

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
CURSO DE DOUTORADO

SILVIA MIOTO

**ANÁLISE DA PLUVIOSIDADE DIÁRIA NA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO PIRAPÓ-PR**

MARINGÁ

2021

SILVIA MIOTO

ANÁLISE DA PLUVIOSIDADE DIÁRIA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
PIRAPÓ-PR

Tese de doutorado apresentada como requisito
para a obtenção do título de Doutora em Geografia
pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia,
da Universidade Estadual de Maringá.

Orientador: Prof. Dr. Hélio Silveira.

MARINGÁ

2021

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

M669a

Mioto, Sílvia

Análise da pluviosidade diária na bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR / Sílvia Mioto. --
Maringá, PR, 2021.

161 f.: il. color., tabs., maps.

Orientador: Prof. Dr. Hélio Silveira.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Humanas,
Letras e Artes, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2021.

1. Bacia hidrográfica - Rio Pirapó (PR). 2. Precipitação pluviométrica. 3. Variabilidade
pluviométrica. I. Silveira, Hélio , orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de
Ciências Humanas, Letras e Artes. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDD 23.ed. 551.6477

ANÁLISE DA PLUVIOSIDADE DIÁRIA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
PIRAPÓ-PR

Tese de Doutorado apresentada a Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental, linha de pesquisa Análise Ambiental.

Aprovada em **30 de julho de 2021**.

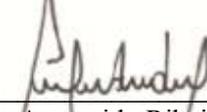
BANCA EXAMINADORA



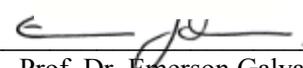
Prof. Dr. Helio Silveira
Orientador - UEM



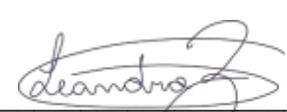
Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli
Membro convidado – UNESP



Prof. Dr. Aparecido Ribeiro de Andrade
Membro convidado – UNICENTRO



Prof. Dr. Emerson Galvani
Membro convidado – USP



Prof. Dr. Leandro Zandonadi
Membro convidado – UEM

Estevão Pastori Garbin

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser Deus.

Aos meus pais, Hélio Miotto e Jacinta Miotto, por tudo.

Ao meu esposo, Estevão Pastori Garbin, por estar ao meu lado em todos os momentos neste percurso, pelo apoio, compreensão, presença e auxílio.

Ao meu orientador, Hélio Silveira, por me acolher como orientanda, pela competência, confiança e exemplo de humildade e perseverança.

À Maria Cleide Baldo, pela imensa ajuda desde o início de minha pesquisa, pelas valiosas contribuições e generosidade.

À banca de defesa dessa tese, constituídas pelos professores Dr. Leandro Zandonadi, Dr. Emerson Galvani, Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli e Dr. Aparecido Ribeiro de Andrade, pelos apontamentos e correções.

À Larissa B. Fernandes, pelo auxílio com os testes estatísticos dessa pesquisa.

Aos professores da Pós-Graduação em Geografia (PGE) da Universidade Estadual de Maringá, e de forma especial à secretária Míriam.

Aos meus colegas de trabalho, que conviveram de maneira muito próxima durante estes anos, me motivando e apoiando nos momentos difíceis, especialmente a Cláudia e Bete Iwatta.

RESUMO

Diversos estudos discorrem sobre como as mudanças climáticas globais podem modificar a frequência e distribuição da pluviosidade, bem como desencadear a formação de eventos pluviométricos extremos, impactando a disponibilidade hídrica e na vida da população de uma região. A análise da variabilidade e tendência das séries pluviométricas são uma maneira de inferir possíveis mudanças no clima local e regional. Nesse contexto, a presente pesquisa objetiva caracterizar o padrão de distribuição espaço-temporal e a frequência da pluviosidade diária e verificar a existência de tendências significativas na bacia do rio Pirapó-PR. Para isto, foram utilizados dados pluviométricos diários de precipitação de 10 postos pluviométricos do Instituto das Águas do Paraná - Sistema de Informações Hidrológicas – SIH no período de 1980 a 2017. Foram aplicadas algumas técnicas da estatística descritiva aos dados de pluviosidade dos 10 postos pluviométricos, expressas pelos respectivos parâmetros: média, desvio padrão, coeficiente de variação, valores máximos e mínimos. Utilizou-se o teste não paramétrico de Mann (1945) e Kendall (1975), para verificação de possíveis tendências nas séries anuais e mensais do total pluviométrico, número de dias com chuva e da precipitação máxima em 24 horas, além da aplicação do teste de Mann-Kendall Sazonal para a escala mensal. Verificou-se que o padrão de distribuição anual da precipitação total e do número de dias com chuva ocorre do baixo para o alto curso da bacia, com maiores concentrações nas estações da primavera e verão. Os meses de setembro a março, maio e junho demonstraram os valores elevados de pluviosidade total e número de dias com chuvas. A pluviosidade máxima em 24 horas destacou-se com maiores valores médios nas estações do verão e outono, sendo julho e agosto os meses menos significativos nos postos pluviométricos analisados. O teste de Mann-Kendall não demonstrou tendências positivas significativas nos totais anuais de precipitação e pluviosidade máxima em 24 horas, porém foram observadas tendências negativas significativas no número de dias com chuva na escala anual e mensal. Desta forma, conclui-se que não há uma mudança no padrão de distribuição e frequência da pluviosidade, mas oscilações relacionadas com a dinâmica climática regional e local na bacia do rio Pirapó-PR.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica. Precipitação diária. Teste de tendência. Máximos diários.

ABSTRACT

Several studies discuss how global climate change can modify the frequency and distribution of rainfall, as well as triggers the formation of extreme rainfall events, impacting water availability and the life of the population in a region. The analysis of the variability and trend of rainfall series is a way to infer possible changes in local and regional climate. In this context, this research aims to characterize the pattern of spatiotemporal distribution and the frequency of daily rainfall and verify the existence of significant trends in the Pirapó river basin-PR. For this, daily rainfall data from 10 rainfall stations of the Paraná Water Institute - Hydrological Information System - SIH were used in the period 1980 to 2017. Some descriptive statistics techniques were applied to the rainfall data of the 10 rainfall stations, expressed by the respective parameters: mean, standard deviation, coefficient of variation, maximum and minimum values. The non-parametric test of Mann (1945) and Kendall (1975) was used to verify possible trends in the annual and monthly series of total rainfall, number of days with rain and maximum rainfall in 24 hours, in addition to applying the test Mann-Kendall Seasonal for Monthly Scale. It was found that the annual distribution pattern of total precipitation and the number of days with rain occurs from the low to the high course of the basin, with higher concentrations in the spring and summer seasons. The months of September to March, May and June showed the high values of total rainfall and number of rainy days. The maximum rainfall in 24 hours stood out with higher average values in the summer and autumn seasons, with July and August being the least significant months in the analyzed rainfall stations. The Mann-Kendall test did not show significant positive trends in the total annual precipitation and maximum rainfall in 24 hours, but significant negative trends were observed in the number of rainy days in the annual and monthly scale. Thus, it is concluded that there is no change in the pattern of rainfall distribution and frequency, but fluctuations related to regional and local climate dynamics in the Pirapó-PR river basin.

Keywords: Hydrographic basin. Daily precipitation. Trend Test. Daily highs.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Localização geográfica da bacia do rio Pirapó-PR.....	35
Figura 2 – Hipsometria da bacia do rio Pirapó-PR.....	37
Figura 3 - Fluxograma teórico-metodológico de apresentação da pesquisa.....	41
Figura 4 - Localização dos postos pluviométricos inseridos na bacia do rio Pirapó-PR e no seu entorno.....	43
Figura 5 - Precipitação média anual da bacia do rio Pirapó-PR.....	52
Figura 6 – Localização dos postos pluviométricos na bacia do rio Pirapó-PR	54
Figura 7 - Precipitação total anual na série histórica de 1980 a 2017 da bacia do rio Pirapó-PR	55
Figura 8 – Distribuição espacial da pluviosidade média (mm) no verão (A) e outono(B) da bacia do rio Pirapó-PR.....	57
Figura 9 – Distribuição espacial da pluviosidade média (mm) no inverno e primavera da bacia do rio Pirapó-PR.....	60
Figura 10 – Distribuição espacial da pluviosidade média mensal (mm) dos meses de janeiro (A) e fevereiro (B) da bacia do rio Pirapó-PR.....	61
Figura 11 – Distribuição espacial da pluviosidade média mensal (mm) dos meses de março(A) e abril(B) da bacia do rio Pirapó-PR	62
Figura 12 – Distribuição espacial da pluviosidade média mensal (mm) dos meses de maio(A) e junho(B) da bacia do rio Pirapó-PR.....	63
Figura 13 – Distribuição espacial da pluviosidade média mensal (mm) dos meses de julho (A) e agosto (B) da bacia do rio Pirapó-PR	64
Figura 14 – Distribuição espacial da pluviosidade média mensal (mm) dos meses de setembro (A) e outubro (B) da bacia do rio Pirapó-PR.....	65
Figura 15 – Distribuição espacial da pluviosidade média mensal (mm) dos meses de novembro (A) e dezembro (B) da bacia do rio Pirapó-PR	66
Figura 16 - Pluviosidade média mensal da bacia do rio Pirapó-PR	68
Figura 17 - Média anual do número de dias com chuva da bacia do rio Pirapó-PR	70
Figura 18 – Localização da represa Taquaruçu no rio Paranapanema-PR.....	71
Figura 19 - Média anual do número de dias com chuva da bacia do rio Pirapó-PR	74
Figura 20 - Frequência das classes do número de dias com chuva anual da bacia do rio Pirapó-PR	77
Figura 21 - Frequência do número de dias com chuva para os postos pluviométricos da bacia do rio Pirapó-PR	80
Figura 22 - Distribuição espacial da média do número de dias com chuva no verão (A) e outono (B) da bacia do rio Pirapó-PR	82
Figura 23 - Distribuição espacial da média do número de dias com chuva no inverno (A) e primavera (B) da bacia do rio Pirapó-PR	84
Figura 24 - Distribuição espacial da média mensal (mm) do número de dias com chuva dos meses de janeiro (A) e fevereiro (B) da bacia do rio Pirapó-PR.....	86
Figura 25 - Distribuição espacial da média mensal (mm) do número de dias com chuva dos meses de março (A) e abril (B) da bacia do rio Pirapó-PR	87
Figura 26 - Distribuição espacial da média mensal (mm) do número de dias com chuva dos meses de maio (A) e junho (B) da bacia do rio Pirapó-PR.....	88

