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 2, n. 4, p. 359-392, 2015.

VIEGAS, J.; ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T.; CANDIDO, L. A.; SOUZA, R. A. F.; HALL, D. H.; SOUZA, A. C.; GARCIA, S. R.; TEMOTEO, G. G.; VALENTIN, W. I. D. Caracterização dos diferentes tipos de El Niño e seus impactos na América do Sul a partir de dados observados e modelados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, p. 43-67, 2019.

WALTRICK, P. C.; MACHADO, M. A. M.; OLIVEIRA, D.; GRIMM, A. M.; DIECKOW, J. Erosividade de chuvas no estado do Paraná: Atualização e influência dos eventos “El Niño” e “La Niña”. **Boletim Técnico da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Curitiba, 2012.

WANG, W.; ERTSEN, M. W.; SVOBODA, M. D.; HAFEEZ, M. Propagation of drought: from meteorological drought to agricultural and hydrological drought. **Advances in Meteorology**, v. 2016, 2016.

WEILNHAMMER, V.; SCHMID, J.; MITTERMEIER, I.; SCHREIBER, F.; JIANG, L.; PASTUHOVIC, V.; HERR, C.; HEINZE, S. Extreme weather events in europe and their health consequences – A systematic review. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 233, p. 113688, 2021.

WILHITE, D. A.; GLANTZ, M. H. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. **Water international**, v. 10, n. 3, p. 111-120, 1985.

WILHITE, D. A. **DROUGHT**. IN: HOLTON, J. A.; PYLE, C.; CURRY, J. A. (ed.). Encyclopedia of atmospheric science. New York: Elsevier, p.650-658, 2003.

WILHITE, D. A; PULWARTY, R. S. **Drought and water crises: Integrating Science, Management, and Policy**. CRC Press, 2ª edição. Nova York, Estados Unidos. 2017.

WILHITE, D. A.; GLANTZ, M. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. **Planning for drought**, p. 11-27, 2019.

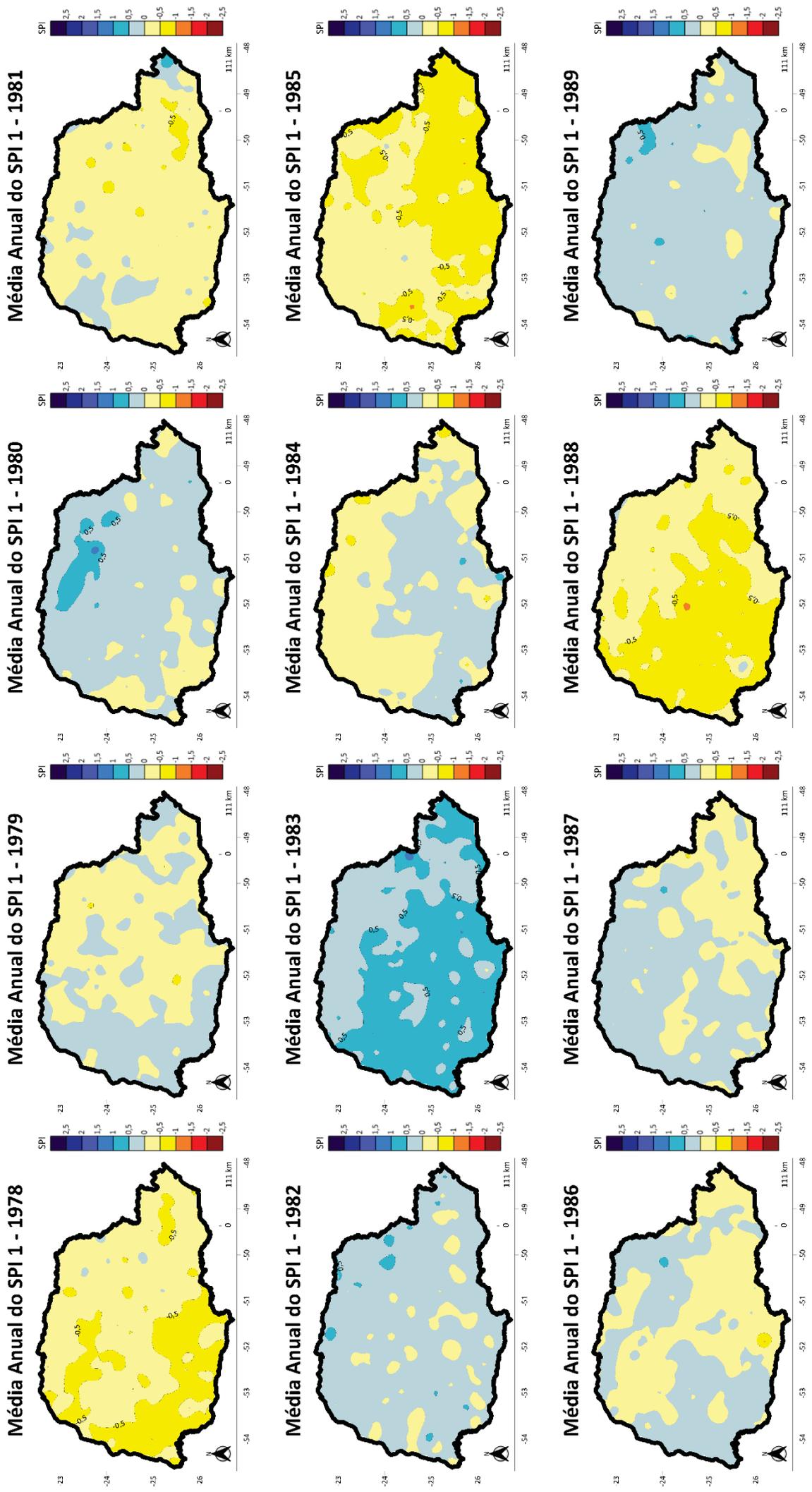
WLOSTOWSKI, A. N.; JENNINGS, K. S.; BASH, R. E.; BURKHARDT, J.; WOBUS, C. W.; AGGET, G. Dry landscapes and parched economies: A review of how drought impacts nonagricultural socioeconomic sectors in the US Intermountain West. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 9, n. 1, p. 1-24, 2022.

XAVIER, D. R.; BARCELLOS, C.; FREITAS, C. M. Eventos climáticos extremos e consequências sobre a saúde: o desastre de 2008 em Santa Catarina segundo diferentes fontes de informação. **Ambiente e Sociedade**, v. 17, p. 273-294, 2014.

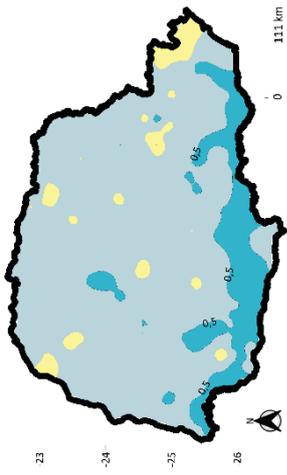
ZHANG, Q.; XU, C.-Y.; CHEN, X. H.; ZHANG, Z. Statistical behaviors of precipitation regimes in China and their links with atmospheric circulation 1960 - 2005. **International Journal of Climatology**, 31, 1665–1678, 2011.