Figura 27 - Distribuição espacial da média mensal (mm) do número de dias com chuva dos meses de julho (A) e agosto (B) da bacia do rio Pirapó-PR.....	89
Figura 28 - Distribuição espacial da média mensal (mm) do número de dias com chuva dos meses de setembro (A) e outubro (B) da bacia do rio Pirapó-PR	90
Figura 29 - Distribuição espacial da média mensal do número de dias com chuva dos meses de novembro (A) e dezembro (B) da bacia do rio Pirapó-PR	91
Figura 30 - Média mensal do número de dias com chuva da bacia do rio Pirapó-PR	93
Figura 31 - Média da precipitação máxima anual em 24 horas da bacia do rio Pirapó-PR	95
Figura 32 - Pluviosidade máxima anual em 24 horas da série histórica analisada.....	97
Figura 33 – Média da pluviosidade máxima em 24 horas durante o verão (A) e outono (B) da bacia do rio Pirapó-PR.....	99
Figura 34 – Média da pluviosidade máxima em 24 horas durante o inverno (A) e primavera (B) da bacia do rio Pirapó-PR	101
Figura 35 - Distribuição espacial da pluviosidade máxima mensal em 24 horas (mm) dos meses de janeiro (A) e fevereiro(B) da bacia do rio Pirapó-PR.....	102
Figura 36 - Distribuição espacial da pluviosidade máxima mensal em 24 horas (mm) dos meses de março (A) e abril (B) da bacia do rio Pirapó-PR.....	104
Figura 37 - Distribuição espacial da pluviosidade máxima mensal em 24 horas (mm) dos meses de maio (A) e junho (B) da bacia do rio Pirapó-PR	105
Figura 38 - Distribuição espacial da pluviosidade máxima mensal em 24 horas (mm) dos meses de julho (A) e agosto (B) da bacia do rio Pirapó-PR.....	107
Figura 39 - Distribuição espacial da pluviosidade máxima mensal em 24 horas (mm) dos meses de setembro (A) e outubro (B) da bacia do rio Pirapó-PR	108
Figura 40 - Distribuição espacial da pluviosidade máxima mensal em 24 horas (mm) dos meses de novembro (A) e dezembro (B) da bacia do rio Pirapó-PR	110
Figura 41 - Pluviosidade máxima em 24 horas mensal da bacia do rio Pirapó-PR	112
Figura 42 - Série anual e tendência da precipitação total nos postos da bacia do rio Pirapó – PR	116
Figura 43 - Série anual e tendência do número de dias com chuva nos postos da bacia do rio Pirapó – PR.....	119
Figura 44 - Série anual e tendência da precipitação máxima em 24 horas nos postos da bacia do rio Pirapó – PR	123
Figura 45 - Tendência para a precipitação total mensal nos postos da bacia do rio Pirapó – PR	128
Figura 46 - Série e tendência do número de dias com chuva por mês nos postos da bacia do rio Pirapó – PR.....	132
Figura 47 - Série e tendência da precipitação máxima em 24 horas mensal nos postos da bacia do rio Pirapó – PR	136

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - População e composição do PIB dos municípios inseridos na bacia do rio Pirapó-PR.....	40
Tabela 2 - Postos pluviométricos utilizados, com número, código, município, latitude, longitude e altitude na bacia do rio Pirapó-PR.....	42
Tabela 3 - Resultado do teste de Mann-Kendall da série anual de precipitação total nos postos da bacia do rio Pirapó – PR.....	114
Tabela 4 - Resultado do teste de Mann-Kendall da série anual de número de dias com chuva nos postos da bacia do rio Pirapó – PR.....	117
Tabela 5 - Resultado do teste de Mann-Kendall da série anual de precipitação máxima em 24 horas nos postos da bacia do rio Pirapó – PR.....	120
Tabela 6 - Resultado do teste de Mann-Kendall Sazonal da precipitação total mensal nos postos da bacia do rio Pirapó – PR.....	125
Tabela 7 - Resultado do teste de Mann-Kendall da precipitação total mensal nos postos da bacia do rio Pirapó – PR.....	127
Tabela 8 - Resultado do teste de Mann-Kendall Sazonal do número de dias com chuva nos postos da bacia do rio Pirapó – PR.....	129
Tabela 9 - Resultado do teste de Mann-Kendall do número de dias com chuva mensal nos postos da bacia do rio Pirapó – PR.....	131
Tabela 10 - Resultado do teste de Mann-Kendall Sazonal da precipitação máxima em 24 horas nos postos da bacia do rio Pirapó – PR.....	133
Tabela 11 - Resultado do teste de Mann-Kendall da precipitação máxima em 24 horas mensal nos postos da bacia do rio Pirapó – PR.....	135

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMJ	Abril-maio-junho
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENOS	El Niño Oscilação Sul
ETCCDMI	Expert Team on Climate Change Deetion Monitoring and Indices
FP	Frente Polar
GCM	Modelos de Circulação Geral
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
IPARDES	Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
ITCG	Instituto de Terras, Cartografia e Geodésia
JAN	Jatos de Altos Níveis
JBN	Jatos de Baixos Níveis
JFM	Janeiro-Fevereiro-Março
JSAN	Jato Subtropical de Altos Níveis
JAS	Julho-Agosto-Setembro
ODP	Oscilação Decadal do Pacífico
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONI	Índice de Oscilação Oceânico
OND	Outubro-Novembro-Dezembro
PNMM	Pressão ao Nível Médio do Mar
RAN-1	Relatório de Avaliação Nacional/Bases Científicas
SCM	Sistemas Convectivos de Mesoescala
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente
SIMEPAR	Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná
SIH	Sistema de Informações Hidrológicas
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E SUA INFLUÊNCIA NA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL DO BRASIL.....	16
2.2 A VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO PARANÁ	19
2.3 ESTUDOS SOBRE TENDÊNCIAS DE PRECIPITAÇÃO NO BRASIL E NO MUNDO	22
2.4 TENDÊNCIAS DE PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO SUL DO BRASIL.....	26
2.5 TENDÊNCIAS DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO.....	29
3 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	35
3.1 LOCALIZAÇÃO	35
3.2 ASPECTOS FÍSICOS	35
3.3 ASPECTOS HUMANOS	38
4 METODOLOGIA	41
4.1 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS.....	41
4.1.1 Obtenção de dados, preenchimento de falhas e tratamento estatístico	42
4.1.2 Elaboração do painel espaço-temporal com base na fórmula de Sturges.....	46
4.1.3 Análise de tendência.....	47
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
5.1 PRECIPITAÇÃO MÉDIA	51
5.1.1 Análise da pluviosidade média anual	51
5.1.2 Análise da pluviosidade média sazonal	56
5.1.3 Análise da pluviosidade média mensal.....	60
5.2 PLUVIOSIDADE DIÁRIA.....	69
5.2.1 Análise da pluviosidade diária anual.....	69
5.2.2 Análise do painel espaço-temporal da quantidade de dias com chuva	74
5.2.3 Análise da pluviosidade diária sazonal	81
5.2.4 Análise do número de dias com chuva mensal	84
5.3 PLUVIOSIDADE MÁXIMA.....	94
5.3.1 Análise da pluviosidade máxima anual.....	94
5.3.2 Análise da pluviosidade máxima sazonal	98
5.3.3 Análise da pluviosidade máxima mensal.....	101
5.4 TENDÊNCIA DE PLUVIOSIDADE DIÁRIA	113

5.4.1 Análise da tendência anual da pluviosidade total, número de dias com chuva e pluviosidade máxima em 24 horas.....	113
5.4.2 Análise da tendência mensal da pluviosidade total, número de dias com chuva e pluviosidade máxima em 24 horas	124
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	137
REFERÊNCIAS	140

1 INTRODUÇÃO

Eventos climáticos extremos têm despertado o interesse da sociedade por sua maior frequência e impactos causados em diversos setores econômicos no Brasil e no mundo. No Brasil, estes extremos são muitas vezes verificados a partir de secas severas na região Nordeste e chuvas intensas na região Sul, por exemplo.

As projeções de mudanças realizadas pelo Painel Internacional sobre as Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) indicam mudanças na variabilidade da precipitação, sendo observadas na sua distribuição, frequência e intensidade. No sul da América do Sul, segundo este órgão científico, a tendência de aumento da precipitação e frequência das chuvas intensas até 2040 poderá ser de 5% a 10%.

Segundo Marengo (2009) e IPCC (2012), um evento extremo pode ser entendido como um valor de uma variável meteorológica ou climática, acima ou abaixo de um valor limiar próximo do final superior ou inferior do intervalo de valores observados da variável. Contudo, é preciso compreender que além de suas diferentes denominações e identificação ao longo do tempo por técnicas e conceitos estatísticos, é preciso observar quais são as repercussões destes eventos no espaço.

Neste sentido, observa-se atualmente que as pesquisas envolvendo a variabilidade das chuvas e as consequências de seus eventos extremos não é objetivo apenas da Geografia, mas de diversas áreas como a Meteorologia, Agroclimatologia, Engenharia Ambiental, Engenharia Hídrica e Agronomia, por exemplo. As pesquisas destas áreas têm contribuído com resultados importantes para a resolução de problemas relacionados ao planejamento ambiental e urbano, processos erosivos, gestão de recursos hídricos, entre outros.

Cruciani, Machado e Sentelhas (2002) apontam que os estudos da variação temporal das chuvas se tornaram um grande desafio para os gestores, especialmente para a área da engenharia, onde a maior dificuldade não se baseia somente na quantificação dos eventos ocorridos, mas na capacidade de prever e gerenciar formas de mitigação dos seus impactos.

Compreender a distribuição e a frequência da pluviosidade em uma bacia hidrográfica, neste caso, é de suma importância para a gestão de recursos hídricos e da busca de soluções para a minimização de impactos envolvendo os processos erosivos em áreas agrícolas desencadeados pela associação de eventos de chuvas intensas às características pedológicas e do relevo (MIOTO, 2017).

Considerando as discussões a respeito das repercussões das mudanças climáticas globais no clima regional e local expostas pelo IPCC (2007) e Marengo (2009), a hipótese desta pesquisa é de que na área correspondente à bacia hidrográfica do rio Pirapó haja indícios de mudança relacionadas ao aumento da frequência dos máximos diários de pluviosidade e na redução dos dias com chuva no período de 1980 a 2017.

Pela sua natureza dinâmica, a precipitação se configura como um dos elementos climáticos mais estudados tanto temporalmente quanto espacialmente. Devido à singularidade como que os eventos extremos de chuvas ocorrem, a análise em escala anual e mensal pode ocultar características associadas a frequência e, principalmente, intensidade, sendo necessária uma análise em escala diária. Deste modo, para se compreender, de forma mais detalhada, a dinâmica da precipitação na área de estudo, faz-se necessária a investigação de sua frequência através do número de dias com chuva e os máximos pluviométricos diários.

De acordo com essa perspectiva, o objetivo geral desta pesquisa foi caracterizar o padrão de distribuição e verificar a existência de tendências significativas de aumento ou diminuição na precipitação diária na bacia do rio Pirapó-PR, e analisar quanto a distribuição espaço-temporal e a frequência da pluviosidade.

Como objetivos específicos a pesquisa visa:

1. Averiguar a variabilidade da precipitação média nas escalas de análise anual, sazonal e mensal;
2. Investigar a ocorrência e a distribuição do número de dias com chuva e precipitações máximas em 24 horas na área de estudo anualmente, sazonalmente e mensalmente;
3. Identificar e analisar as tendências da precipitação total, do número de dias com chuva e precipitações máximas diárias por meio do teste de Mann-Kendall;
4. Mapear e analisar a distribuição espaço-temporal da pluviosidade média, do número de dias com chuva e dos máximos diários na bacia do rio Pirapó, nas escalas anual, sazonal e mensal.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E SUA INFLUÊNCIA NA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL DO BRASIL

As discussões sobre as mudanças climáticas globais têm ganhado cada vez mais importância em nível mundial. A definição das características das mudanças climáticas observadas, bem como a investigação das possíveis causas e consequências, envolve diversos segmentos como a política, a economia, a sociedade e principalmente a área ambiental (PINHEIRO, 2016).

Segundo Silva e Guetter (2003) as mudanças climáticas ocorrem de forma distinta entre as várias regiões da Terra, sejam através de variações no volume e na distribuição espacial das chuvas, no aumento da temperatura, na elevação do nível do mar, dentre outros efeitos.

O quarto relatório científico do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) apresenta evidências de mudanças no clima que podem afetar significativamente o planeta, não só a partir das características apresentadas anteriormente, mas também por meio da ocorrência de extremos climáticos, afetando de forma mais acentuada os países menos desenvolvidos da região tropical, visto que já é uma realidade destes países enfrentarem períodos incertos e irregularidades pluviométricas (MARENGO, 2008).

Xu *et al.* (2011) alertam que as mudanças climáticas têm influenciado na frequência e na intensidade dos eventos hidrológicos em regiões semiáridas e áridas na China. Ao investigarem a relação entre as mudanças climáticas globais e regionais da precipitação por meio da regressão linear múltipla no período de 1959 a 2005, os autores observaram tendências positivas na precipitação anual.

Djebou e Singh (2016), em sua pesquisa sobre os impactos das mudanças climáticas na precipitação da bacia do Golfo do Texas-EUA, argumentam que as mudanças climáticas podem interferir no padrão de precipitação regional. O teste Mann-Kendall e Regressão linear empregados pelos autores indicaram uma tendência significativa de 5% de aumento no número de eventos de precipitação, superiores a 3,0 mm, entre os meses de junho, julho e agosto no período de 1970 a 2000.

Githui *et al.* (2009) salientam que os extremos climáticos, como secas e inundações oriundos das mudanças climáticas, têm gerado impactos de longo alcance no Quênia. Ao

utilizarem o modelo climático MAGICC/SCENGEN¹ para a simulação de cenários futuros, os autores identificaram um aumento expressivo de precipitação extrema anual com resultados de 42 mm para 84 mm para o ano de 2020 e de 126 mm para 262 mm em 2050. Destacam que a ocorrência de períodos prolongados de seca e a concentração de chuvas em um curto período provocariam impactos em vários setores da economia, nos recursos hídricos, na saúde, na energia e na gestão de desastres naturais.

Sansom e Renwick (2006) ao analisarem dados de precipitação diária no período de 1950 a 1993 por meio do Modelo Oculto de Markov², verificaram o aumento na frequência dos eventos extremos de precipitação em 12 horas na Nova Zelândia. Segundo os autores, de maneira geral, as mudanças climáticas estariam associadas às mudanças na variação espacial da precipitação, sendo necessário o estudo referente à sua distribuição, dada a sua importância na investigação entre as mudanças climáticas globais e regionais.

É possível perceber na literatura internacional como as mudanças climáticas podem impactar determinadas regiões, principalmente regiões áridas e semiáridas, aumentando as suas condições de vulnerabilidade. São numerosos os estudos que investigaram esta preocupação na África (HEWITSON; CRANE, 2006), na Austrália (MURPHY; TIMBAL, 2008), na Europa (BOOIJ, 2002), na América do Sul (MARENGO *et al.*, 2009; HIROTA; OYAMA; NOBRE, 2011).

Diante das pesquisas relacionadas às projeções e consequências das mudanças climáticas, a questão da vulnerabilidade econômica e social dos países é explícita. No Brasil, esta é uma realidade preocupante, pois estudos como o de Marengo (2007), Ambrizzi *et al.* (2007) e Guimarães *et al.* (2016), por exemplo, indicam que com aumento na frequência dos extremos climáticos, sejam secas prolongadas ou aumento na intensidade das precipitações, a Amazônia e a região Nordeste são consideradas as áreas mais vulneráveis.

Marengo *et al.* (2011) salientam que as projeções do IPCC frente à mudança climática do Nordeste do Brasil estimam um agravamento da situação de extremos de chuvas e estiagens prolongadas cada vez mais frequentes e, conseqüentemente, atividades associadas à agricultura de subsistência, comprometendo a sustentabilidade do desenvolvimento regional. Os extremos climáticos intensos associados à degradação do solo poderiam acelerar o processo de

¹ O MAGICC/SCENGEN consiste na combinação do modelo climático MAGICC e a base de dados sobre cenários climáticos SCENGEN, sendo utilizado pelo IPCC para gerar projeções futuras de temperatura média global e nível médio do mar (ADAM; COLLISCHONN, 2013).

² Modelo Oculto de Markov corresponde a um teste estatístico, que é empregado em previsões climáticas (MINUZZI, 2017).

desertificação, assim como a possibilidade de secas mais intensas e prolongadas poderia elevar ainda mais o grau de exposição e vulnerabilidade das populações que habitam o semiárido.

Segundo o IPCC (2007), a região Nordeste do Brasil poderá sofrer impactos relacionados à diminuição dos recursos hídricos. Os esforços para amenizar o declínio da disponibilidade de água, devido ao aumento da variabilidade de precipitação, podem ser dificultados pela diminuição da recarga de águas superficiais, o que pode diminuir consideravelmente em áreas que sofrem com a escassez de água. Assim, a vulnerabilidade aumentará em função do rápido aumento da população e da demanda de água (BRASIL, 2008).

Contudo, de acordo com Nobre, Sampaio e Salazar (2008) as projeções para a região Amazônica são de que as secas tendem a se tornarem mais frequentes. Os autores esclarecem que as secas registradas no ano de 2005 trouxeram consequências negativas para os setores econômicos ao norte e leste desta região. Ainda existe a preocupação da redução da chuva anual da Amazônia, a redução das áreas cobertas e a redução da quantidade de água no solo (BRASIL, 2008; NOBRE, 2001).

No que concerne à região Sudeste do Brasil, os aumentos da precipitação têm evidenciado impactos no uso da terra, na agricultura e no aumento da frequência e intensidade de enchentes (BRASIL, 2008). Embora existam diversos estudos sobre a precipitação nesta região, Marengo (2007) ressalta que tais estudos não mostraram mudanças perceptíveis ou aumento de volume definido até finais do século XX. Por outro lado, a região Centro-Oeste é alvo de incertezas diante das projeções por não possuir uma rede mais densa de monitoramento de dados meteorológicos na investigação dos padrões de precipitação (NOBRE, 2001; EDWARDS, 2010).

Segundo o Relatório de Avaliação Nacional/Bases Científicas (RAN-1) do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (2014), a projeção para mudanças da precipitação para a região Sul da América do Sul prevê um aumento de 5% a 10% na chuva até 2040. Esta região, segundo o IPCC (2007), será afetada com a ocorrência de climas mais extremos, em especial, no aumento da frequência de eventos intensos de pluviosidade. Marengo (2007) enfatiza que esta região é a que mais se destaca em relação a outras no que se refere a tendências para o aumento de chuvas detectadas pelo IPCC.

Observa-se que as avaliações das mudanças climáticas para os cenários futuros realizadas por pesquisadores do Brasil, e do mundo, baseiam-se no uso de Modelos de Circulação Geral (do inglês, GCMs), como: HadCM3; CSIRO-Mk2; CCCMA; GFDL-CM2 e CCSR/NIES, os quais representam o comportamento geral da atmosfera e dos oceanos, assim como muitas das interações entre as demais componentes do sistema climático.

Segundo Marengo *et al.* (2011) a aplicação de diversos modelos para as previsões das mudanças climáticas na precipitação gera um certo grau de incerteza por justamente apresentarem diferentes configurações de grade e, conseqüentemente, vários resultados. Contudo, a própria dinâmica atmosférica, a alteração constante dos níveis de emissões e concentrações de gases colaboram para que os resultados dos modelos climáticos sejam questionáveis pela comunidade científica.

Conclui-se diante do exposto, que há um consenso entre os autores de que projeções mais pontuais acerca dos cenários do clima futuro necessitam da ampliação de pesquisas. Embora os estudos sobre as mudanças climáticas sejam abordados em escala global e a partir de modelos matemáticos, percebe-se a necessidade de pesquisá-los em escala regional e local. Identificar os efeitos climáticos regionais poderia auxiliar na efetivação de medidas de adaptação dos impactos, bem como viabilizar ferramentas concretas para a gestão de recursos hídricos e da agricultura por meio de práticas de uso e manejo do solo, controle de erosão, entre outros.

2.2 A VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO PARANÁ

O Paraná é o estado brasileiro com a segunda maior participação no percentual da produção agrícola nacional com 14,9%, atrás apenas o estado de Mato Grosso do Sul com 28,0% (IBGE, 2020). Devido à agricultura no estado ser o setor que apresenta maior dependência das condições climáticas, especialmente térmicas e pluviais, neste tópico buscou-se discorrer sobre os principais sistemas meteorológicos responsáveis pela variabilidade da precipitação, apresentando as pesquisas referentes à atuação dos sistemas atmosféricos, assim como a sua importância na gênese climática regional.

O conhecimento a respeito dos elementos climáticos, principalmente a pluviosidade, é fundamental para todas as atividades econômicas. Silva, Prael-Pantano e Sant'Anna Neto (2008) consideram que a produção agrícola é suscetível às variações pluviométricas, mesmo com o uso da tecnologia. Assim, a chuva seria condicionante no processo produtivo através da disponibilidade da água ao longo das fases de desenvolvimento de cada cultura, além do sucesso e/ou prejuízos das safras, dependendo da intensidade do evento (OLIVEIRA *et al.*, 2000; MINUZZI; CARAMORI, 2011; SALTON *et al.*, 2016).

Nimer (1989) e Climanálise (2009) destacam que a principal característica da precipitação na região Sul é sua homogeneidade e/ou uniformidade, ou seja, sua regularidade

na distribuição anual, em que a variação média da precipitação permeia os valores de 1.500 a 2.000 mm.