APÊNDICE A

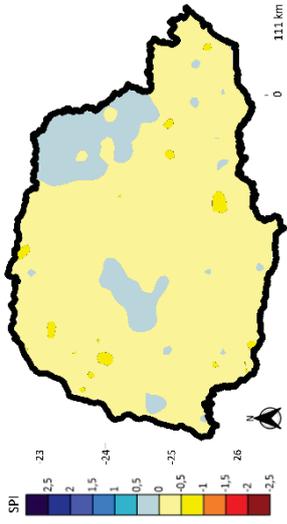
FIGURA 43: MÉDIA ANUAL DO SPI1 PARA A SÉRIE HISTÓRICA DE 1978-2022 DO PARANÁ



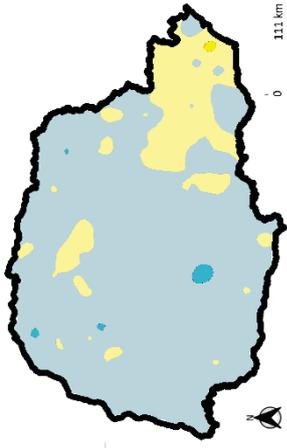
Média Anual do SPI 1 - 1990



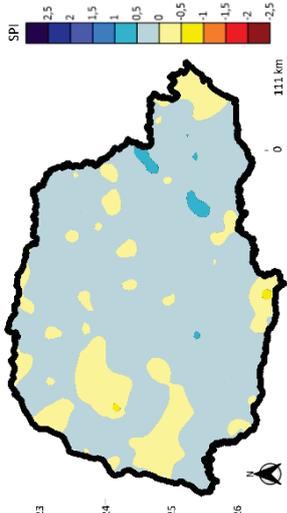
Média Anual do SPI 1 - 1991



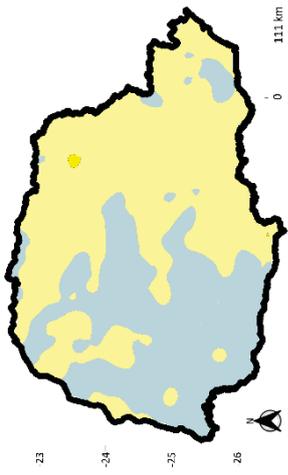
Média Anual do SPI 1 - 1992



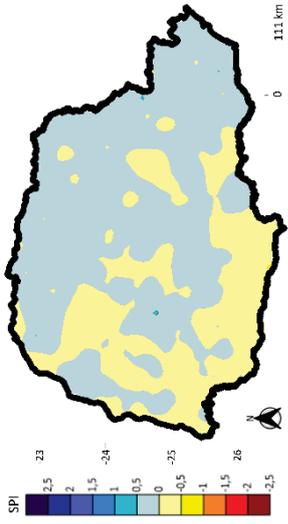
Média Anual do SPI 1 - 1993



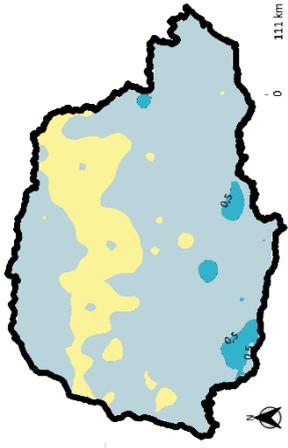
Média Anual do SPI 1 - 1994



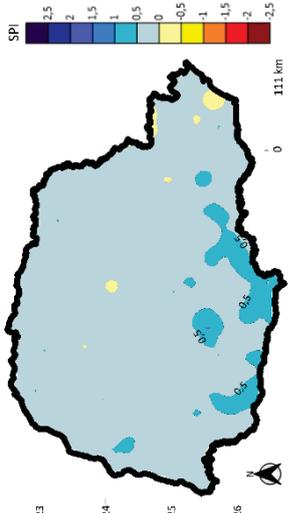
Média Anual do SPI 1 - 1995



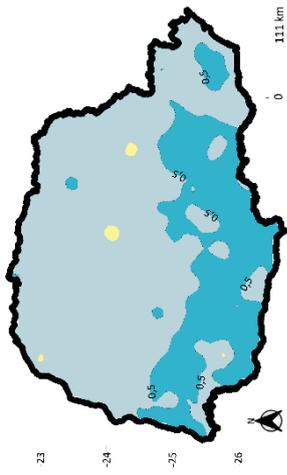
Média Anual do SPI 1 - 1996



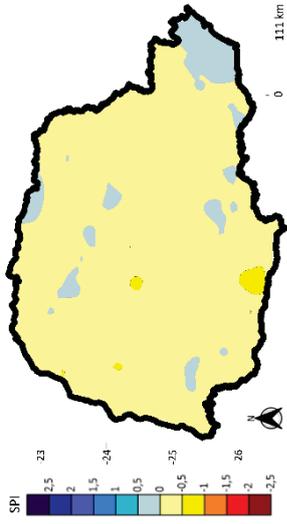
Média Anual do SPI 1 - 1997



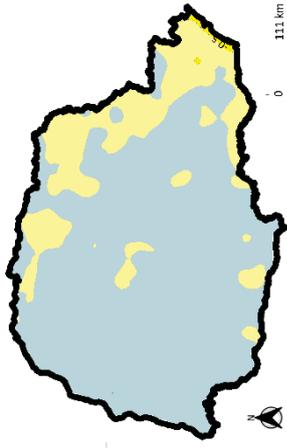
Média Anual do SPI 1 - 1998



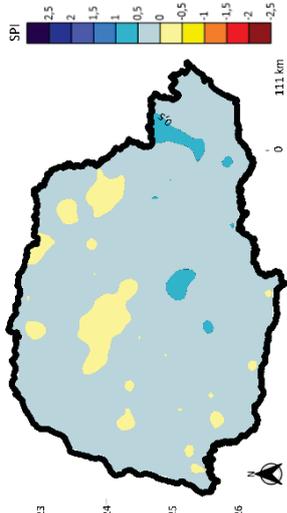
Média Anual do SPI 1 - 1999



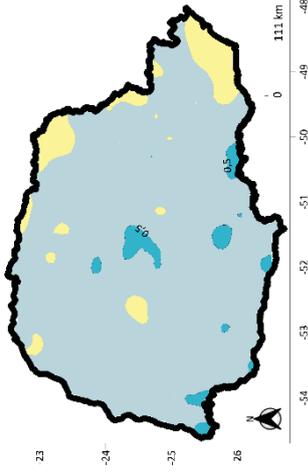
Média Anual do SPI 1 - 2000



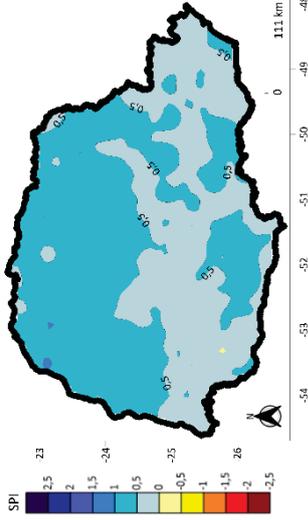
Média Anual do SPI 1 - 2001



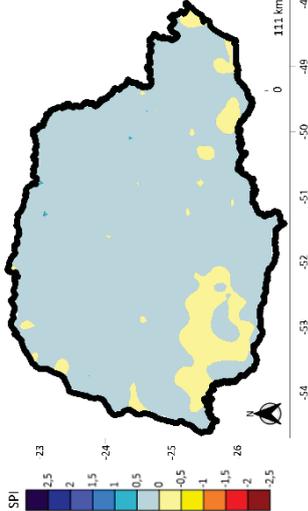
Média Anual do SPI 1 - 2014



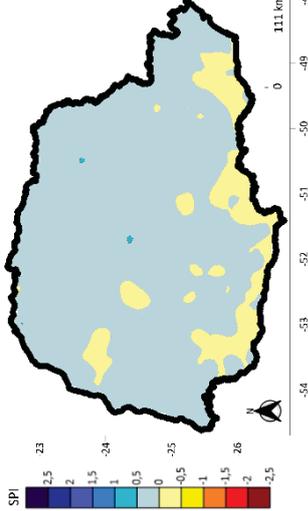
Média Anual do SPI 1 - 2015



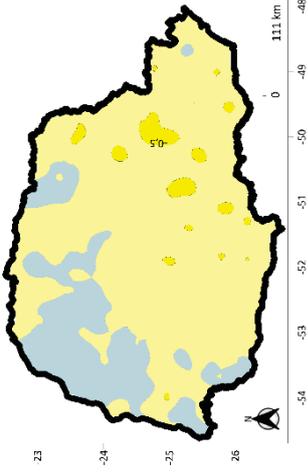
Média Anual do SPI 1 - 2016



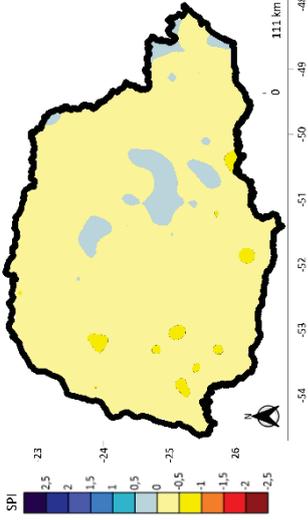
Média Anual do SPI 1 - 2017



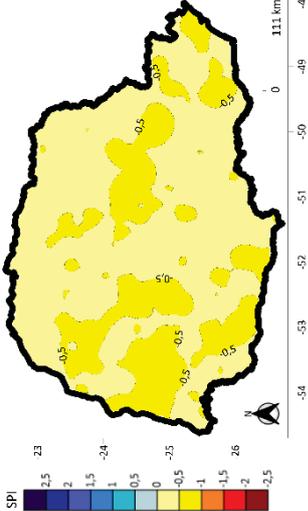
Média Anual do SPI 1 - 2018



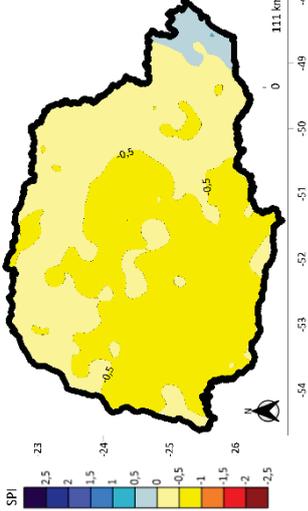
Média Anual do SPI 1 - 2019



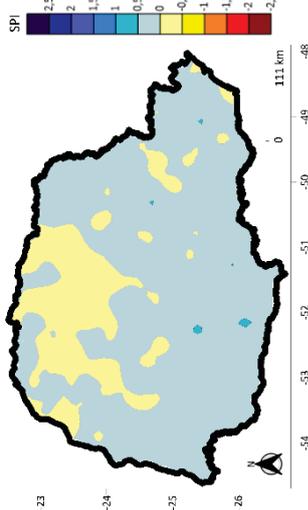
Média Anual do SPI 1 - 2020



Média Anual do SPI 1 - 2021



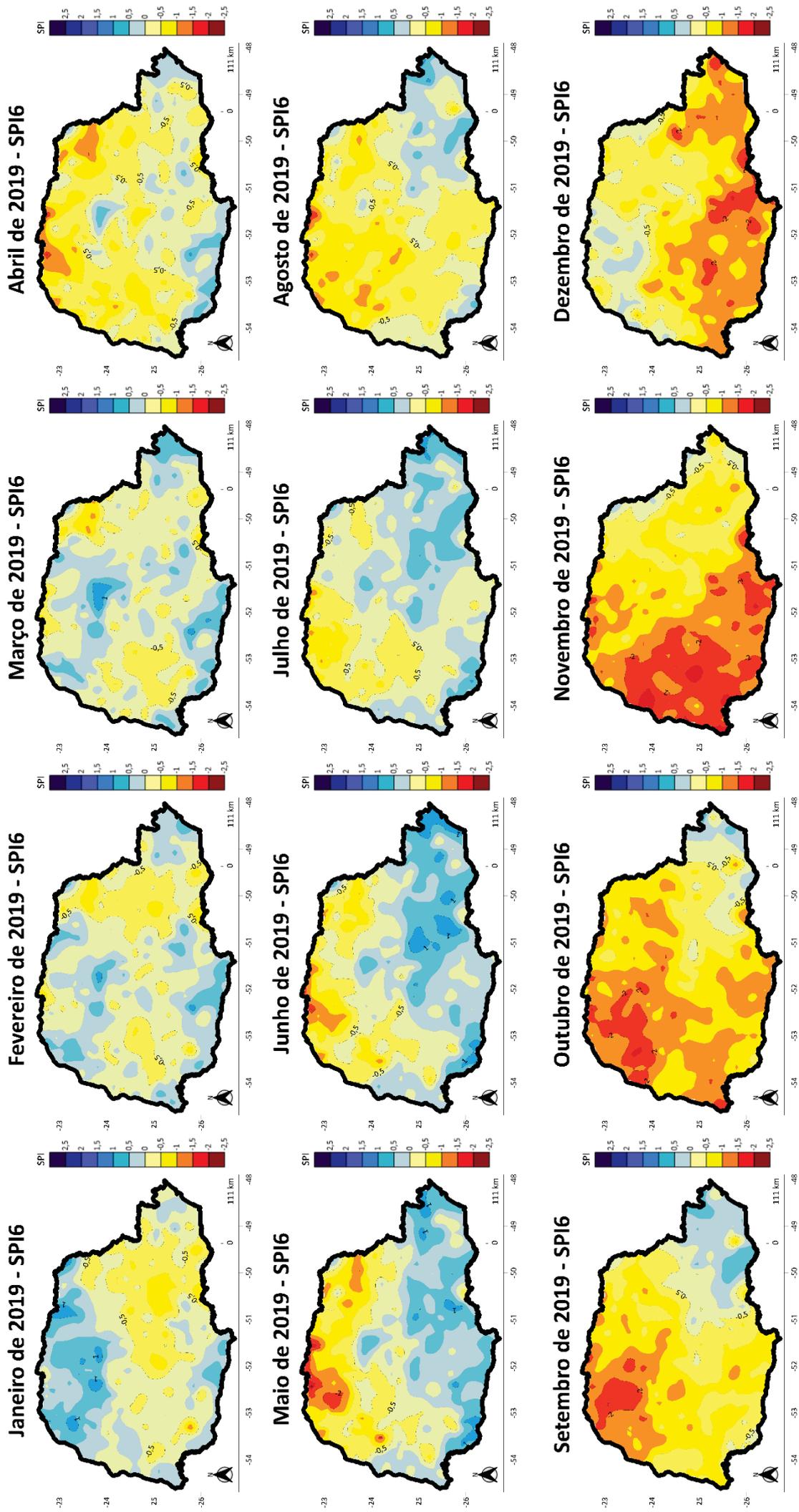
Média Anual do SPI 1 - 2022



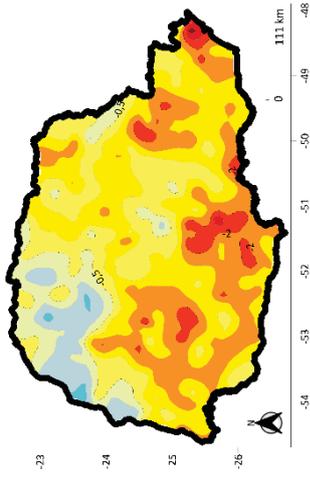
Fonte: do autor (2024).