Contudo, vários pesquisadores revelam que a variabilidade da precipitação na região Sul ocorre a partir de eventos atmosféricos característicos e com regularidade em toda a sua área (BALDO, MARTINS; NERY, 2001; CERA; FERRAZ, 2015; PINHEIRO; GRACIANO; SEVERO, 2013). Segundo Nimer (1989), Reboita *et al.* (2009) e Quadro *et al.* (2012), essa característica é resultante de fatores de ordem estática, como localização geográfica e relevo, além dos fatores de ordem dinâmica, como a atuação dos sistemas atmosféricos intertropicais e polares.

De acordo com Monteiro (1969) e Berezuk (2007), as principais massas de ar que interferem na dinâmica climática da região Sul são a Tropical Atlântica; a Polar Atlântica; a Equatorial Continental e a Tropical Continental, além de outros sistemas atmosféricos como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e o Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) (NIMER, 1989; TARIFA, 1994; NERY, 2005; QUADRO *et al.*, 2012).

Reboita *et al.* (2009) acrescentam ainda os sistemas ciclônicos em níveis médios, bloqueios atmosféricos e a atuação de sistemas de circulação locais (brisas). Para Ferreira (2006), o fenômeno El Niño - Oscilação Sul, embora fazendo parte da grande escala climática, possui implicações regionais específicas nos padrões de precipitação na região Sul.

Os estudos de Silva Dias e Silva (2009) e Ferreira e Anabor (2015) salientam que os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) constituem-se de aglomerados de tempestades e estão associados a chuvas intensas e ventos fortes. Ressalta-se que as Linhas de Instabilidade e os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) integram os SCM. As Linhas de Instabilidade estão ligadas ao movimento das frentes polares em contato com as massas de ar quente, ocorrendo no verão, e também durante quase toda a primavera e até o início do outono, desde que a configuração atmosférica regional esteja dotada de calor e umidade e propiciem os processos de convecção (NIMER, 1989; BEREZUK; SANT'ANNA NETO, 2006).

Os trabalhos de Baldo, Martins e Nery (2001) sobre a estrutura da precipitação na região Sul do Brasil entre 1960 e 1997 demonstraram que os valores médios mensais se centralizaram no litoral do Paraná e Santa Catarina, ao passo que a precipitação média decenal se configurou com maiores valores nos três estados. A pesquisa de Severo (2008) também demonstrou resultados semelhantes quanto à porção central dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Observa-se que, de modo geral, as chuvas não ocorrem de forma isolada, mas com a interação entre os demais elementos climáticos, como ressalta Grimm (2009), ao identificar que

a radiação solar, a latitude, a configuração do relevo, pressão e circulação atmosférica, quando associados, favorecem a formação de chuvas. Pesquisas como a de Jorge (2009) enfatizam que a área litorânea da região Sul representa uma zona de contato entre os fatores determinantes dos climas continentais e oceânicos. Para o autor, a porção litorânea do estado do Paraná apresenta variação pluviométrica marcante em relação ao litoral de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, visto que no Paraná a média registrada foi de 2.362 mm, em Santa Catarina 1.728,8 mm e no Rio Grande do Sul 1.449,5 mm, o que pode ser explicado pelo fator orográfico.

O aumento da precipitação, principalmente no leste do estado do Paraná e ao centro e leste de Santa Catarina é um resultado evidenciado por vários autores, como Grimm (2009), Sleiman e Silva (2010), Pinheiro, Graciano e Severo (2013), os quais associam-no ao aquecimento anômalo do Pacífico Equatorial com a presença de El Niño. Segundo os autores, as condições climáticas no Oceano Pacífico Equatorial podem influenciar a definição de anomalias positivas e negativas da precipitação nesta região.

Nery *et al.* (2005), ao estudarem a variabilidade da precipitação do Paraná de 1966 a 1997, constataram que as ocorrências dos eventos El Niño e La Niña são um dos maiores responsáveis pelos desvios em relação às normais climatológicas ocorridas no estado. Com a utilização de análise de regressão, índices de concordância e correlações lineares, os autores concluíram que o Paraná possui uma significativa variabilidade da precipitação, sendo que os maiores valores de precipitação média anual se encontram ao sul (2.000 mm), já as regiões norte e noroeste apresentam as menores precipitações médias (1.400 mm). Os autores destacam que o fator estático (orografia) e a maritimidade influenciam na formação e distribuição das chuvas.

Terassi *et al.* (2018) consideram que a alteração dos totais de pluviosidade é maior durante a fase de El Niño do que sob a influência do fenômeno La Niña. Ao utilizarem o cálculo do índice SPI para a região norte do Paraná, os autores verificaram que esta área apresenta as maiores taxas de chuva no período entre setembro e março com valores superiores a 70% dos totais de chuva. Resultados semelhantes foram obtidos por Nascimento Júnior e Sant'Anna Neto (2015) que, ao analisarem a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e correlacioná-las com as chuvas e o número de dias chuvosos, concluíram que valores positivos estão concentrados no norte e noroeste do Estado entre os meses de setembro a março.

Ao proporem a regionalização do Paraná em cinco grupos a partir do coeficiente de variação pluviométrica, Nery, Baldo e Klosowski (1997) concluíram que os maiores valores de precipitação se concentram no verão, nas regiões Nordeste e Leste, enquanto as demais regiões do Estado possuem uma variabilidade mais homogênea.

Para Fritzon *et al.* (2011), a definição de dez zonas homogêneas no Paraná favoreceu a compreensão das principais diferenças nos índices pluviométricos, bem como a variabilidade das chuvas no que se refere a sua sazonalidade. Com base na análise de agrupamento, os pesquisadores observaram que as precipitações de inverno e verão foram importantes para a definição de tais zonas, e que nas de menor pluviometria existe a diferença acentuada entre os trimestres de verão e inverno com maior concentração da precipitação durante o verão.

Estudos de Terassi, Silveira e Graça (2016) objetivaram analisar a frequência da pluviosidade, as alturas pluviométricas e o número de dias de chuva para as unidades hidrográficas Pirapó, Paranapanema III e IV, localizadas na região norte e noroeste do Paraná. Concluíram com o emprego da análise de Cluster que o período de setembro a março apresenta os maiores registros diários de pluviosidade com valores iguais ou superiores a 10,1 mm e a 60,1 mm.

É possível também destacar pesquisas que investigam a precipitação pluviométrica e sua variabilidade em diversas localidades, como os municípios paranaenses e as áreas de bacias hidrográficas. A pesquisa de Andrade (2009) ressalta as diferenças nos padrões de precipitação entre Maringá e Apucarana e sua sazonalidade, enquanto Martins (2009) se deteve a investigar o balanço hídrico no município de Apucarana por meio dos dados de precipitação, assim como Deffune, Klosowski e Silva (1995) para o município de Maringá.

Trabalhos de Ribeiro (1987), Souza, Martins e Nery (2002), Borsato (2010), Dziubate (2013) e Terassi (2015), entre outros, são exemplos de como os estudos climatológicos relacionados à precipitação são amplamente realizados, devido a sua influência direta nos vários segmentos, principalmente na agricultura, bem como sua relação com a dinâmica atmosférica. Os estudos voltados a sua dinâmica, além das perspectivas relacionadas à mudança no padrão de precipitação e a ocorrência de extremos, demonstram a necessidade da valorização desse elemento por parte da comunidade científica, da sociedade e do Estado, visando não somente o desenvolvimento econômico, mas sobretudo o desenvolvimento ambiental (MIOTO, 2017).

2.3 ESTUDOS SOBRE TENDÊNCIAS DE PRECIPITAÇÃO NO BRASIL E NO MUNDO

As preocupações relacionadas às mudanças climáticas e sua possível influência nos padrões de precipitação têm impulsionado vários autores a pesquisar a presença de tendências no clima regional em várias áreas do mundo, como por exemplo Burn e Elnur (2002); Yue,

Pilon e Cavadias (2002); Yue e Pilon (2004); Silva (2004); Groisman *et al.* (2005), entre muitos outros. É interessante observar que os estudos revelam tanto resultados positivos, como também resultados contrários, ou negativos, a exemplo dos trabalhos de Hess *et al.* (1995) Lebel e Ali (2009); Liu *et al.* (2013).

A mudança sistemática e contínua em qualquer parâmetro de uma série temporal é definida segundo Yevjevich (1972) como tendência. Desta forma, tendências climáticas podem ser compreendidas por um suave aumento ou diminuição nos valores médios da precipitação ao longo de um período (PINHEIRO, 2016).

Wilks (2011) salienta que a investigação de possíveis tendências por meio do conjunto de dados registrados é de extrema necessidade no contexto das mudanças climáticas. Salviano, Groppo e Pellegrino (2016) argumentam que a análise espacial de tendências permite observar as mudanças no comportamento da precipitação e determinar em quais regiões esta variável vem sofrendo mudanças ao longo do tempo.

No Brasil, várias são as pesquisas que objetivaram a identificação de possíveis tendências (SILVA, 2004; SANSIGOLO; KAYANO, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2014; PEREIRA, 2014; SANTOS; LÚCIO; SILVA, 2015; FERREIRA, PENNEREIRO; FONTOLAN, 2015). Embora exista o desenvolvimento de estudos no mundo sobre tendências climáticas, no Brasil esses estudos se restringem a determinadas regiões, como a Amazônia, o nordeste e o sul do Brasil. Isto se deve ao fato de que nos relatórios do IPCC, e nas pesquisas nacionais e internacionais estas regiões são mencionadas como áreas onde o reflexo das mudanças climáticas são mais marcantes, principalmente na precipitação e temperatura.

Embora as pesquisas relacionadas às tendências de precipitação sejam utilizadas na Climatologia, observa-se também que são amplamente pesquisadas em diversas áreas do conhecimento, como Meteorologia, Agroclimatologia, Hidrologia e Engenharia. São áreas de estudo que, de certa forma, procuram contribuir para o melhor gerenciamento dos recursos naturais, da energia elétrica, dos recursos hídricos (escoamento superficial, prática agrícola), além de medidas de mitigação dos impactos causados pelas chuvas extremas (PINTO *et al.*, 2001; LUCENA *et al.*, 2010).

Além destes estudos abrangerem diferentes escalas temporais e espaciais, como em áreas referentes a países, regiões, áreas urbanas e bacias hidrográficas, eles fazem uso da estatística descritiva e de diferentes testes não paramétricos como o Kolmogorov-Smirnov (KS) Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) e da identificação de tendências. Contudo, o teste Mann-Kendall (MK) se destaca nas análises de tendência em grande parte das pesquisas.

A pesquisa de Berezuk e Garcia (2011) sobre as tendências contribuiu para o conhecimento sazonal da precipitação na bacia hidrográfica do rio do Pardo-MG. Ao analisarem os dados mensais de 1977 a 2007 através da estatística descritiva, os autores verificaram uma tendência de maior aumento dos volumes de chuvas no período chuvoso (verão) e uma diminuição do volume das chuvas durante a primavera, além da acentuação da sazonalidade da precipitação para a área de estudo.