APÊNDICE B

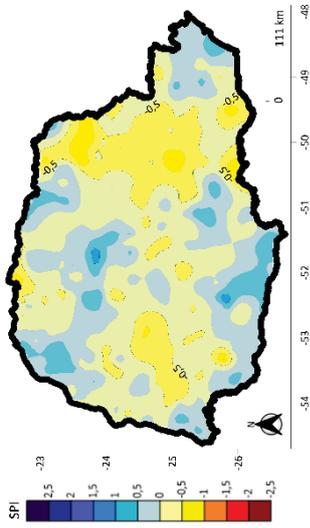
FIGURA 44: APLICAÇÃO MENSAL DO SPI6 ENTRE OS ANOS DE 2019-2022 NO PARANÁ



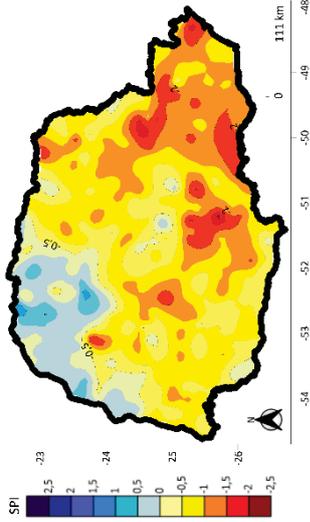
Janeiro de 2020 - SPI6



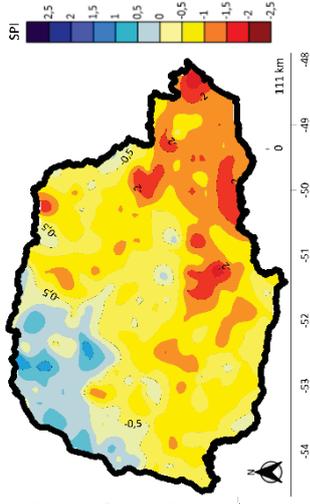
Fevereiro de 2019 - SPI6



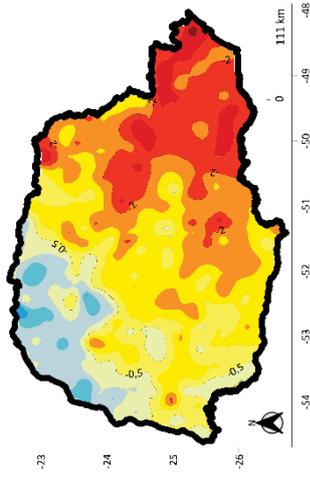
Março de 2020 - SPI6



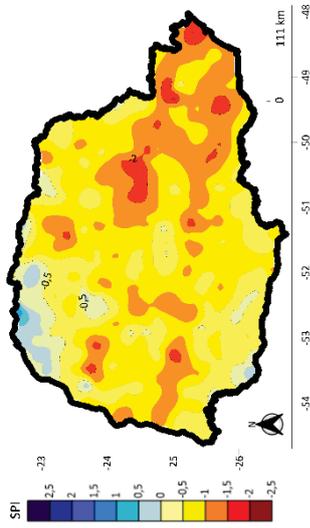
Abril de 2020 - SPI6



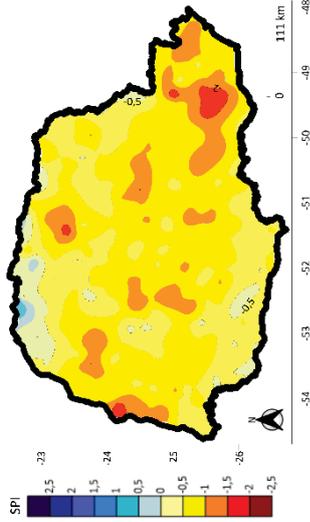
Mai de 2020 - SPI6



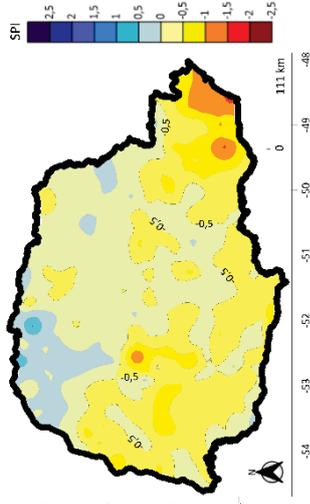
Junho de 2020 - SPI6



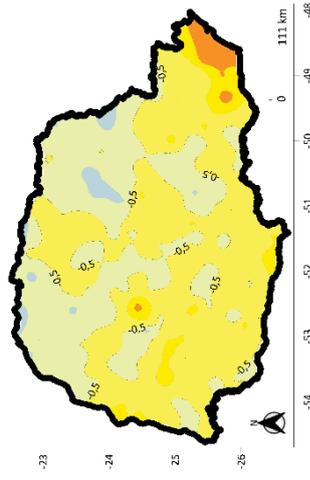
Julho de 2020 - SPI6



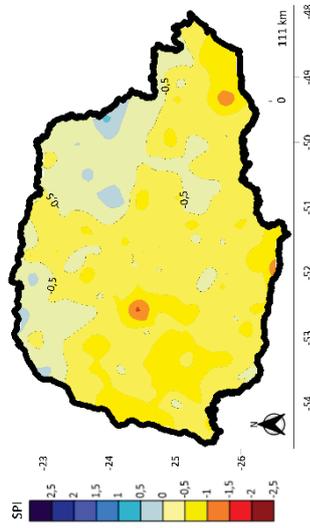
Agosto de 2020 - SPI6



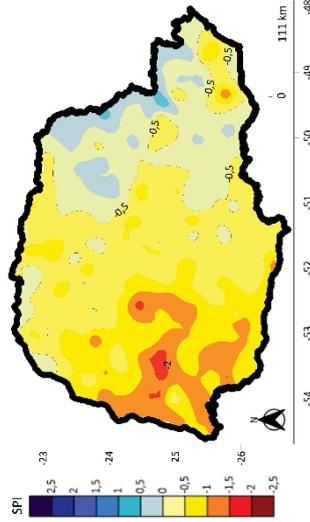
Setembro de 2020 - SPI6



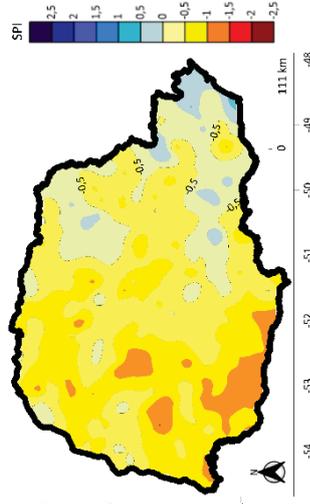
Outubro de 2020 - SPI6



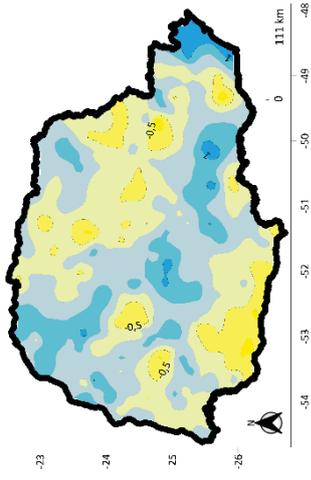
Novembro de 2020 - SPI6



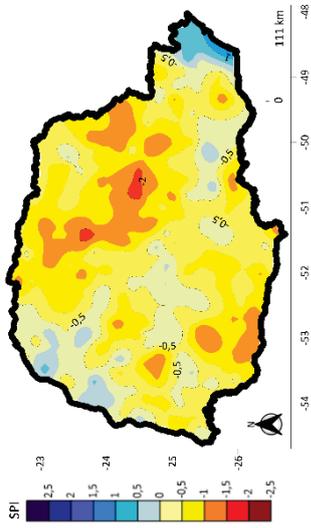
Dezembro de 2020 - SPI6



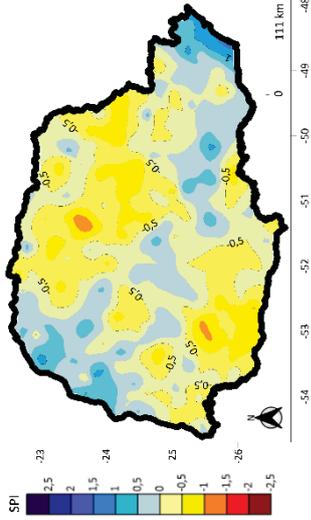
Janeiro de 2021 - SPI6



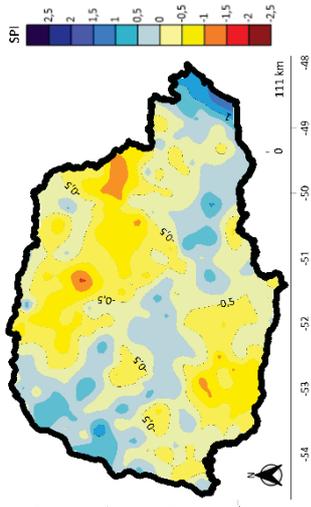
Fevereiro de 2021 - SPI6



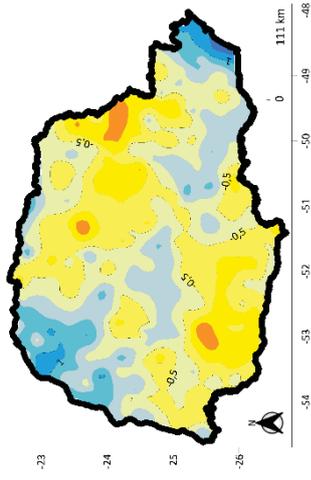
Março de 2021 - SPI6



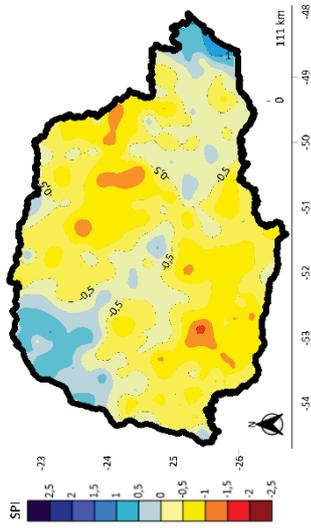
Abril de 2021 - SPI6



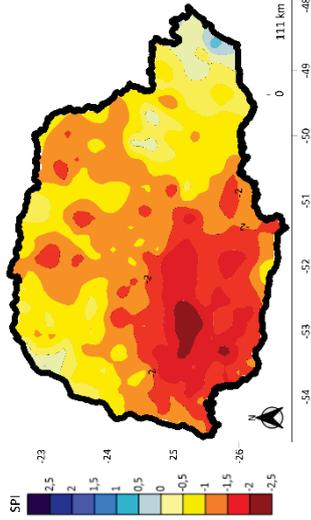
Maiço de 2021 - SPI6



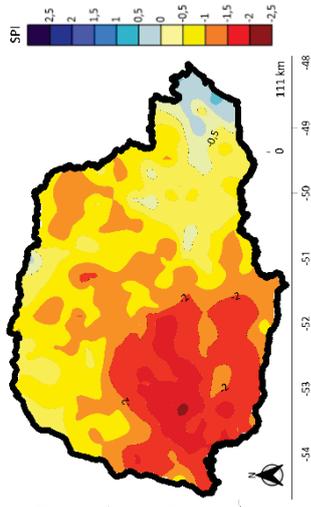
Junho de 2021 - SPI6



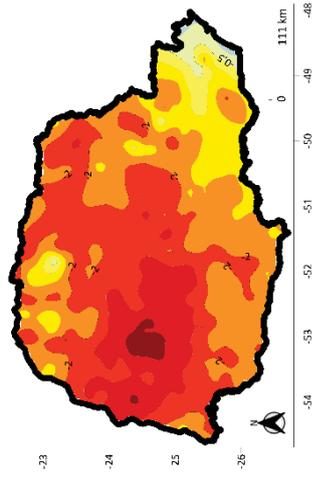
Julho de 2021 - SPI6



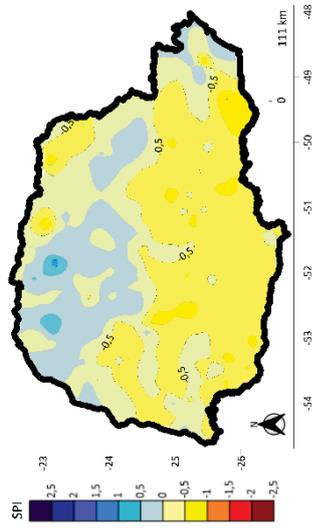
Agosto de 2021 - SPI6



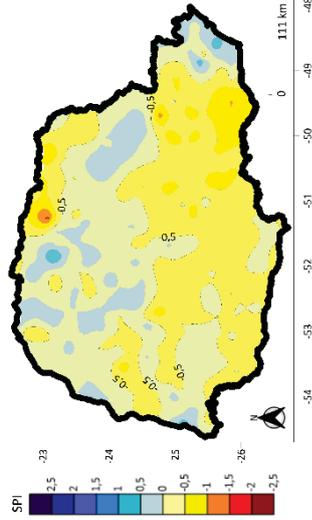
Setembro de 2021 - SPI6



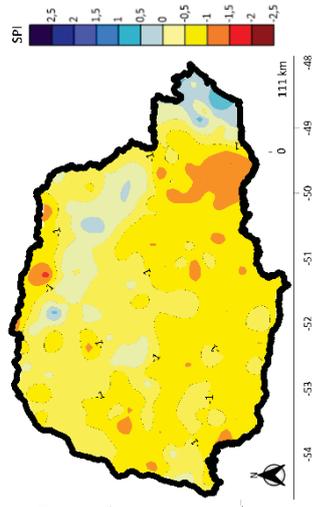
Outubro de 2021 - SPI6



Novembro de 2021 - SPI6



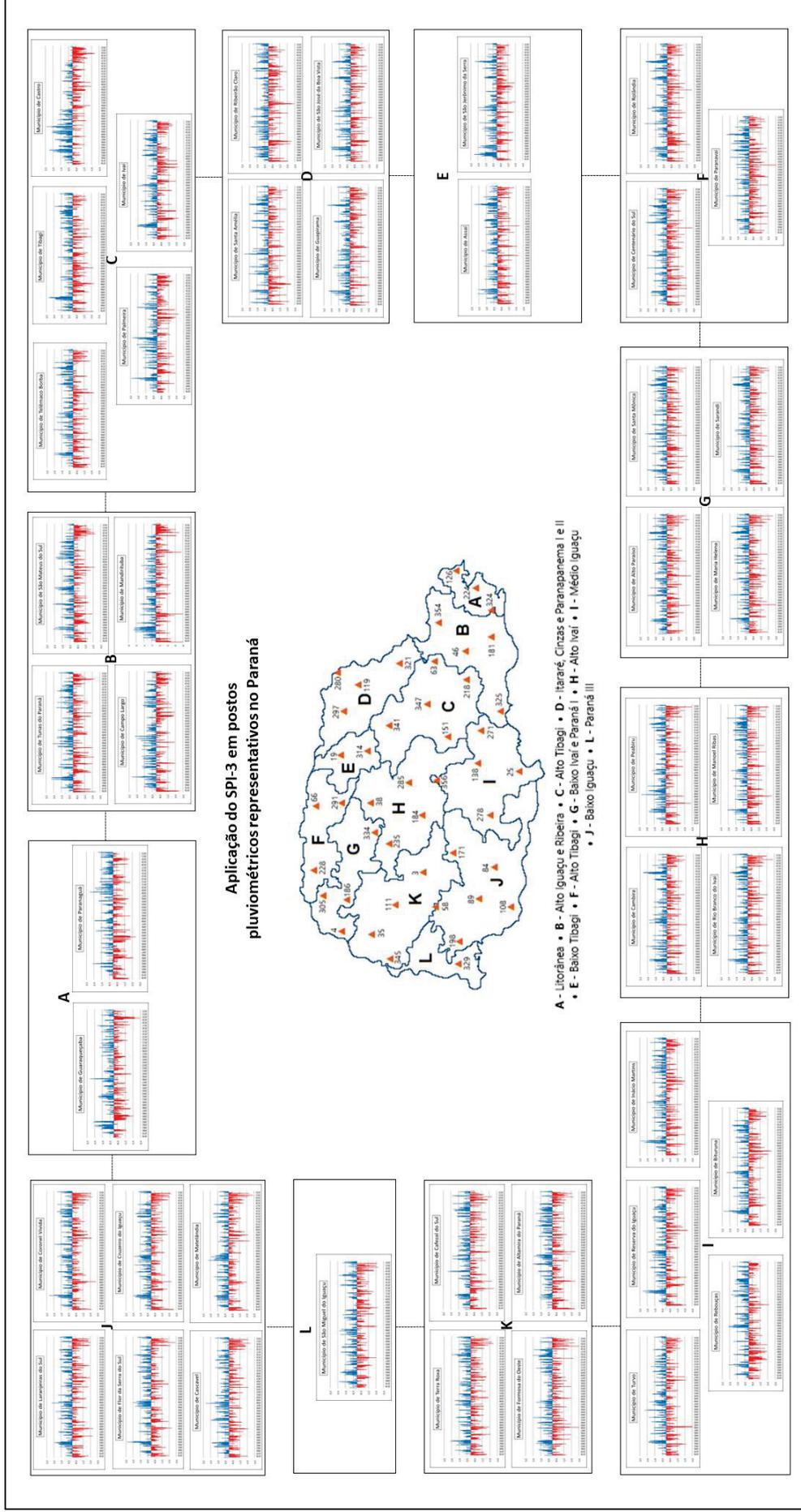
Dezembro de 2021 - SPI6

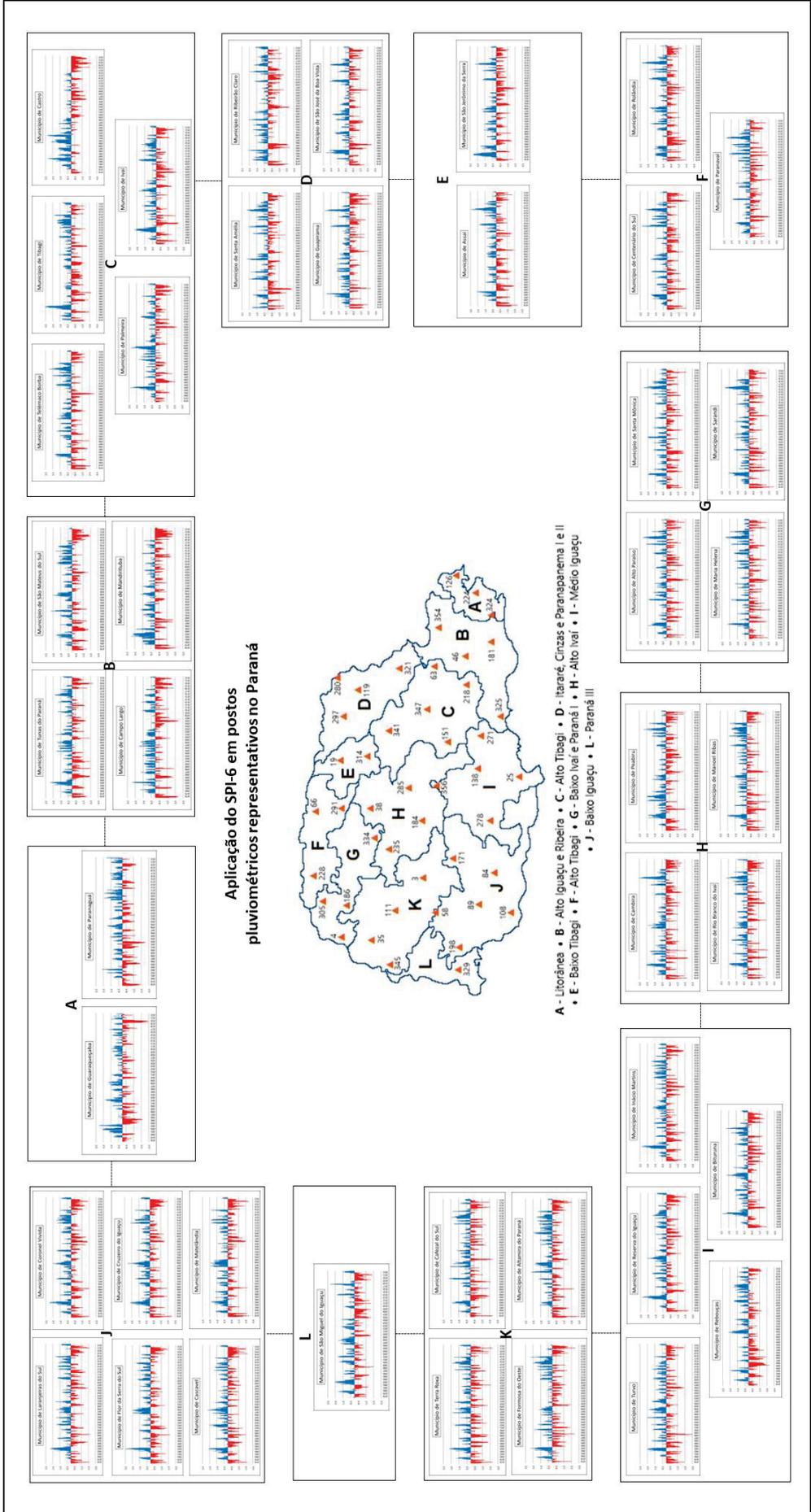


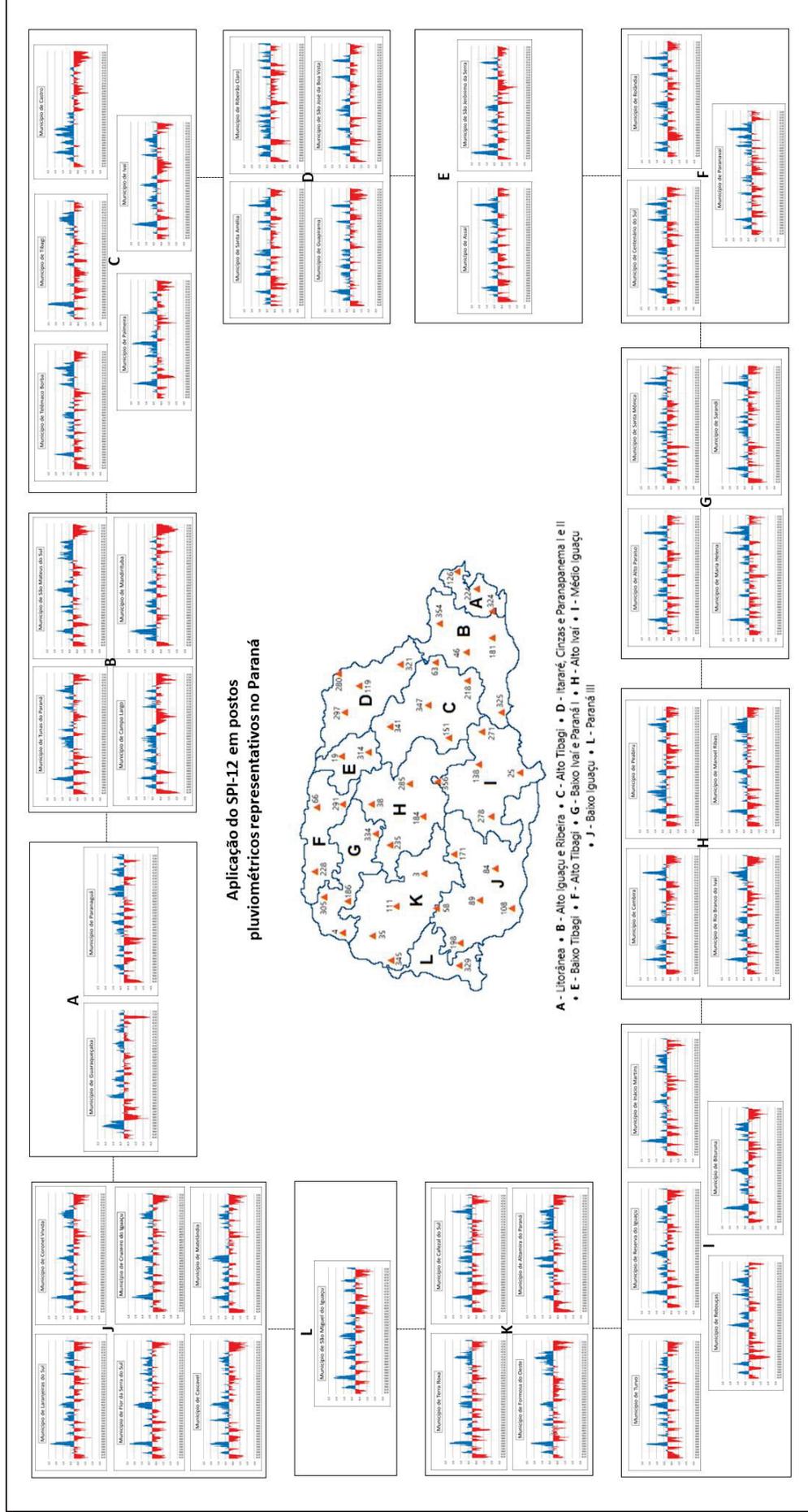
Fonte: do autor (2024).

APÊNDICE C

FIGURA 45: APLICAÇÃO DO SPI-3, 6 E 12, RESPECTIVAMENTE, EM POSTOS PLUVIOMÉTRICOS REPRESENTATIVOS NO PARANÁ





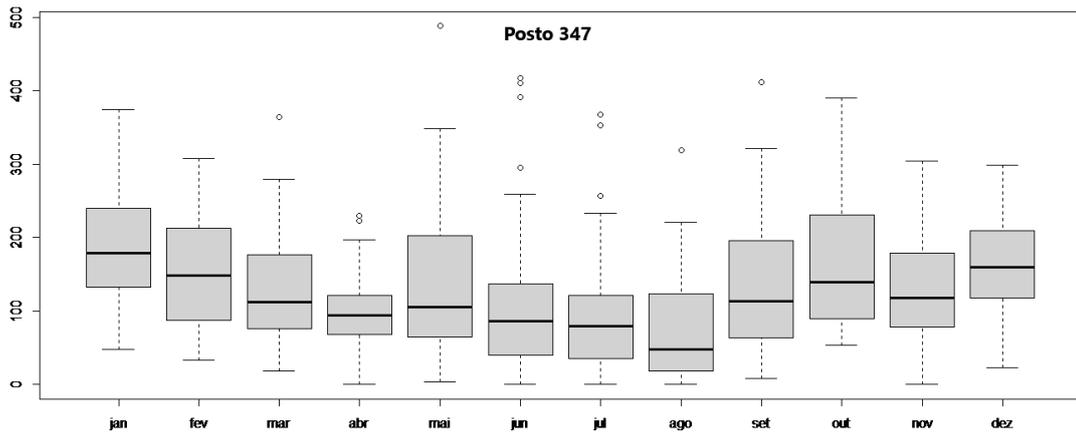
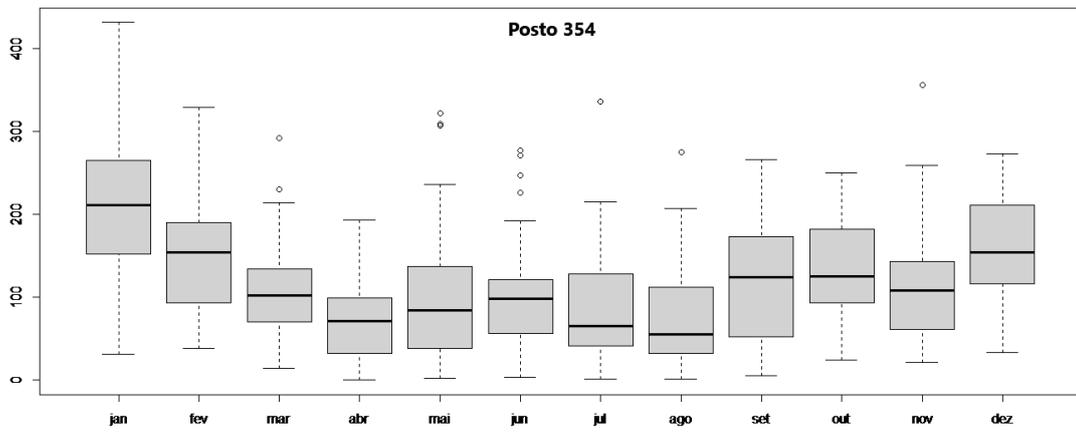
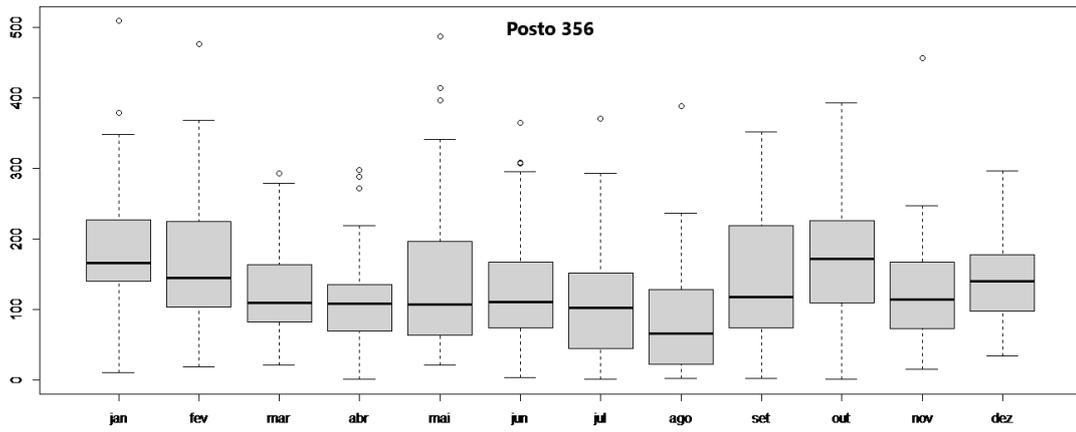


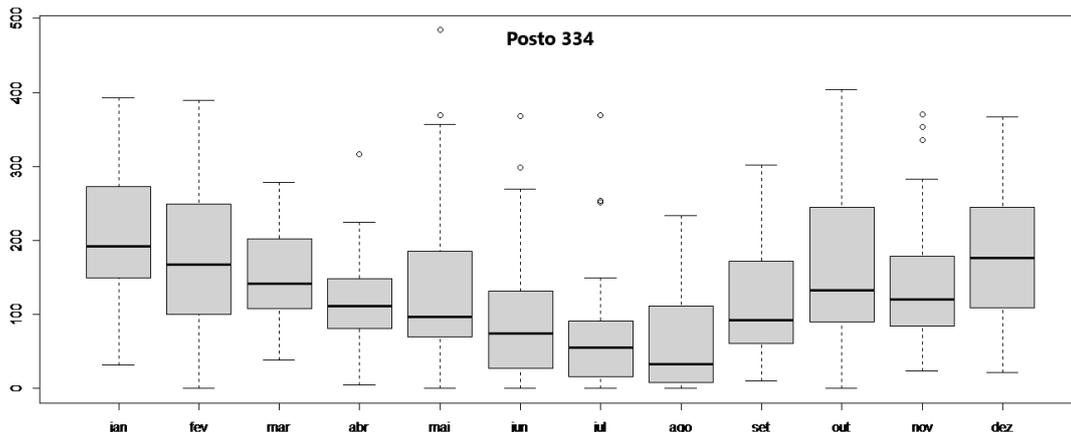
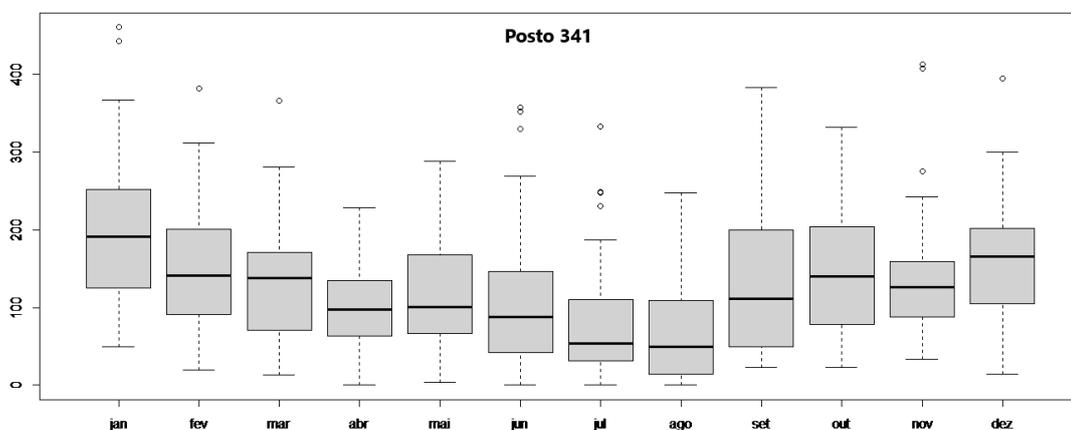
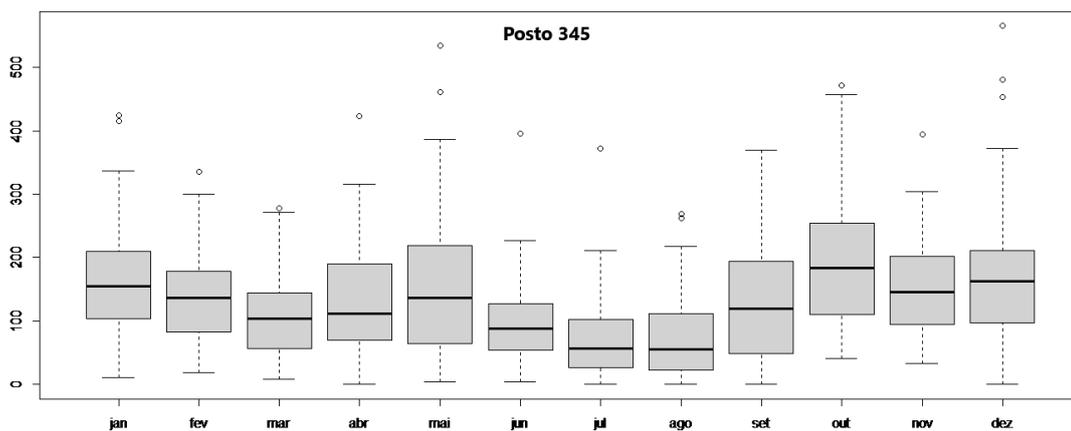
Fonte: do autor (2024).

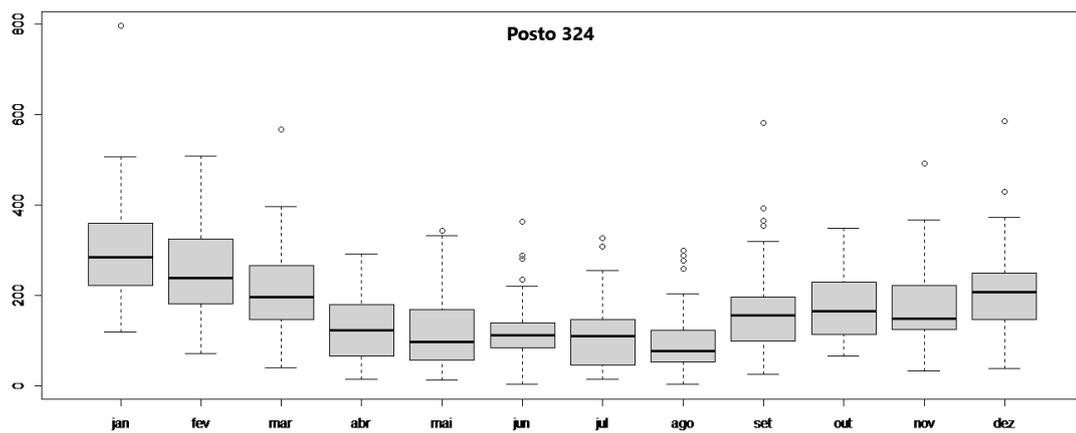
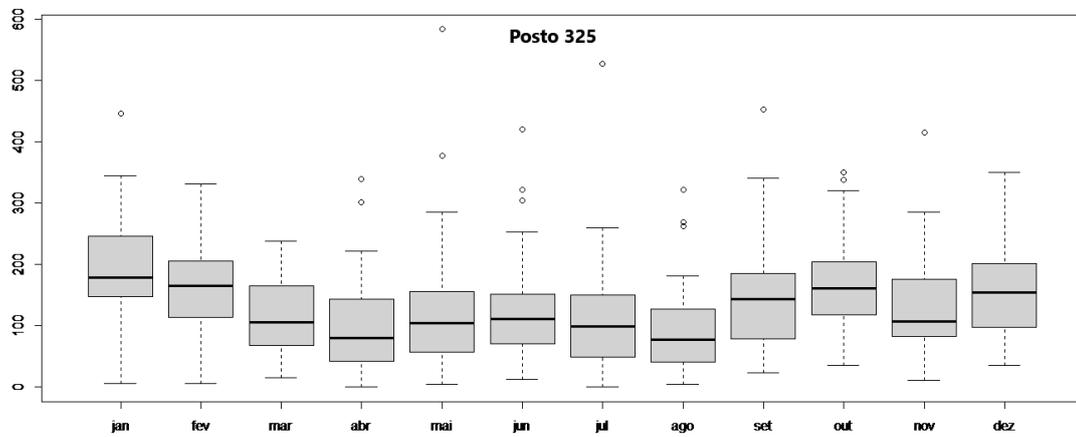
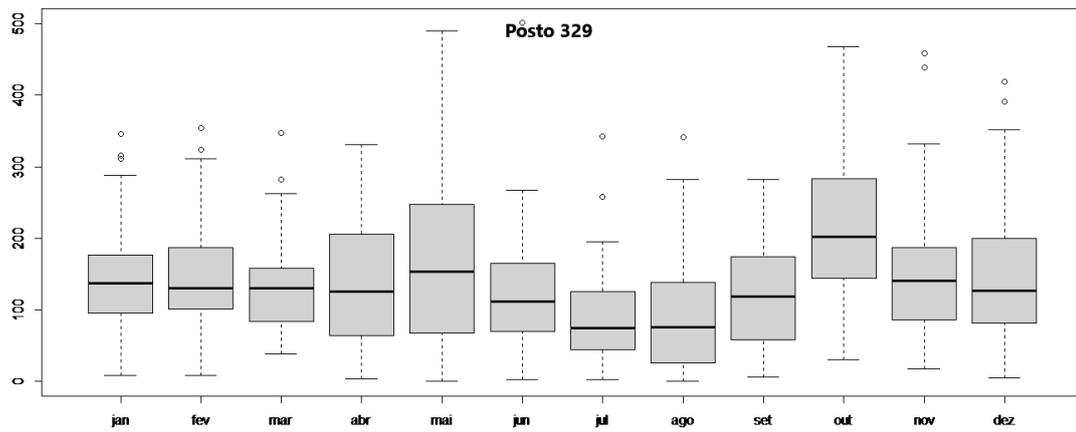
APÊNDICE D