Casavecchia *et al.* (2016) objetivaram estudar as tendências de precipitação das bacias dos rios Juruena e Teles Pires, região Amazônica do estado de Mato Grosso no período de 1983 a 2013 através de 15 estações meteorológicas. Aplicando o teste não paramétrico Mann-Kendall, os autores obtiveram resultados importantes para a modelagem hidrológica e a gestão de recursos hídricos, que permitiu identificar a existência de tendência em séries temporais para a área de estudo, com destaque de tendência negativa na série histórica para o pluviômetro 1055002 (Colíder) e positiva para o pluviômetro 1058002 (Núcleo Ariel).

Utilizando o mesmo teste (MK), Queiroz (2013) identificou tendências positivas em apenas 8 das 36 séries históricas de precipitação diária máxima anual para a faixa central do estado de Minas Gerais. Os resultados de Almeida *et al.* (2015), sobre tendência temporal anual diária do estado de São Paulo no período de 1977 a 2006, revelaram a variação na magnitude das precipitações em relação ao tempo de retorno, mas não a identificação de tendências gerais de precipitação, denotando a variabilidade natural dela.

Costa *et al.* (2015) analisaram as tendências de eventos de precipitação fraca e intensa na região Nordeste do Brasil. O emprego da técnica dos Quantis e Mann-Kendall possibilitou que os autores evidenciassem uma inversão na tendência destes eventos durante o período chuvoso (novembro a abril) e menos chuvoso (maio a setembro), ou seja, durante o período chuvoso houve predomínio de tendência positiva para os eventos de chuva fraca e nos períodos menos chuvosos se acentuou a tendência positiva de chuvas intensas.

Utilizando índices climáticos como o Rx1day, Rx5day, RXmm, R95p, R99p, DCS, DCU e PRCPTOT sugeridos pelo Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI), Farias, Alves e Nóbrega (2012) avaliaram possíveis tendências de precipitação diária de 1979 a 2010 na mesorregião do sertão pernambucano. Os autores concluíram que houve tendência positiva da precipitação nos índices Rx1day, Rx5day, R50mm, R95p, R99p e PRCPTOT para a área de estudo.

Zandonadi *et al.* (2014), com base na mesma metodologia dos Índices climáticos (ETCCMI), avaliaram as tendências de precipitação para a bacia do Paraná, distribuídas nos estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás, Santa Catarina e

Distrito Federal e verificaram que em 23 das 32 estações utilizadas houve tendência positiva, ou seja, de aumento no total pluviométrico anual para o período de 1986 a 2011. Os autores ressaltam que embora fosse verificada a inexistência de um padrão de precipitação para a área de estudo, foi perceptível a existência de alterações no padrão das chuvas.

Groisman *et al.* (2005), em sua pesquisa sobre tendências em várias áreas do globo, identificaram que nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil, houveram tendências anuais positivas de aumentos sistemáticos de chuva e de extremos de chuva. Os autores consideraram que na região Sudeste do Brasil, desde 1940, tem-se revelado aumentos sistemáticos na frequência de chuvas intensas, de até quase 58% em 100 anos. Os resultados apontados pelos autores corroboram as considerações de Haylock *et al.* (2006), em que evidenciaram tendências para condições mais úmidas no Sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e o norte e centro da Argentina no período de 1960 a 2000.

Penereiro, Ferreira e Garcia (2012) identificaram possíveis tendências de precipitação e temperatura nas capitais brasileiras na série histórica de 1961 a 2011. Os autores destacaram que os testes Mann-Kendall e Pettit acusaram tendência positiva nas capitais de São Paulo e Curitiba em 1985 e 1993, respectivamente, demonstrando o aumento de precipitação anual desta variável e a não identificação em Brasília.

Lacerda *et al.* (2016) utilizaram o modelo regional ETA para a verificação da mudança na precipitação do interior do estado de Pernambuco entre 2010 e 2050 e dois modelos climáticos globais, HadCM3 e BESM na identificação de tendência para o clima futuro da região. Os autores concluíram que nos modelos utilizados houve a tendência de redução da pluviosidade anual.

Lima *et al.* (2012) identificaram tendências de precipitação para a cidade de Caiacó-RN por meio da técnica de regressão linear. Os autores observaram que a precipitação no período de estudo (1963 a 2004) não demonstrou tendência significativa, provavelmente devido à grande variabilidade dos dados, porém notaram a redução das chuvas ao longo das décadas. Seus resultados confirmam a ideia verificada pelo IPCC (2007) no que se refere à redução das chuvas na região Nordeste, prevista nos modelos que simulam os efeitos das mudanças climáticas globais sobre climas regionais.

Embora haja o emprego de diferentes técnicas estatísticas para avaliar as tendências climáticas, observa-se que o método de Mann-Kendall vem sendo amplamente utilizado para a análise das tendências de precipitação, temperatura e vazão hidrológica, pois sua utilização é sugerida pela Organização Meteorológica Mundial – OMM (SANTOS; NAVES, 2017).

Segundo Scofield, Angelis e Souza Júnior (2014), o teste não paramétrico Mann-Kendall tem sido frequentemente utilizado para confirmar o que outras técnicas já revelaram com relação à precipitação, como as médias móveis e análise de regressão.

Observa-se que nas pesquisas relacionadas às tendências há a preocupação dos estudiosos em confirmar se as mudanças climáticas globais estão de fato influenciando uma mudança regional. Atualmente, o esclarecimento deste questionamento depende não só da ampliação das pesquisas acerca da mudança no padrão da precipitação, mas também da disponibilidade e qualidade dos dados utilizados, do emprego dos modelos utilizados e das técnicas estatísticas aplicadas pelos pesquisadores.

Percebe-se ainda, diante dos trabalhos expostos, que os questionamentos sobre a verificação de tendência, positiva ou negativa, em algumas das séries históricas analisadas possuem relação com a influência da dinâmica climática local, o que implicaria em uma variabilidade natural da precipitação ou realmente é consequência das mudanças climáticas em nível mundial.

2.4 TENDÊNCIAS DE PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO SUL DO BRASIL

O objetivo deste tópico é analisar as pesquisas de tendência na região Sul do Brasil e no estado do Paraná, com o intuito de subsidiar os resultados da presente tese dada a importância do estudo de tendências para a área da bacia do rio Pirapó.

Observa-se que embora os trabalhos referentes a tendências sejam muitas vezes analisados nas escalas anual, sazonal e mensal, grande parte utiliza séries de dados diários de pluviosidade, o que pode inferir a busca de um maior detalhamento temporal deste elemento. Assim, nos estudos apresentados, procurou-se dar maior destaque para pesquisas que utilizam dados diários de pluviosidade.

Os estudos sobre tendências, como já citados anteriormente, são em grande parte empregados para regiões e cidades, e uma pequena parcela destes abrange áreas de bacias hidrográficas. Esta observação fundamenta-se nas considerações do IPCC (2007, 2011) em que as mudanças climáticas regionais ocorrem devido às ações antrópicas, como o intenso processo de urbanização, que associado a eventos intensos de chuva deflagram vários problemas à sociedade.

Contudo, mesmo que os estudos climatológicos se remetam em grande parte às áreas urbanas e áreas agricultáveis, de alguma forma acabam envolvendo as bacias hidrográficas,

visto que as cidades se encontram sobre elas e pelo fato destas estarem distribuídas em uma ou mais regiões. Outro fator relevante é que são nas bacias hidrográficas que se encontram os recursos naturais, tão importantes para a economia. Assim, estudar as possíveis tendências na precipitação pluvial diária da bacia do rio Pirapó contribui para a gestão de tais recursos e, conseqüentemente, a economia regional.

Alexander *et al.* (2006) analisaram tendências em extremos anuais de chuva no Sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e Centro-norte da Argentina no período de 1961 a 2000 e concluíram que as tendências positivas no número de dias com chuva intensa e chuva muito intensa sugerem aumento na intensidade e na frequência dos eventos de chuva no sudeste da América do Sul.

Pinheiro, Graciano e Severo (2013) objetivaram identificar tendências de precipitação na região Sul do Brasil por meio de séries diárias no período de 1938 a 2009. Aplicando o teste de distribuição de extremos Tipo I, conhecida como distribuição de Gumbel, os autores puderam calcular o período de retorno para os eventos de precipitação máxima anual e, através do teste Mann-Kendall, detectar mudanças na distribuição da precipitação na série histórica analisada. Concluíram que houve tendência de aumento da precipitação ao longo da série desde o centro-leste de Santa Catarina e leste do Paraná. A partir do cálculo dos valores de máximos diários, os autores evidenciaram que nos últimos 30 anos da série histórica, houve aumento de 26% na precipitação, sendo que na estação de Prudentópolis-PR houve aumento de 82%. Verificaram ainda que o número de dias sem chuva e as chuvas acima de 100 mm aumentaram ao longo da série, ou seja, as chuvas estão mais concentradas.

Com as considerações sobre as mudanças climáticas e seus impactos na agricultura realizadas pelo IPCC (2007), Cera e Ferraz (2015) propuseram um estudo sobre tendências de precipitação para o estado do Rio Grande do Sul utilizando dados diários de 1940 a 2008. Através da aplicação do teste Mann-Kendall, verificaram tendência de aumento na precipitação em grande parte do Rio Grande do Sul para o período de 1982 a 2006 ao nível de 99,9% no extremo norte e região central do estado. As tendências negativas de precipitação ao nível de 90 e 99,9% foram observadas no extremo oeste e região litorânea do Estado e em parte da região norte.

Contudo, o estudo de Sanches *et al.* (2016), revelou resultado oposto para a mesma região ao buscar identificar tendências na precipitação entre 1957 e 2014. Segundo os autores, os resultados demonstraram que a série não sofreu modificações passíveis de serem consideradas como decorrentes de mudanças climáticas, ou seja, o padrão dos dados da série histórica analisada é decorrente de uma variabilidade natural da precipitação.

Back (2001) pesquisou a precipitação da cidade de Urussanga-SC para a série histórica de 1924 a 1998. Segundo este autor, observou-se um aumento na tendência de precipitação anual, principalmente nos três últimos meses do ano, principalmente, a partir de 1991. Os resultados de Back, Della Bruna e Vieira (2012) confirmaram os de Back (2001) para a mesma região e acrescentaram ainda haver evidências de tendências positivas na precipitação pluvial total anual, bem como aumento do número de dias com chuva, igual ou superior, a 20 mm.

Os resultados dos autores citados corroboram os argumentos de Marengo (2008), no que diz respeito ao aumento da precipitação no Sul do Brasil desde 1950 diante das projeções sobre as mudanças climáticas para esta região. Porém, estudos como o de Teixeira-Granda *et al.* (2015) e Sanches *et al.* (2016) demonstraram resultados contrários. Desta forma, é possível destacar a importância das pesquisas realizadas em escalas regionais, por justamente demonstrar se o padrão de precipitação ocorre devido a fatores de grande escala, ou apresenta uma variabilidade natural.