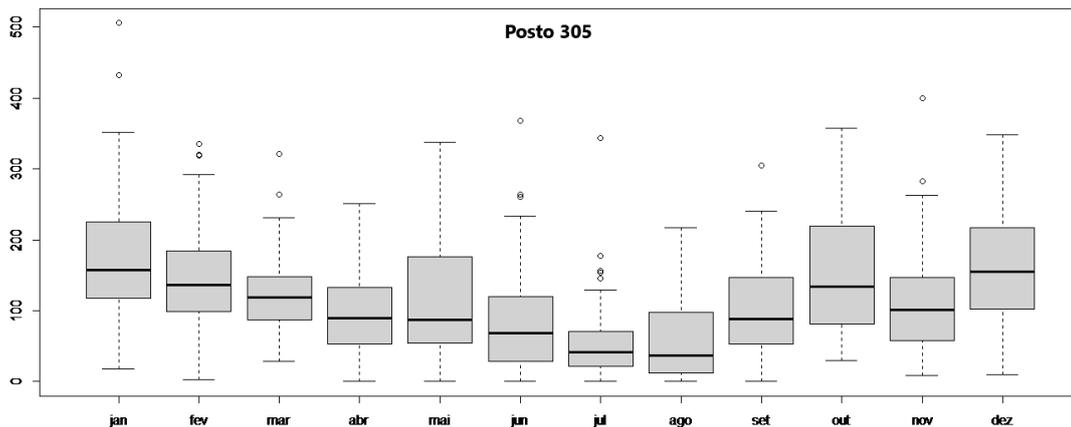
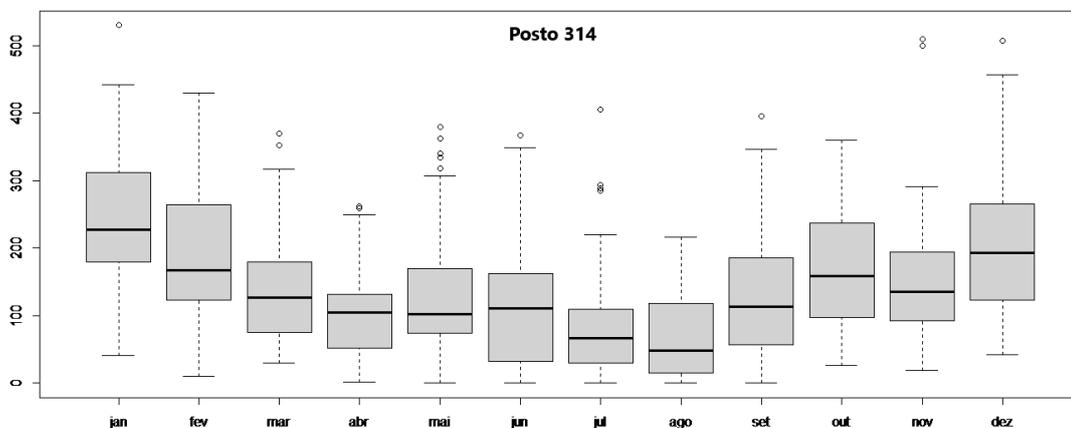
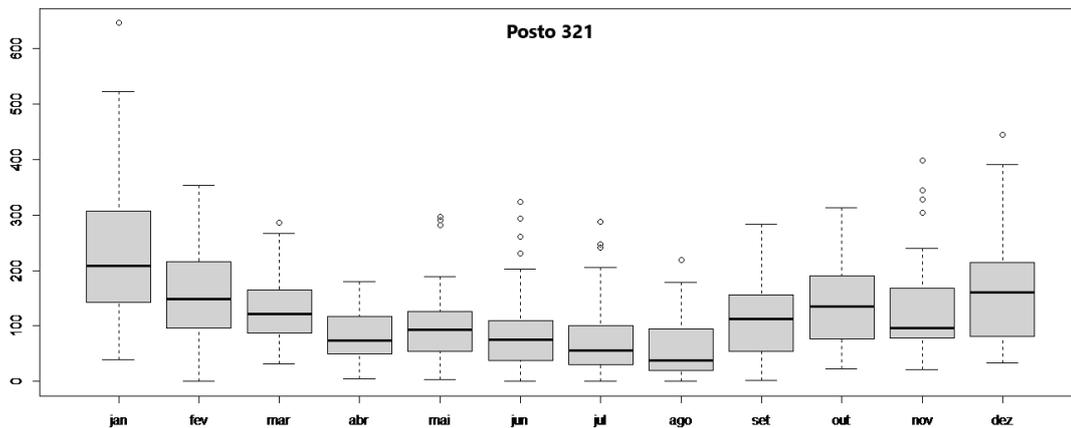
FIGURA 46: GRÁFICOS BOXPLOT DOS 46 POSTOS REPRESENTATIVOS

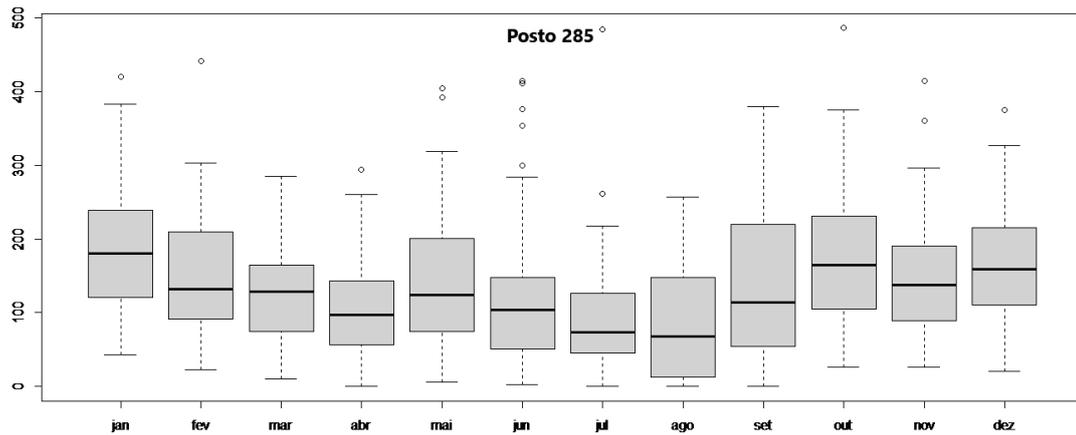
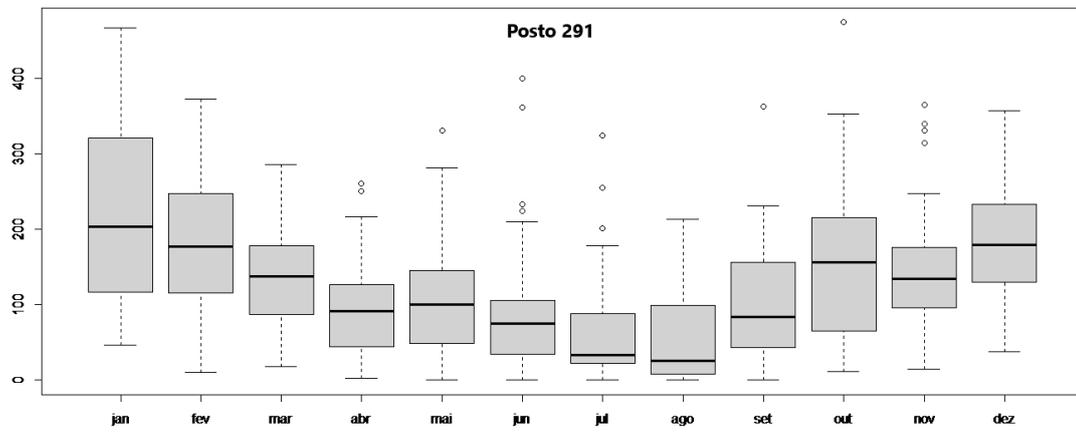
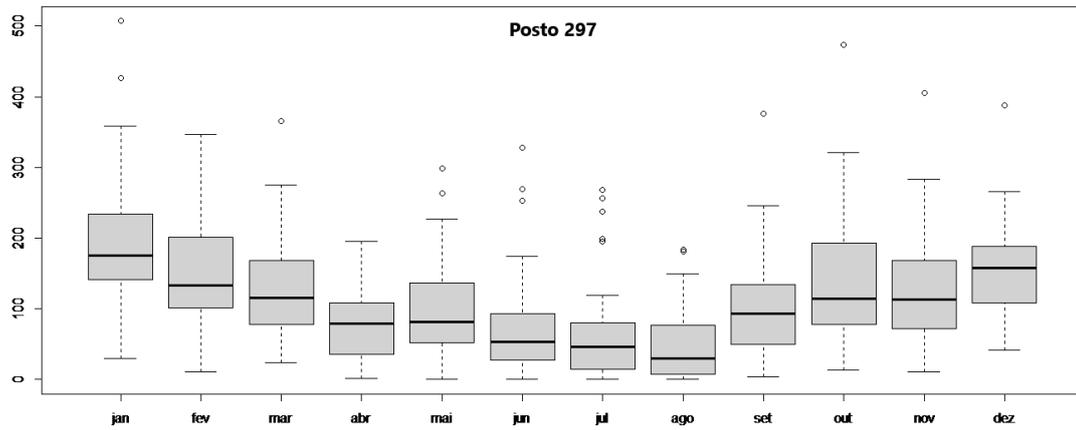
Número	Município	Nome	Órgão	Longitude	Latitude	Altitude (m)
3	Altamira do Paraná	BALSA DO CANTU	ANA	-52,70	-24,75	360
4	Alto Paraíso	MARCO PRETO	IAT	-53,73	-23,48	365
19	Assaí	CERRO LEÃO	IAT	-50,92	-23,39	533
25	Bituruna	SANTO ANTONIO DO IRATIM	IAT	-51,40	-26,15	950
35	Cafezal do Sul	GUAIPORÃ	IAT	-53,59	-23,94	384
38	Cambira	CRUZEIRO	IAT	-51,60	-23,66	601
46	Campo Largo	BATEIAS	IAT	-49,52	-25,35	890
58	Cascavel	SAO JOÃO DO OESTE	IAT	-53,24	-24,96	662
63	Castro	SOCAVÃO	IAT	-49,70	-24,77	1051
66	Centenário do Sul	CENTENÁRIO DO SUL	IAT	-51,60	-22,82	500
84	Coronel Vivida	CORONEL VIVIDA	IAT	-52,57	-25,98	700
89	Cruzeiro do Iguaçu	CRUZEIRO DO IGUAÇU - I	IAT	-53,12	-25,58	389
108	Flor da Serra do Sul	RIO VERDE	IAT	-53,20	-26,24	758
111	Formosa do Oeste	FORMOSA DO OESTE	IAT	-53,32	-24,28	370
119	Guapirama	GUAPIRAMA	IAT	-50,03	-23,52	600
126	Guaraqueçaba	GUARAQUEÇABA (COSTÃO)	IAT	-48,30	-25,27	10
138	Inácio Martins	CAMPINA BONITA	IAT	-51,25	-25,57	1108
151	Ivaí	SALTINHO	IAT	-50,89	-24,96	743
171	Laranjeiras do Sul	(CAMPO VERDE) FAXINAL DOS	IAT	-52,43	-25,22	785
181	Mandirituba	MANDIRITUBA	IAT	-49,32	-25,78	920
184	Manoel Ribas	MANOEL RIBAS	ANA	-51,67	-24,50	972
186	Maria Helena	MARIA HELENA	IAT	-53,20	-23,61	372
198	Matelândia	FLORIANO	IAT	-53,87	-25,31	458
218	Palmeira	USINA MANOEL RIBAS	IAT	-50,00	-25,32	870
224	Paranaguá	COLONIA SANTA CRUZ	IAT	-48,62	-25,60	32
228	Paranavaí	FAZENDA AURORA	IAT	-52,52	-22,82	367
235	Peabiru	SILVIOLANDIA	IAT	-52,24	-23,99	425
271	Rebouças	REBOUÇAS	IAT	-50,69	-25,63	918
278	Reserva do Iguaçu	RESERVA DO IGUAÇU	IAT	-52,02	-25,80	1000
280	Ribeirão Claro	RIBEIRÃO CLARO	IAT	-49,75	-23,20	782
285	Rio Branco do Ivaí	RIO BRANCO DO IVAÍ	IAT	-51,31	-24,32	675
291	Rolândia	SÃO MARTINHO	IAT	-51,45	-23,20	653
297	Santa Amélia	SANTA AMELIA	IAT	-50,43	-23,27	471
305	Santa Mônica	APARECIDA DO IVAI	IAT	-53,07	-23,18	300
314	São Jerônimo da Serra	TERRA NOVA	IAT	-50,81	-23,78	989
321	São José da Boa Vista	BARRA MANSA	IAT	-49,65	-24,07	850
324	São José dos Pinhais	ILHADO RIO CLARO	IAT	-48,92	-25,81	237
325	São Mateus do Sul	SÃO MATEUS DO SUL	COPEL	-50,39	-25,88	760
329	São Miguel do Iguaçu	SÃO MIGUEL DO IGUAÇU	IAT	-54,24	-25,35	287
334	Sarandi	VALE AZUL	IAT	-51,91	-23,48	504
341	Telêmaco Borba	USINA MAUA	KLABIN	-50,70	-24,05	550
345	Terra Roxa	TERRA ROXA DO OESTE	IAT	-54,10	-24,17	378
347	Tibagi	FAZENDA SÃO CARLOS (SABÃO)	IAT	-50,30	-24,68	1200
354	Tunas do Paraná	TUNAS	IAT	-49,08	-24,97	880
356	Turvo	TURVO	IAT	-51,54	-25,04	1146

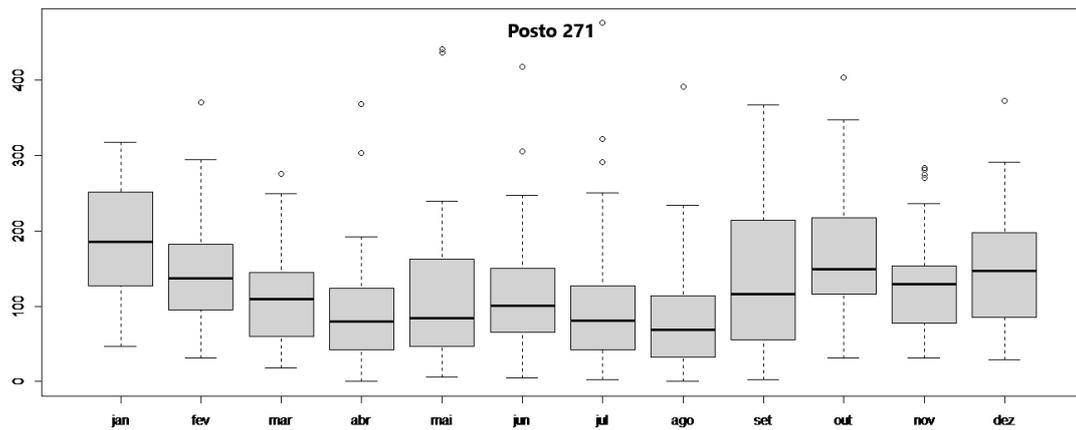
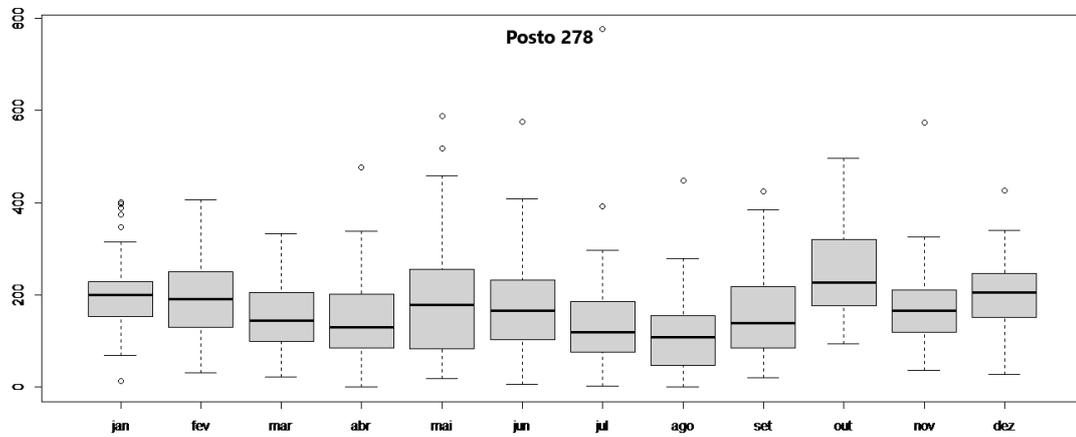
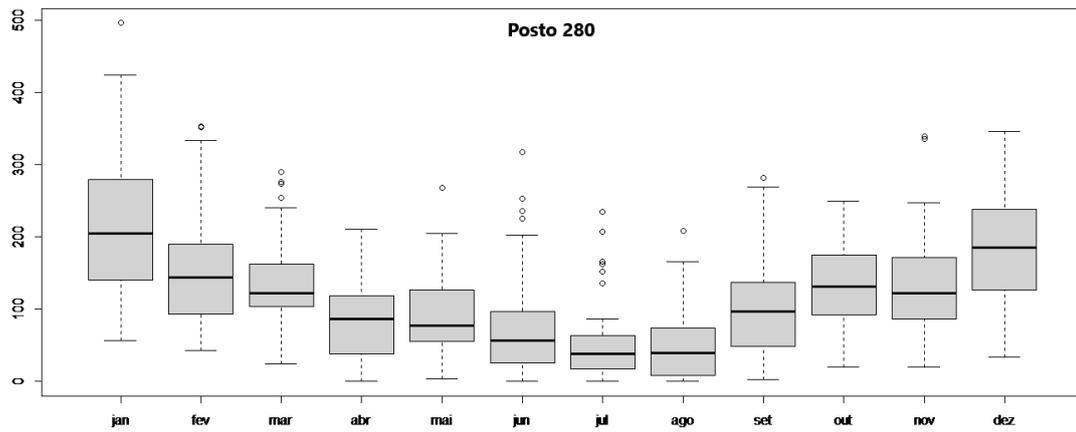


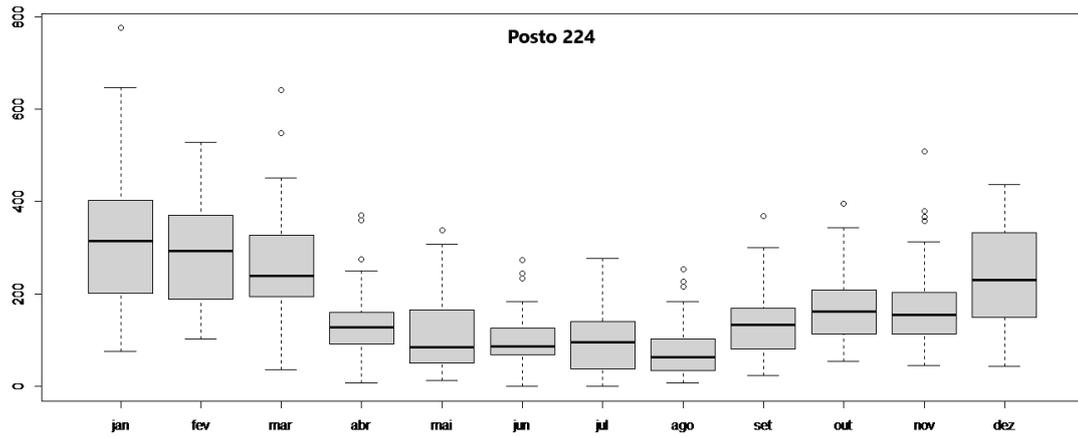
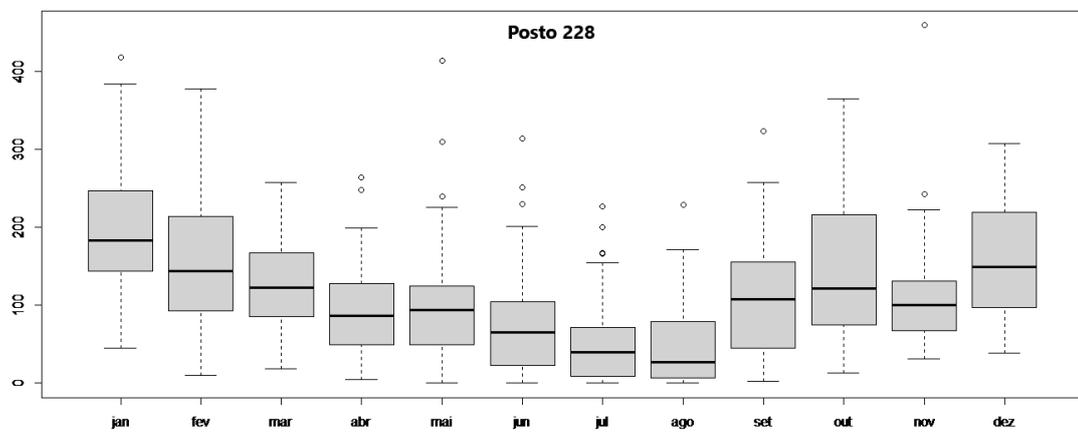
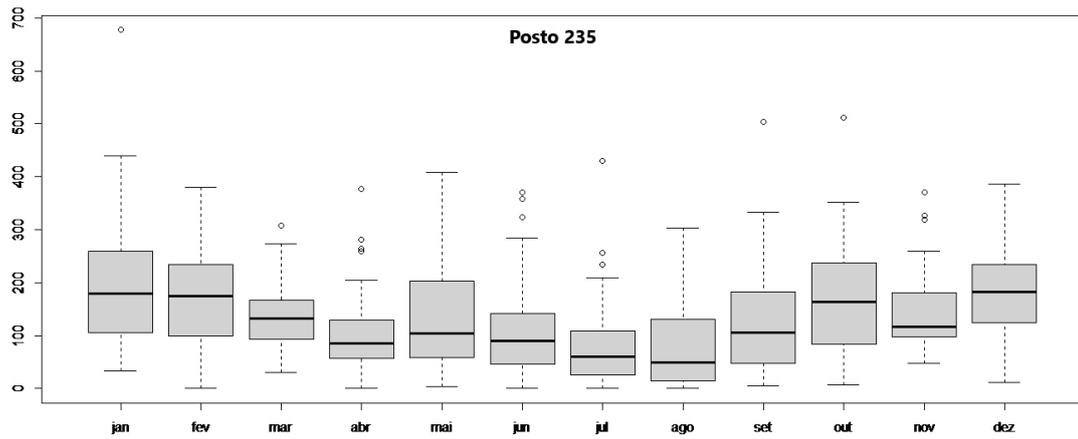


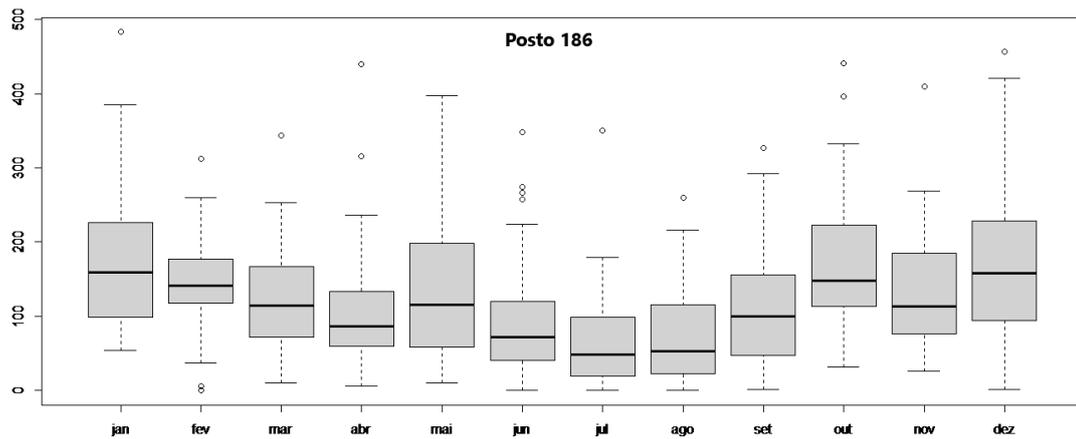
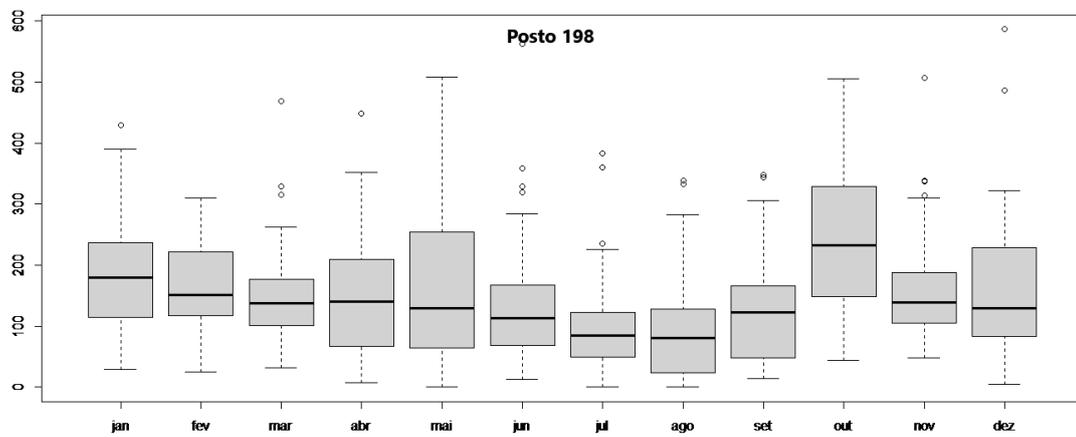
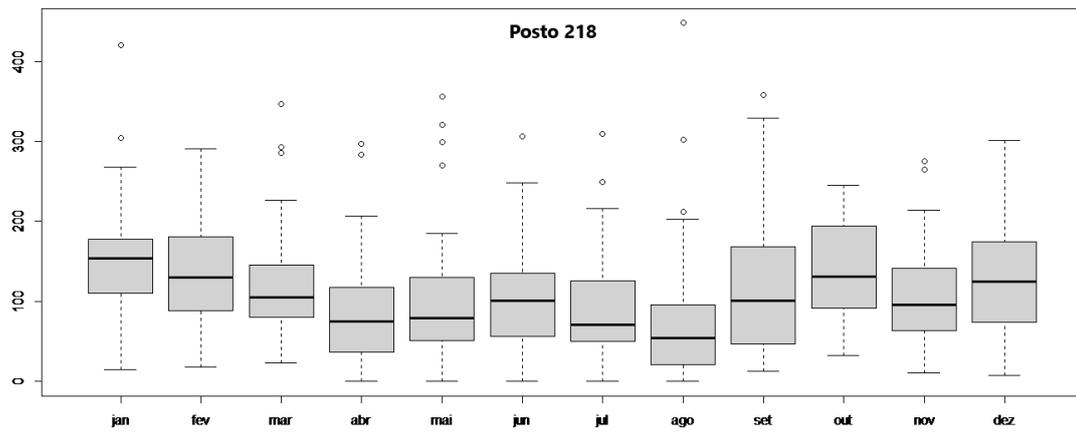


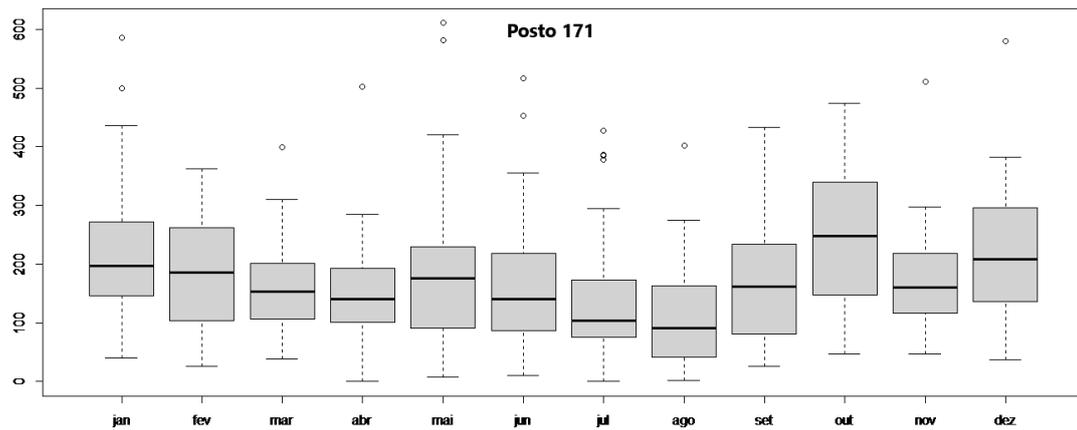
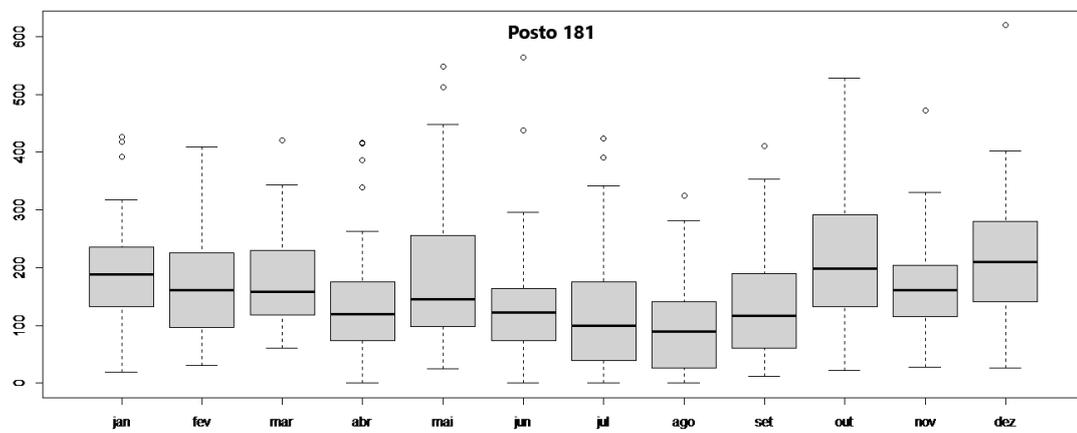
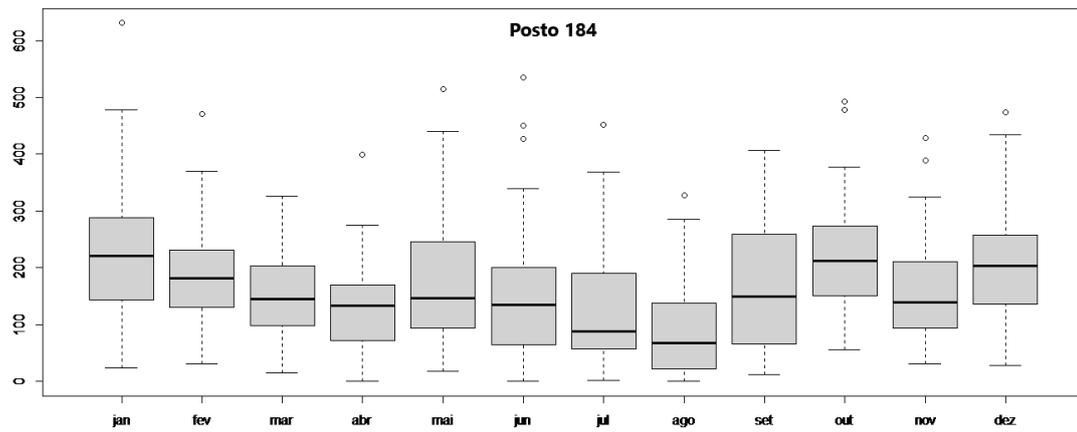