Krüger, Kaviski e Müller (1998) objetivaram estudar tendências na frequência e intensidade da precipitação média diária no estado do Paraná a partir de 38 estações meteorológicas durante 1937 a 1996. Os autores deram enfoque maior aos anos posteriores a 1970, pois segundo eles este ano pode ser considerado, aproximadamente, como sendo o final do período das principais alterações de uso do solo no estado. A partir da aplicação dos modelos “dois harmônicos” e “cadeia de Markov de primeira ordem”, os autores averiguaram que em 58% dos postos poderia haver uma tendência no sentido de aumento de frequência e diminuição da intensidade da precipitação diária para a região noroeste do estado.

Ricce *et al.* (2009) mostram em seu estudo sobre tendências na precipitação na cidade de Londrina-PR que, embora se verifique o aumento da temperatura em nível mundial e regional, o mesmo não ocorre com a precipitação. Ao analisarem dados anuais de 1989 a 2008, os autores concluíram que não houve tendência significativa de mudança na precipitação.

Pedron *et al.* (2013) averiguaram a tendência de precipitação anual para o município de Palotina, região oeste do Paraná por meio dos testes de regressão linear e Mann-Kendall e concluíram que, embora indicando tendência de diminuição, não foi estatisticamente significativa no segmento temporal 1973 a 2010.

Aplicando-se a técnica da análise de regressão na identificação de possíveis tendências mensais na temperatura e precipitação no Paraná entre 1970 e 2005, Gasparotto, Caramori e Vasconcellos (2005) observaram que a temperatura mínima mostrou tendências de aumento de 1 a 1,5°C em algumas localidades como, por exemplo, em Umuarama e Fernandes Pinheiro.

Em relação à precipitação, os autores concluíram que há somente indícios de tendências positivas no aumento da precipitação mensal no período analisado.

Com o objetivo de compreender os impactos regionais e locais das mudanças climáticas, Pinheiro e Martin-Vide (2017) propuseram avaliar tendências de precipitação do município de Irati, localizado na região sudeste do Paraná. Tendo como base o segmento temporal de chuvas diárias entre 1980 e 2010, os autores aplicaram dois tipos de tendências estatísticas: a “monotômica” e a “linear”, extraídas dos testes não paramétricos Mann-Kendall e cálculo de Sen e verificaram que tanto na escala anual quanto sazonal o resultado foi nulo, ou seja, não houve significância no aumento das chuvas ao longo da série histórica analisada.

Considera-se, a partir dos trabalhos apresentados, que em sua maior parte a compreensão e identificação das tendências de precipitação está estruturada no contexto das mudanças climáticas. Todavia, a diversidade de massas de ar e o relevo contribuem na instabilidade, tornando os fenômenos locais únicos, portanto, complexos e de difícil previsão.

Mesmo que a utilização de dados de precipitação diária forneça melhor detalhamento na variabilidade e gênese das chuvas, a identificação de tendências ou a pouca significância dos resultados, demonstra a ação dos fatores estáticos e dinâmicos nas precipitações sobre a escala diária com mudanças no tempo e espaço, dificultando o seu entendimento, além do recorte temporal e consistência dos dados pluviométricos da série histórica utilizada.

2.5 TENDÊNCIAS DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO

A discussão sobre o aquecimento global e alterações climáticas têm conduzido os pesquisadores do mundo todo a investigar cada vez mais a ocorrência dos eventos extremos de precipitação, uma vez que as situações de risco de vulnerabilidade são a eles associados, além de buscar o próprio conhecimento acerca da gênese destes eventos.

Embora o Painel intergovernamental de mudanças climáticas (IPCC, 2007) enfatize um provável aumento na frequência dos eventos extremos e intensos nas latitudes médias e altas do planeta com possíveis impactos na sociedade e no ambiente, pesquisas relacionadas aos eventos extremos de precipitação realizadas em diferentes escalas demonstram que não há unanimidade na comunidade científica quanto à sua definição.

No caso específico dos eventos extremos de precipitação há denominações com diferentes termos por muitos autores, tais como: chuvas de grande intensidade, eventos

intensos, chuvas intensas e até mesmo eventos significativos ou excepcionais (MIOTO, 2017). Monteiro (2016), justifica que tais denominações são resultado de experiências de cada pesquisador, o que pode influenciar várias possibilidades de definição. Contudo, nota-se que esta é uma questão a ser esclarecida, já que eventos extremos são comumente abordados na literatura para caracterizar tanto a precipitação quanto a seca.

Para Marengo (2009), os eventos extremos são desvios de um estado climático moderado, ocorrendo em escalas que podem variar desde dias até milênios. Para este autor, independente da sua denominação, uma das questões mais pertinentes aos eventos extremos compete à investigação se sua ocorrência tem aumentado ou diminuído ao longo do tempo, ou seja, se há uma tendência a cenários propícios à ocorrência desses eventos.

O Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática – IPCC (2012), define evento extremo como um valor de uma variável meteorológica ou climática, acima ou abaixo de um valor limiar próximo do final superior ou inferior do intervalo de valores observados da variável. Simplificadamente, tanto os fenômenos meteorológicos quanto os eventos climáticos extremos são denominados como “eventos climáticos extremos”.

O mesmo relatório enfatiza que os eventos extremos são raros, que a sua identificação, bem como avaliação de sua frequência e intensidade são prejudicados pelos poucos dados disponíveis. Outra questão apontada pelo IPCC (2012) é que devido a sua raridade, fica difícil a sua identificação a longo prazo. Desta forma, avaliar a tendência desses eventos na escala global pode ser mais confiável do que para tendências em escala regional, uma vez que muitos eventos extremos são resultado da variabilidade climática natural.

Segundo Sarewitz e Pielke Júnior (2000), os eventos extremos são definidos de acordo com sua ocorrência e apresentação rara, distanciando-se da média e variando em sua magnitude. Pinheiro e Martin-Vide (2017) salientam que eventos extremos de chuva podem ser considerados aqueles cujos totais, anual, sazonal ou diário, demonstram desvios de valores superiores ou inferiores à apresentação dos habituais da área no período analisado.

Para Oliveira, Caramori e Grodzki (2007), a ocorrência de tais eventos acarreta prejuízos na prática agrícola, sendo totalmente vulnerável aos fenômenos climáticos, especialmente os extremos de precipitação e secas. A frequência e intensidade destes eventos, segundo os autores, interferem na produção agrícola, tanto por meio de perdas de safras decorrentes do excesso ou déficit hídrico, bem como por processos erosivos, levando a uma possível redefinição de um novo mapeamento agrícola.

Souza *et al.* (2011) observaram a necessidade de estudar as chuvas intensas e estimar a função IDF (intensidade-duração-frequência) para o município de Ji-Paraná-RO devido à

problemática do dimensionamento de pequenas obras hidráulicas no estado. Os estudos de Zanella (2006), Pinheiro (2016), Gonçalves (2015), Monteiro e Zanella (2017) e Ploszai (2014) também são exemplos de pesquisas que objetivaram avaliar os impactos das chuvas intensas em ambientes urbanos.

Com o objetivo de associar a ocorrência dos eventos extremos de precipitação com os alagamentos na região metropolitana de Belo Horizonte, Nunes, Pinto e Baptista (2015) utilizaram testes estatísticos paramétricos (regressão linear) e não paramétricos (Mann-kendall e Spearman's Rho) para a identificação de tendências no período de 1979 a 2014. Os autores concluíram que houve um aumento no número de eventos acima de 40 mm de precipitação na série histórica estudada que permitiu o registro de 104 alagamentos, confirmando a hipótese de que o aumento de eventos extremos não está relacionado somente com a ocorrência de “ilhas de calor” em âmbito regional para a área de estudo.

Diante dos resultados de tais pesquisas nota-se que os eventos extremos de precipitação são considerados como causas desencadeadoras de perdas econômicas e catástrofes naturais que atingem a sociedade (ASSAD; PINTO, 2008; MARENGO, 2009; MARENGO *et al.*, 2009).

Silva (2007) explica que os regimes pluviométricos são os mais afetados pelas transformações da superfície terrestre, e que quando passam a exercer comportamentos irregulares, marcados por alternâncias de períodos chuvosos e secos, são responsáveis por inúmeras repercussões de ordem calamitosas sobre os mais variados espaços geográficos.

Ambos *et al.* (2017) identificaram os impactos dos eventos climáticos extremos no litoral médio do Rio Grande do Sul no período de 1972 a 2015. Ao analisarem o histórico de desastres para a área de estudo, os autores observaram o aumento no número destes, entre os anos de 1993 a 2013. Concluíram a partir das projeções de documentos sobre as mudanças climáticas que durante o outono houve um aumento de 10% a 40% no número de chuvas intensas e a primavera se destacou como um período de menor pluviosidade.

Salgueiro, Pinto e Montenegro (2014) avaliaram as tendências pluviais ao longo da bacia do rio Capibaribe-PE, tendo como base a seleção de séries pluviométricas diárias de 13 estações distribuídas no alto, médio e baixo curso do rio, no período de 1973 a 2012 como auxílio na gestão de recursos hídricos. Com os dados pluviométricos, como a precipitação total anual, os dias secos consecutivos, os dias úmidos consecutivos e precipitação de um dia superior a 80 mm, concluíram que há a predominância de tendências de aumento da estiagem e redução da precipitação total anual, chuvas intensas e dias chuvosos consecutivos, principalmente na porção do médio Capibaribe. No alto e médio curso desta bacia, os autores constataram que a

ocorrência de eventos pluviométricos extremos superiores a 80,0 mm, está associada aos efeitos orográficos e aos sistemas atmosféricos vindos do Leste.

Minuzzi e Caramori (2011) analisaram a tendência sazonal da intensidade dos extremos diários e máximos absolutos de precipitação no estado do Paraná durante o período de 1945 a 2006. Os autores concluíram através dos métodos de Regressão linear e Mann-Kendall que houve um discreto aumento no número de dias com eventos extremos e máximos absolutos de chuva no estado e ressaltam que os resultados são decorrentes da variabilidade natural e não de mudanças a nível global.

Silva *et al.* (2015) propuseram estudar tendências de precipitação intensa no Paraná em 17 localidades utilizando como ferramenta o programa RClimDex. Concluíram que os indicadores associados à precipitação não apresentam tendências estatisticamente significativas na maior parte das estações analisadas no estado. Porém a característica mais marcante foi uma pequena diminuição da distribuição do total pluviométrico anual dos dias úmidos (PRCPTOT), especialmente na região norte e no centro do estado.

Ao investigar os eventos de chuva intensa no alto curso do rio Pirapó, Miotto (2017) verificou que estes ocorrem em menor proporção em relação às classes de intensidade fraca e moderada. A autora esclarece que a ocorrência de tais eventos pode estar associada à dinâmica climática local e ao relevo na área de estudo e ainda reforça a necessidade de ampliação dos registros pluviométricos e pluviográficos como ferramenta para a compreensão da precipitação, bem como para o auxílio na quantificação e identificação destes eventos.