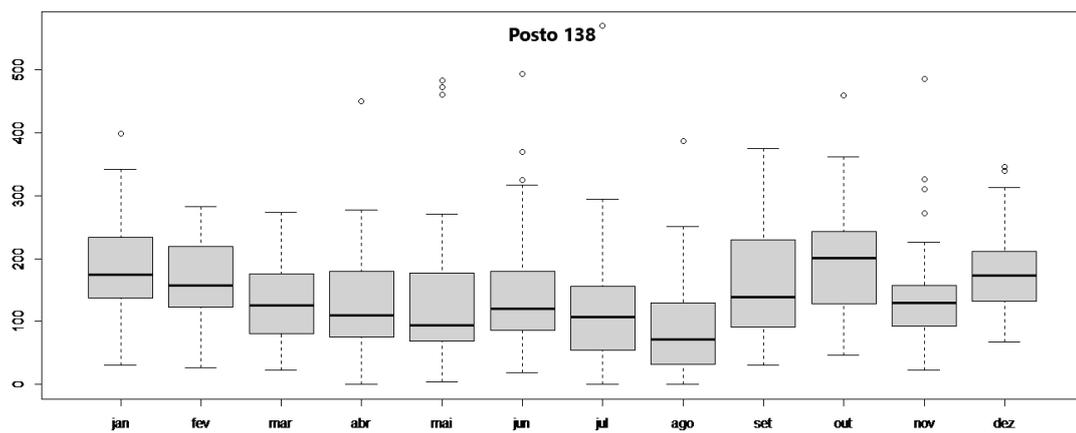
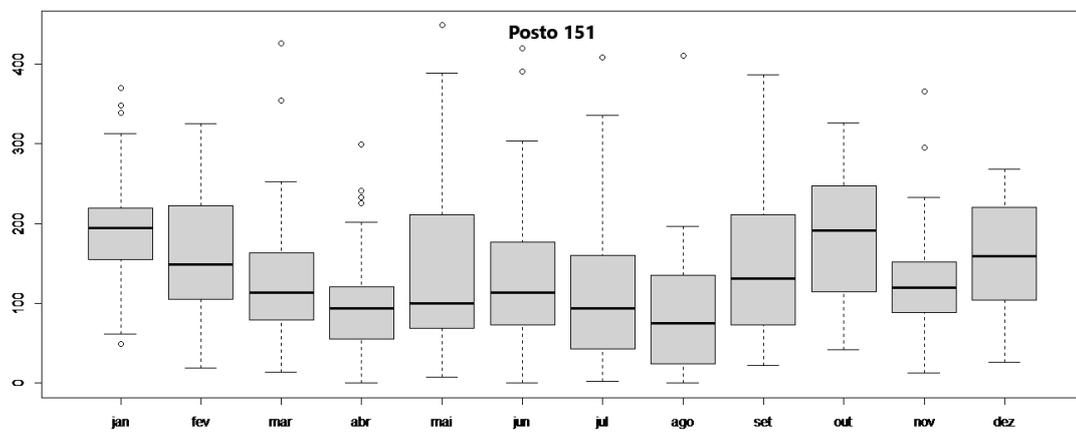
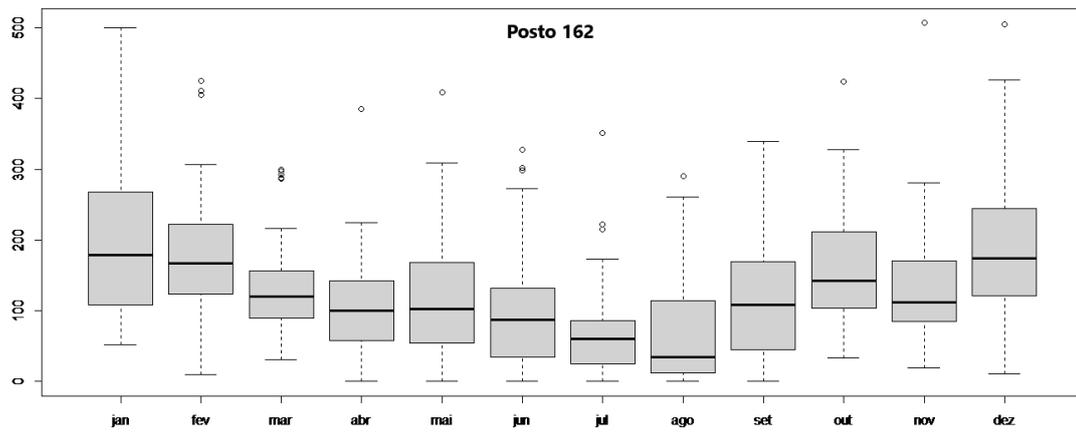


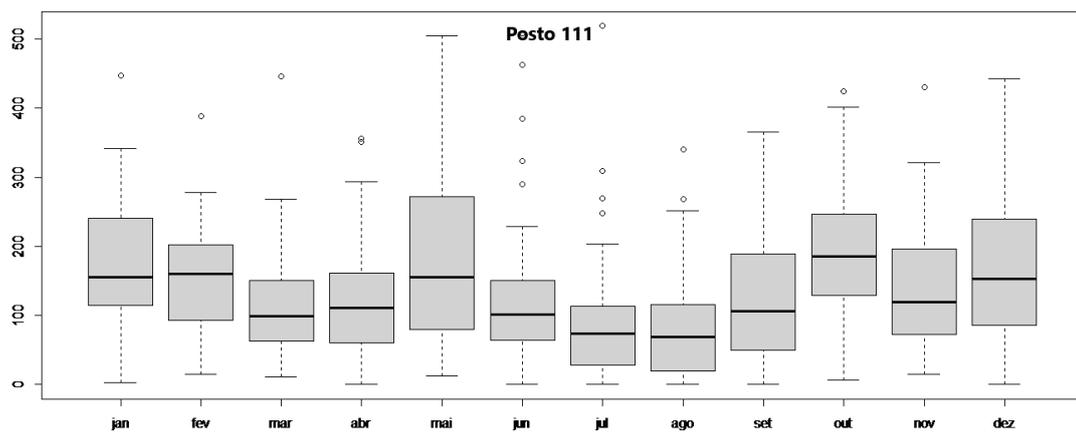
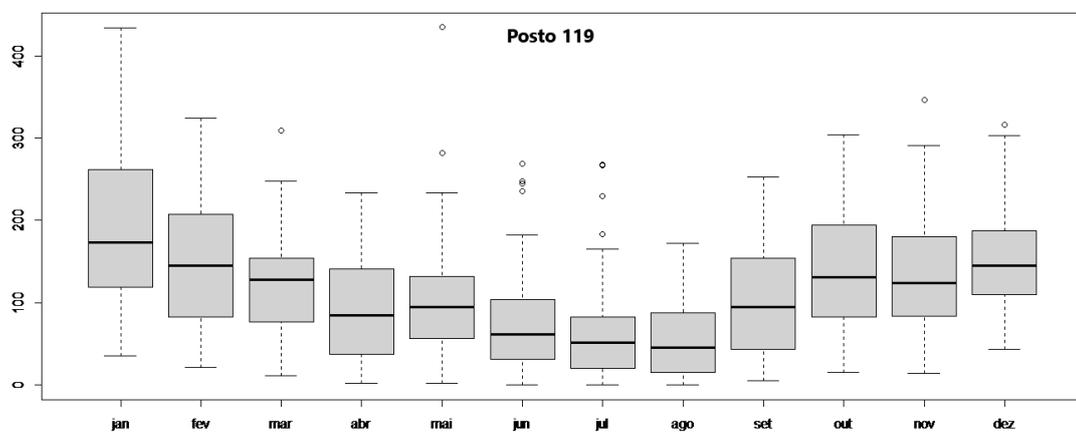
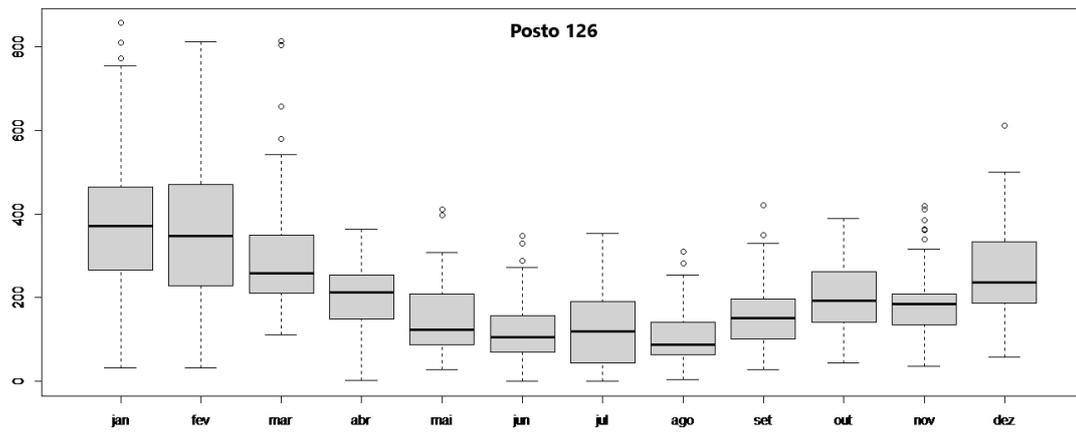


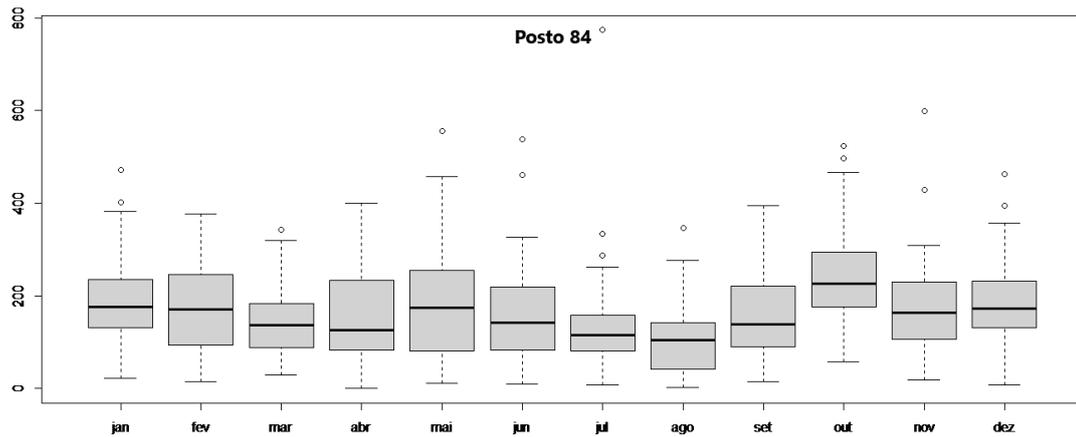
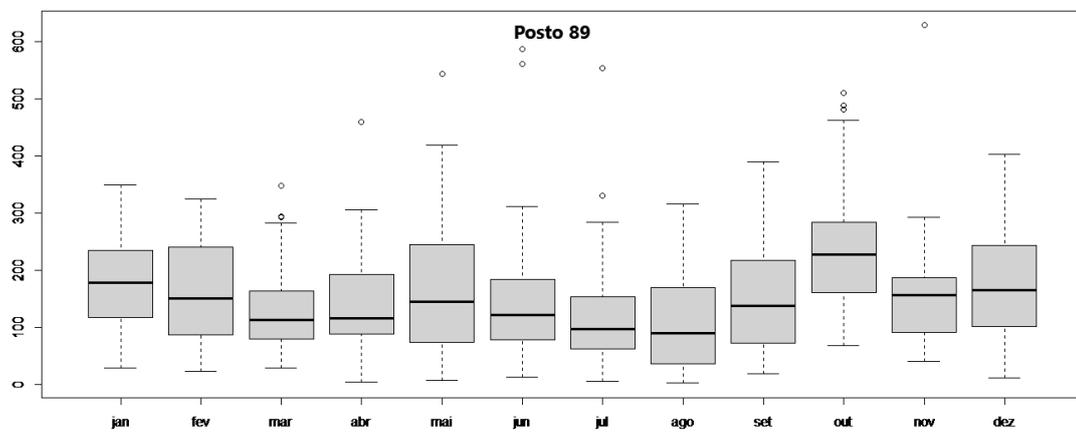
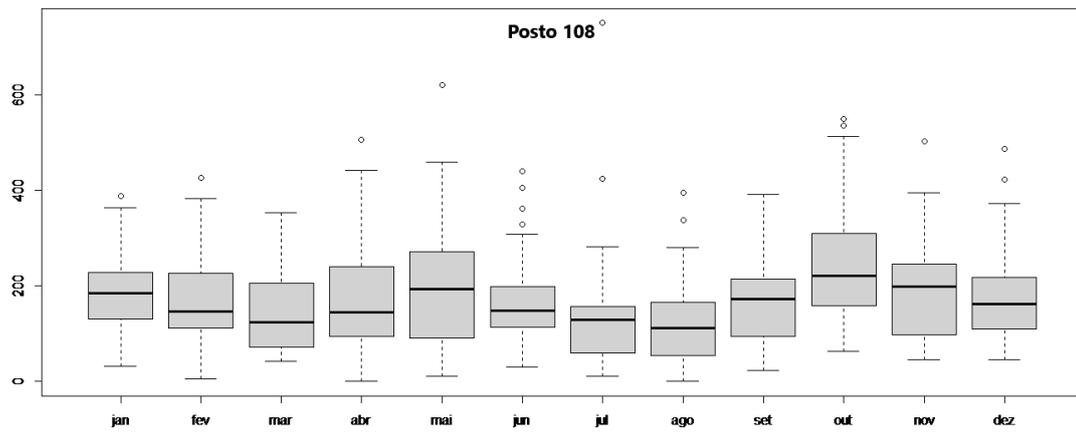


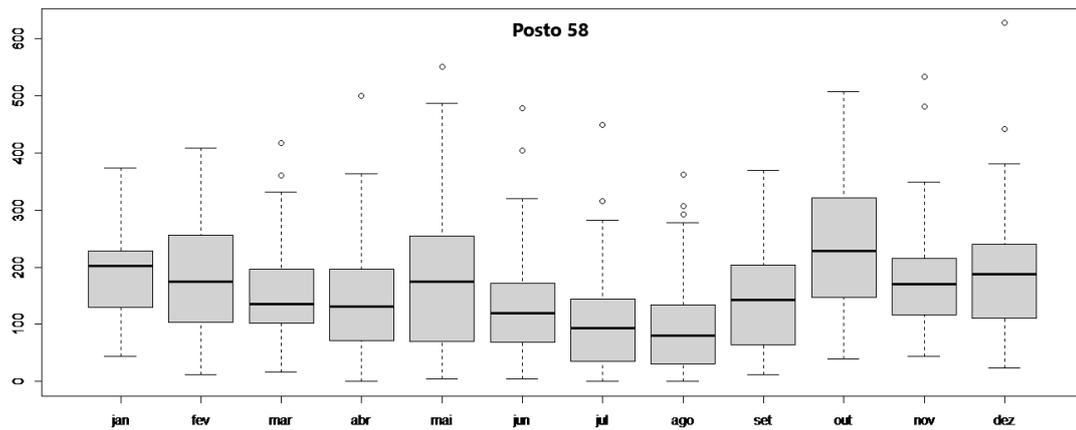
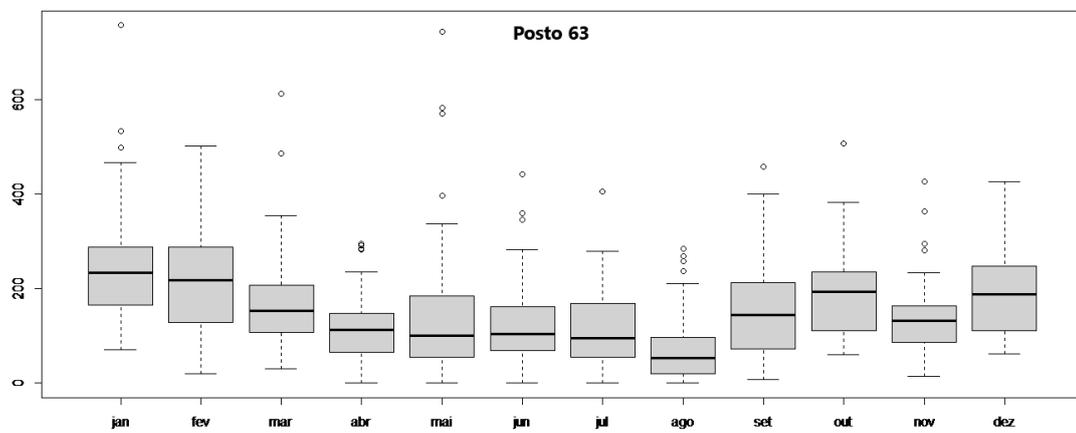
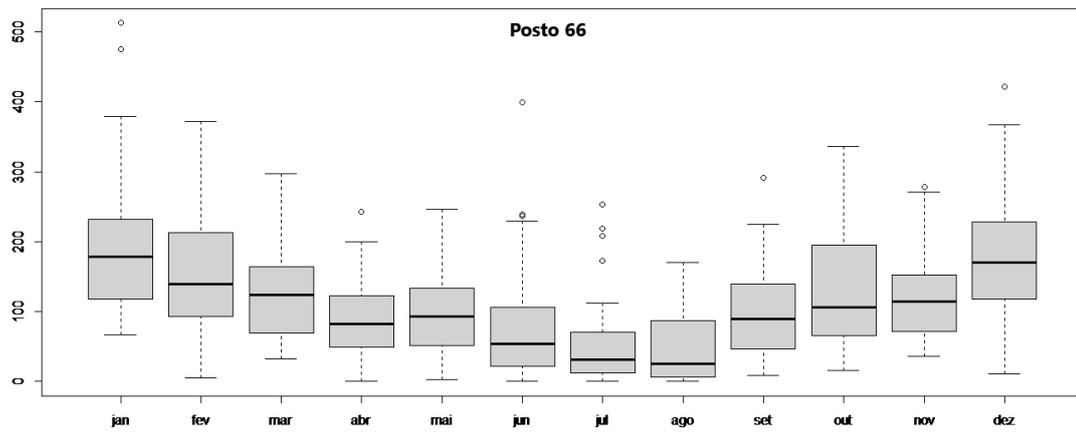


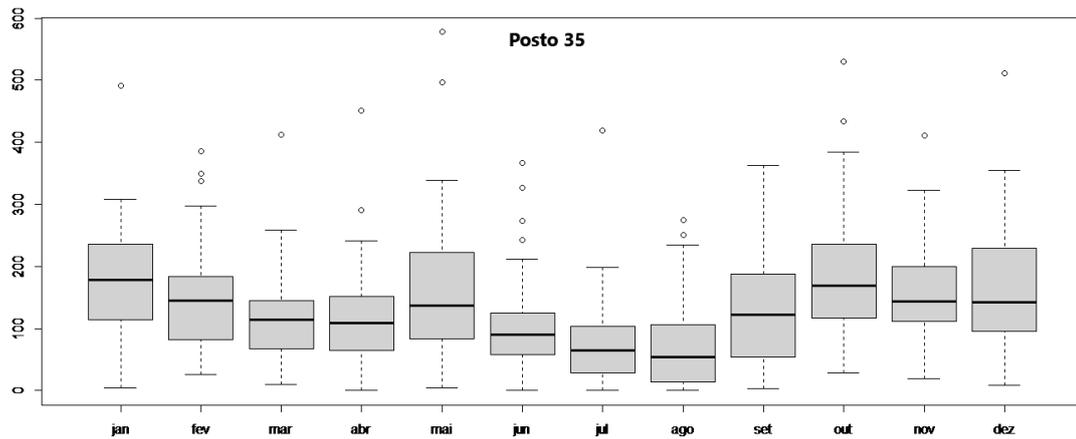
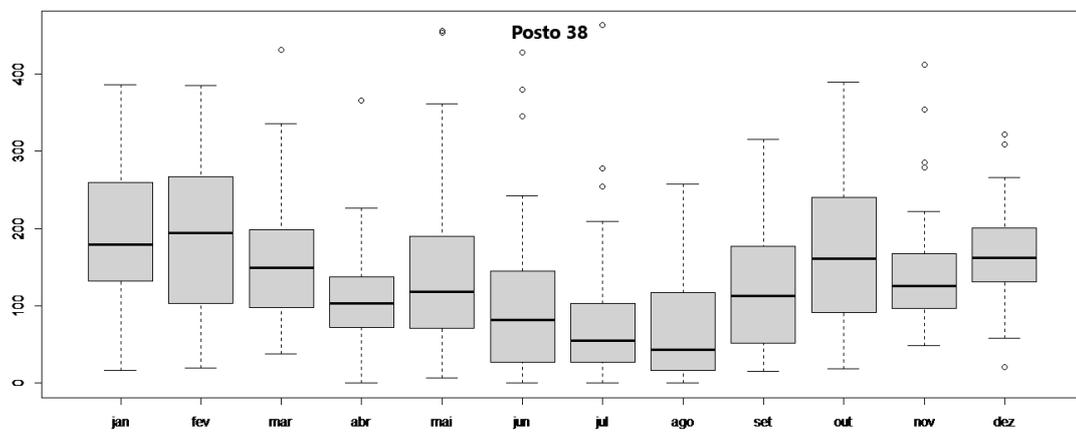
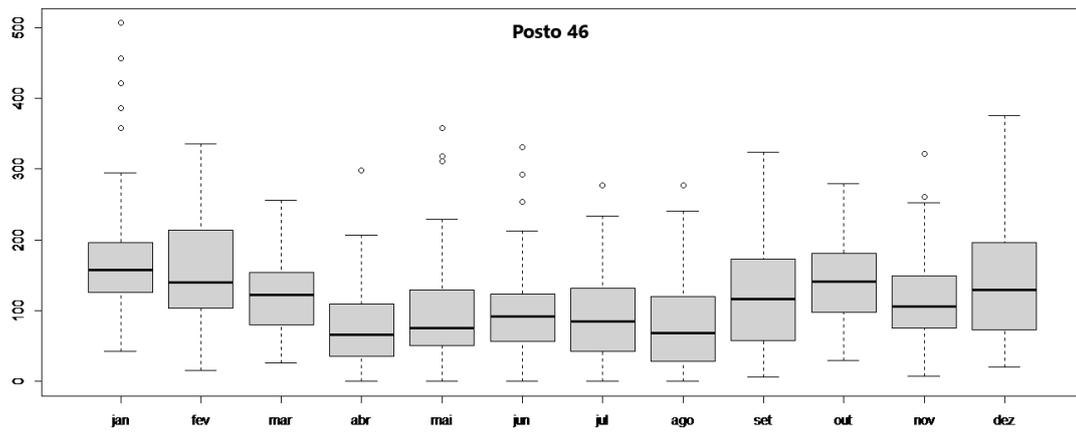


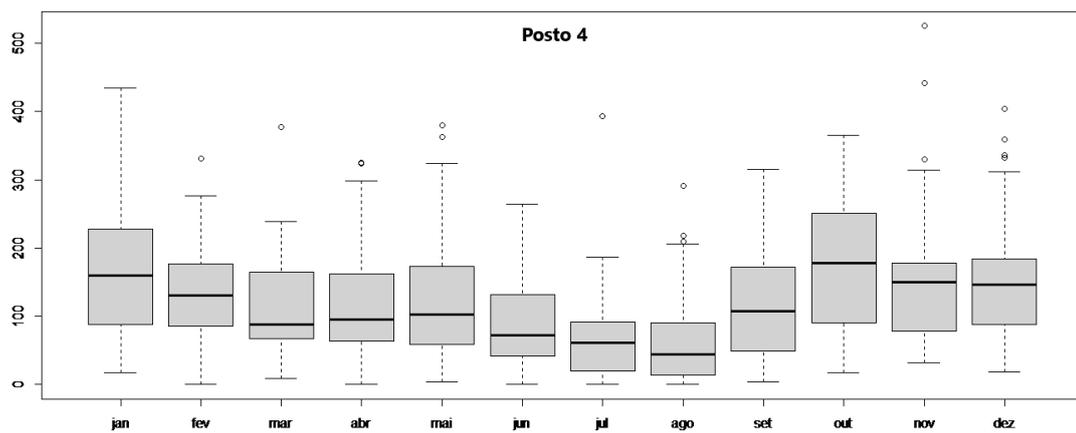
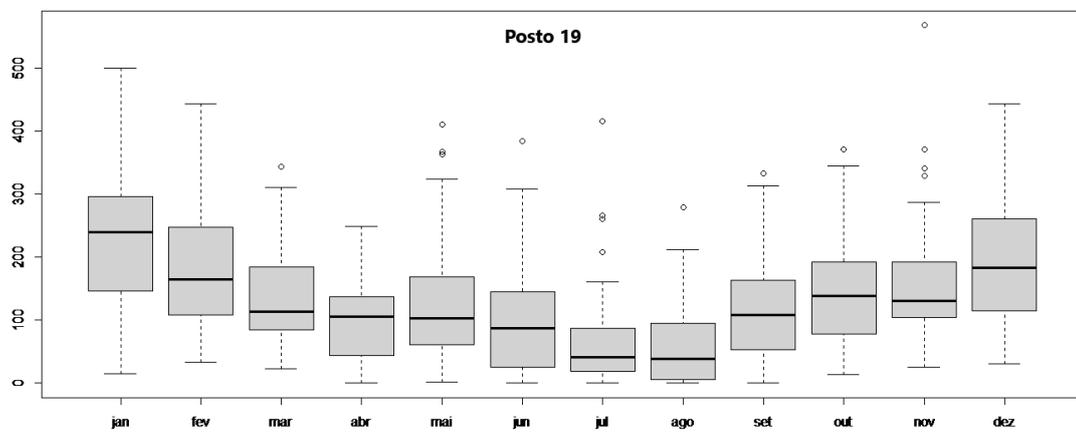
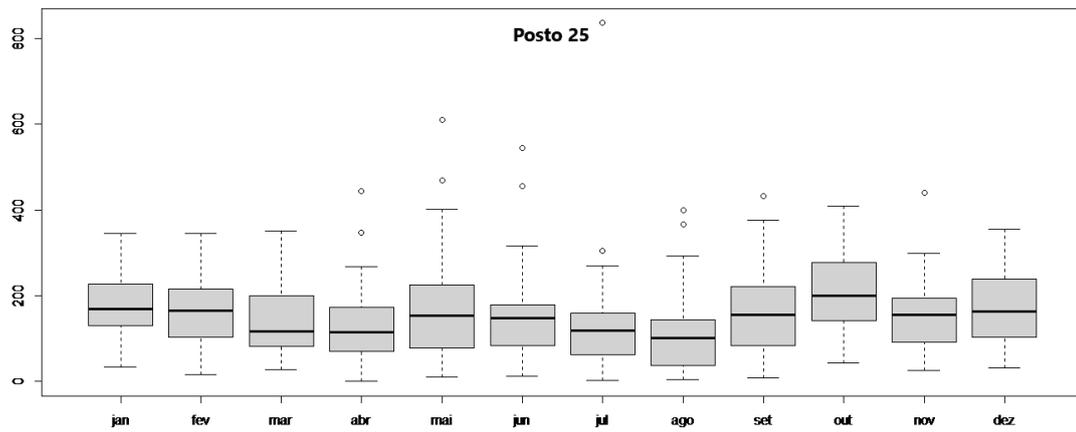


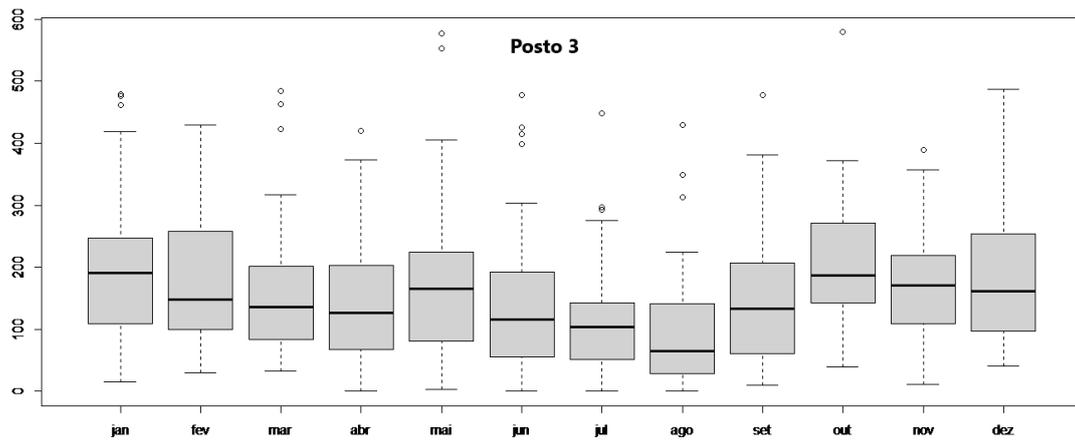












Fonte: do autor (2024).

APÊNDICE E

TABELA 4: VALORES DO Z-VALUE PARA ANÁLISE DE TENDÊNCIAS DE CHUVA NO PARANÁ

Postos	Z-Value		Postos	Z-Value
3	1,164		198	-0,570
4	-0,558		218	0,150
19	0,851		224	0,576
25	-0,440		228	-0,122
35	0,010		235	-0,193
38	-1,438		271	0,543
46	-2,201		278	-0,293
58	-1,027		280	-0,692
63	-1,566		285	-0,120
66	0,127		291	-0,386
84	-0,460		297	-0,286
89	-0,479		305	0,136
108	0,831		314	-1,195
111	0,831		321	-0,952
119	-2,221		324	-0,538
126	-0,225		325	-0,993
138	0,147		329	0,031
151	-0,088		334	0,463
162	-0,127		341	0,246
171	0,173		345	0,747
181	-0,940		347	-0,441
184	-0,232		354	0,580
186	0,601		356	0,998

Fonte: do autor (2024).