Cotta, Correa e Albuquerque (2016) avaliaram as tendências de precipitação sazonal no município de Vitória-ES no período de 1993 a 2012 através do teste Mann-kendall e a distribuição de Gumbel para os valores de precipitação máxima mensal durante o período. Mesmo identificando oito eventos de precipitação intensa (acima de 300 mm) a partir do ano de 2000, os autores concluíram que não existe relação com tendências de aumento, ou seja, tais eventos ocorreram em virtude da atuação de sistemas atmosféricos, principalmente a atuação da ZCAS na área de estudo.

Para a região do sertão Pernambucano, Farias, Alves e Nóbrega (2012), identificaram a tendência positiva, ou de aumento nos valores de precipitação, na série histórica de 1979 a 2010 por meio dos índices climáticos sugeridos pelo Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI). Contudo, ao aplicarem a técnica dos *quantis* houve destaque para o número dos dias secos em relação aos dias chuvosos. Concluíram que houve o predomínio de eventos extremamente secos, em relação aos chuvosos, com 52 e 35 ocorrências, respectivamente, para a área de estudo.

Nóbrega *et al.* (2014) ao utilizarem o programa RclimDex e o teste Mann-Kendall como metodologia para avaliar a tendência de chuvas intensas nas mesorregiões do estado da Paraíba, verificaram que de 1935 a 1969 houve a tendência de aumento na precipitação total anual e a partir de 1970 até 2004 o contrário, ou seja, tendência negativa. No que confere aos eventos extremos de precipitação, os autores ressaltam que estão associadas às anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico.

Santos, Melo e Brito (2016) em seu estudo no estado do Amazonas, demonstraram que houve tendência predominante no limiar de dias consecutivos de 20 mm e 50 mm de precipitação durante 1970 a 2010. Os autores reforçam a ideia da redução da precipitação total anual no estado do Amazonas com base no aumento do número de dias secos consecutivos. Em relação aos eventos extremos de precipitação, os autores verificaram que, em apenas 13,6% dos casos, as tendências observadas foram estatisticamente significativas, demonstrando que não é possível afirmar que ocorreu aumento ou diminuição do mesmo.

Nota-se nos trabalhos apresentados que a utilização de diferentes técnicas estatísticas e índices climáticos como metodologias de análise de tendências demonstram diferentes resultados. Os índices climáticos aplicados por alguns autores revelam intensidades distintas de precipitação diária, o que é muito importante, mas os eventos de precipitação intensa ainda ficam, de certa forma, isolados quanto à avaliação dos pesquisadores. Já os testes de regressão linear, Mann-Kendall e distribuição de Gumbel demonstram resultados mais pontuais porque são aplicados em escalas maiores, como a escala sazonal e mensal.

Entende-se também que grande parte dos estudos tem como intuito a identificação de possíveis tendências de aumento dos eventos extremos de precipitação, mas em sua maioria há somente a associação de sua ocorrência à atuação de fenômenos atmosféricos de grande escala e de aspectos na escala regional, ficando de lado a questão sobre os possíveis impactos que podem gerar e sua possível previsão.

Segundo Moreira e Naghettini (2016), estas associações são importantes, principalmente quando as pesquisas se atentam em analisar as alterações de padrões hidrológicos na escala regional. Estes autores afirmam que a compreensão de tendências na escala regional é importante para entender os fenômenos de escala global e vice-versa.

É unânime a necessidade de estudos da precipitação e dos eventos extremos em nível regional pelos pesquisadores. Estes afirmam que os testes de tendência na escala anual mostram valores positivos, mas quando há a análise da precipitação na escala mensal, por exemplo, nota-se o predomínio de tendências negativas, revelando desta forma a influência da dinâmica climática local na variabilidade da precipitação e na ocorrência dos eventos extremos, além de

questionamentos quanto às condições que podem favorecer a ocorrência de tais eventos. (CARVALHO; JONES; LEIBMANN, 2002; GRIMM; PSCHIEDT, 2001; LIEBMANN *et al.*, 2004; MARENGO, 2007; TEIXEIRA, 2004; BRITO; VEIGA; YOSHIDA, 2014; SILVA DIAS, 2014).

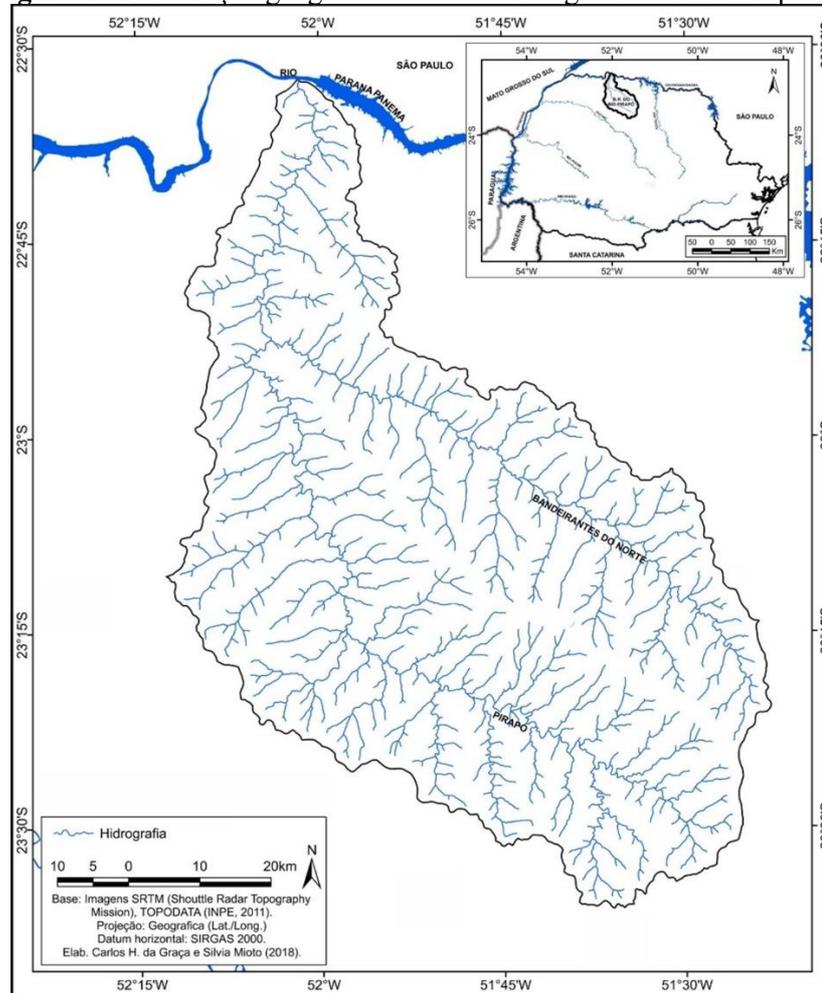
Diante destes trabalhos voltados à investigação de tendências dos eventos extremos de precipitação, percebe-se que em todos há um mesmo questionamento a respeito da relação entre as mudanças climáticas com a ocorrência destes eventos. Desta forma, entende-se que os eventos intensos necessitam ser analisados de forma mais atenta, principalmente em relação à sua ocorrência e aos seus impactos (SILVA DIAS, 2014).

3 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO

Com uma área total de 5.098,10 Km², a bacia hidrográfica do rio Pirapó (Figura 1) encontra-se localizada na região norte do estado do Paraná, entre as latitudes de 22°30' e 23°30' Sul e longitudes de 51°15' e 52°15' Oeste. De acordo com a Secretaria do Meio Ambiente (SEMA, 2013), o rio Pirapó possui sua nascente nas intermediações do município de Apucarana, a cerca de 1.000 metros de altitude e tem sua foz no rio Paranapanema, a 300 metros de altitude, no município de Jardim Olinda, percorrendo uma extensão de 168 Km.

Figura 1- Localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

3.2 ASPECTOS FÍSICOS

A bacia hidrográfica do rio Pirapó é composta pelas seguintes unidades litológicas: basaltos provenientes da Formação Serra Geral, os arenitos das Formações Adamantina, Santo

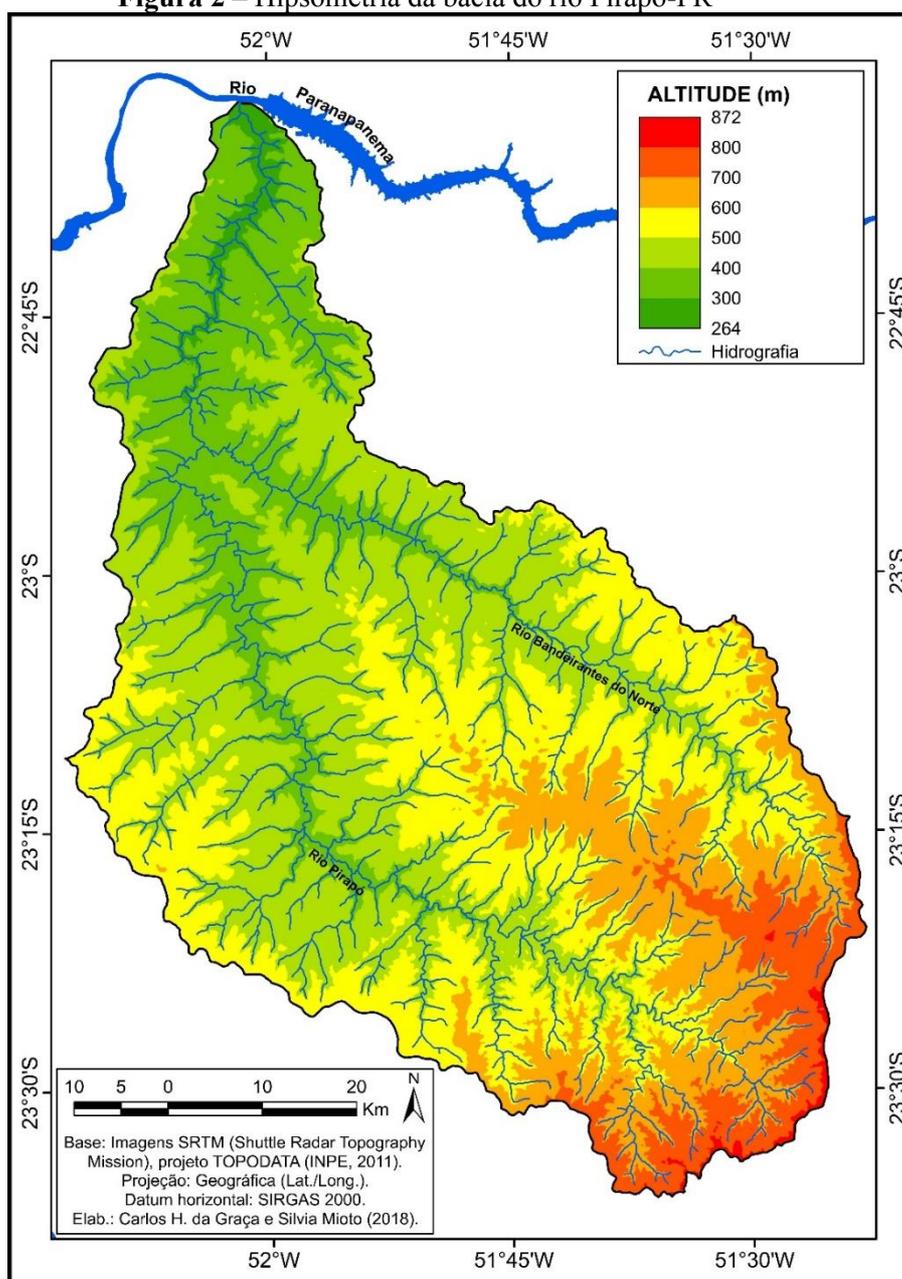
Anastácio e Caiuá, além de sedimentos inconsolidados de deposição fluvial (MINEROPAR, 2001). Os basaltos do Grupo São Bento são predominantes no alto e médio curso da bacia, enquanto as rochas sedimentares das demais formações encontram-se no médio e baixo curso (THOMAZ, 1984).

De acordo com Jabur e Santos (1984), a formação Caiuá que recobre a porção média da bacia é representada por arenitos vermelho-arroxeados finos a médios altamente friáveis, formados durante o cretáceo da era mesozoica. Já a Formação Santo Anastácio encontra-se estratigraficamente situada entre as Formações Caiuá e Adamantina, possuindo exposições mais expressivas a partir das cotas de 510 a 580 metros também predominante no setor leste da bacia e compõe-se de arenitos muito finos a médios, disposta em ambiente de planície aluvial. As rochas sedimentares da Formação Adamantina são formadas por arenitos muito finos a finos, e apresentam estratificação cruzada (MINEROPAR, 2001; ITCG, 2018).

Os tipos de solos encontrados na bacia do rio Pirapó são o resultado das formações litológicas e da influência do relevo. De acordo com a nova classificação da Embrapa (2007), com a atualização do levantamento de reconhecimento de solos do estado do Paraná (EMBRAPA, 1974), os tipos de solos encontrados na área estudada são: os Latossolos Vermelhos de textura argilosa; os Nitossolos Vermelhos e os Neossolos Litólicos, que apresentam textura argilosa e/ou muito argilosa, provenientes da alteração das rochas basálticas da Formação Serra Geral. Os Latossolos e os Argissolos Vermelho de textura média são provenientes das alterações dos arenitos das Formações Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina.

Quanto à hipsometria (Figura 2) a área apresenta a variação de 700 a 872 metros em sua porção montante, enquanto a porção média e inferior possui cotas altimétricas que variam entre 264 e 699 metros. Terassi, Silveira e Graça (2014) com o objetivo de analisar as chuvas com a altitude, setorizaram a bacia hidrográfica do rio Pirapó em Alto Pirapó, correspondendo à porção mais elevada da bacia onde as altitudes variaram de 550 a 900 metros, em Médio Pirapó, compreendendo as altitudes entre 350 a 550 metros e em Baixo Pirapó, com cotas altimétricas inferiores a 350 metros.

Figura 2 – Hipsometria da bacia do rio Pirapó-PR



Segundo a classificação de Köppen (1918), a área correspondente à bacia hidrográfica do rio Pirapó apresenta o clima Cfa subtropical úmido mesotérmico, de forma que os meses mais quentes apresentam temperatura superior a 22°C e os meses mais frios, temperatura inferior a 18°C (CAVIGLIONE *et al.*, 2000). Álvares *et al.* (2013), baseados na classificação climática de Köppen, argumentam que a área de estudo apresenta a característica de transição climática, nas quais predominam os tipos climáticos “Cfa” e “Cfb”, característica também apontada por Fritzsos *et al.* (2011) e IAPAR (2018).

Terassi e Silveira (2013), ao analisarem os dados de precipitação e temperatura da área de estudo por meio do sistema de classificação climática de Köppen (1918) identificaram que

a bacia hidrográfica do Pirapó apresenta, em sua maior parte, a tipologia “Ama”. Segundo os autores, esta tipologia se caracteriza por um clima tropical, com inverno seco, com temperatura no mês mais frio inferior a 18°C, e o mês mais quente acima de 22°C e concentração da precipitação durante os meses de verão; já a tipologia “Cfa” concentra-se nas áreas com altimetria acima de 650 metros na referida bacia. Ainda segundo os pesquisadores, a obtenção de tais tipologias climáticas revela claramente a existência de um quadro de transição climática (do subtropical para o tropical), influência da dinâmica atmosférica da área de estudo.

Neste sentido, vários pesquisadores como Ribeiro (1987), Andriucci, Sant’Anna Neto e Ferreira (2002), Baldo, Dziubate e Galiani (2012) e Terassi (2015) consideram que a variação da precipitação na área correspondente à bacia hidrográfica do rio Pirapó deve-se à dinâmica climática e a orografia, caracterizando sua irregularidade bem como sua distribuição, já que os maiores valores pluviométricos se encontram na porção sudeste e os menores no norte da bacia.

A vegetação natural predominante da área de estudo é caracterizada por Tropicmair (1990) e Roderjan *et al.* (2002) como Floresta Estacional Semidecidual, cuja semidecidualidade é a principal característica fisionômica, que apresenta a perda em parte das folhas de sua vegetação no período de baixa precipitação pluviométrica.

3.3 ASPECTOS HUMANOS

A área estudada está inserida na mesorregião do Norte Central Paranaense, que de acordo com IPARDES (2004) foi colonizada a partir da década de 1940 por meio da rápida expansão da economia cafeeira. Segundo Correia e Steike (2008), a expansão da atividade agrária contribuiu para a redefinição do papel da agricultura no modelo de acumulação de capital voltado à exportação.

Os municípios inseridos na região norte do Paraná, segundo Moro (1995), tiveram desta forma sua colonização e ocupação de terras norteadas por regime de exploração mais comum na região que era o de parceria seguindo pelo do proprietário individual. De acordo com Serra (2001), a Companhia Melhoramentos Norte do Paraná foi a principal iniciadora do processo de ocupação das terras do norte paranaense por meio do loteamento para venda em pequenas parcelas, o que atraiu trabalhadores e propiciou a formação de pequenas e médias propriedades voltadas à produção para o consumo próprio e comercialização.

Entre os elementos físicos que potencializaram a ocupação desta região se destacam a qualidade das terras, o clima favorável, além dos aspectos econômicos, como o crescimento e

desenvolvimento da cultura cafeeira e o processo de industrialização paulista (PADIS, 1981; SERRA, 1992).

Os problemas relacionados à comercialização do café a partir de 1960 pelos produtores teve seu ápice em 1975, onde grande parte das lavouras foi dizimada pela geada. A cultura cafeeira em poucos anos cedeu lugar às lavouras mecanizadas de soja, trigo e milho, que ocuparam prioritariamente o norte do Estado, enquanto o Noroeste passou a ser ocupado por pastagens destinadas, principalmente, para a criação de gado de corte (MORO, 1988; 1995).

Segundo Fajardo (2008), a mecanização da agricultura implicou em novas formas de trabalho, no uso de insumos químicos e biológicos que resultaram em grandes transformações na agropecuária da região norte do estado. Para o autor, ao mesmo tempo que houve um aumento na produtividade e renda agrícola, houve também resultados negativos como a expulsão da mão-de-obra rural para os centros urbanos e/ou outras áreas de fronteira agrícola, além da exclusão dos produtores que não se adaptaram à modernização.

De acordo com os dados do IBGE (2010) e IPARDES (2013) a população correspondente aos municípios que integram a área da bacia hidrográfica do Pirapó totalizam 1.003.065 habitantes, onde centros urbanos acima de 100.000 habitantes são Maringá com 417.010 habitantes; Apucarana com 120.919 habitantes e Araongas com 104.150 habitantes (Tabela 1).

O setor econômico primário predomina em grande parte dos municípios de pequeno porte da área, no qual se caracteriza pela produção de café, lavouras temporárias como soja e milho, principalmente a pecuária (IPARDES, 2020). Já os municípios de médio porte (Tabela 1) apresentam uma economia voltada ao setor secundário (indústrias) e setor terciário (prestação de serviços), com destaque para as cidades de Maringá e Araongas que apresentam uma parcela representativa destes setores da economia (IBGE, 2010; IPARDES, 2020).

Tabela 1 - População e composição do PIB dos municípios inseridos na bacia do rio Pirapó-PR

Município	Demografia	Economia (valores em R\$1.000,00)			
	População	Setor Primário	Setor Secundário	Setor Terciário	PIB
Ângulo	2.859	35.042	4.158	27.464	90.188
Apucarana	120.919	111.920	616.639	1.426.996	2.965.782
Arapongas	104.150	188.460	1.321.168	1.600.358	4.030.758
Astorga	24.698	99.010	83.285	285.250	621.806
Atalaia	3.913	36.884	7.045	38.678	110.926
Cambira	7.236	33.586	41.405	55.397	178.567
Colorado	22.345	69.045	122.424	248.915	583.492
Cruzeiro do Sul	4.563	120.367	5.611	27.195	180.776
Flórida	2.543	14.052	5.456	18.563	56.587
Guaraci	5.227	36.772	9.009	25.950	105.364
Iguaraçu	3.982	44.226	8.765	47.434	134.698
Itaguaí	4.568	37.866	3.481	24.719	92.886
Jaguapitã	12.225	72.545	286.630	241.146	730.209
Jandaia do Sul	20.269	33.150	97.296	304.124	595.010
Jardim Olinda	1.409	16.090	1.699	6.482	36.234
Lobato	4.401	47.627	32.065	54.218	177.037
Mandaguaçu	19.781	82.382	52.405	232.698	505.970
Mandaguari	32.658	149.623	453.406	439.129	1.334.190
Marialva	31.959	118.726	281.769	666.287	1.374.654
Maringá	357.077	88.492	2.954.376	9.369.541	16.121.079
Munhoz de Melo	3.672	42.002	3.327	16.001	84.947
N. Senhora das Graças	3.836	32.360	3.409	14.991	72.089
Nova Esperança	26.615	79.244	96.369	311.451	659.465
Paranacity	10.250	58.450	75.005	106.619	307.027
Paranapoema	2.791	25.514	2.010	13.041	58.973
Pitangueiras	2.814	30.735	2.793	14.251	67.965
Pres. Castelo Branco	4.784	34.026	7.694	36.661	109.470
Rolândia	57.862	200.000	770.593	959.057	2.458.359
Sabáudia	6.096	49.012	84.017	158.227	351.801
Santa Fé	10.432	55.379	19.850	92.734	233.715
Santa Inês	1.818	17.857	3.036	8.491	42.612
Sarandi	82.847	74.854	180.721	684.761	1.417.121
Uniflor	2.466	24.014	2.599	14.270	58.836

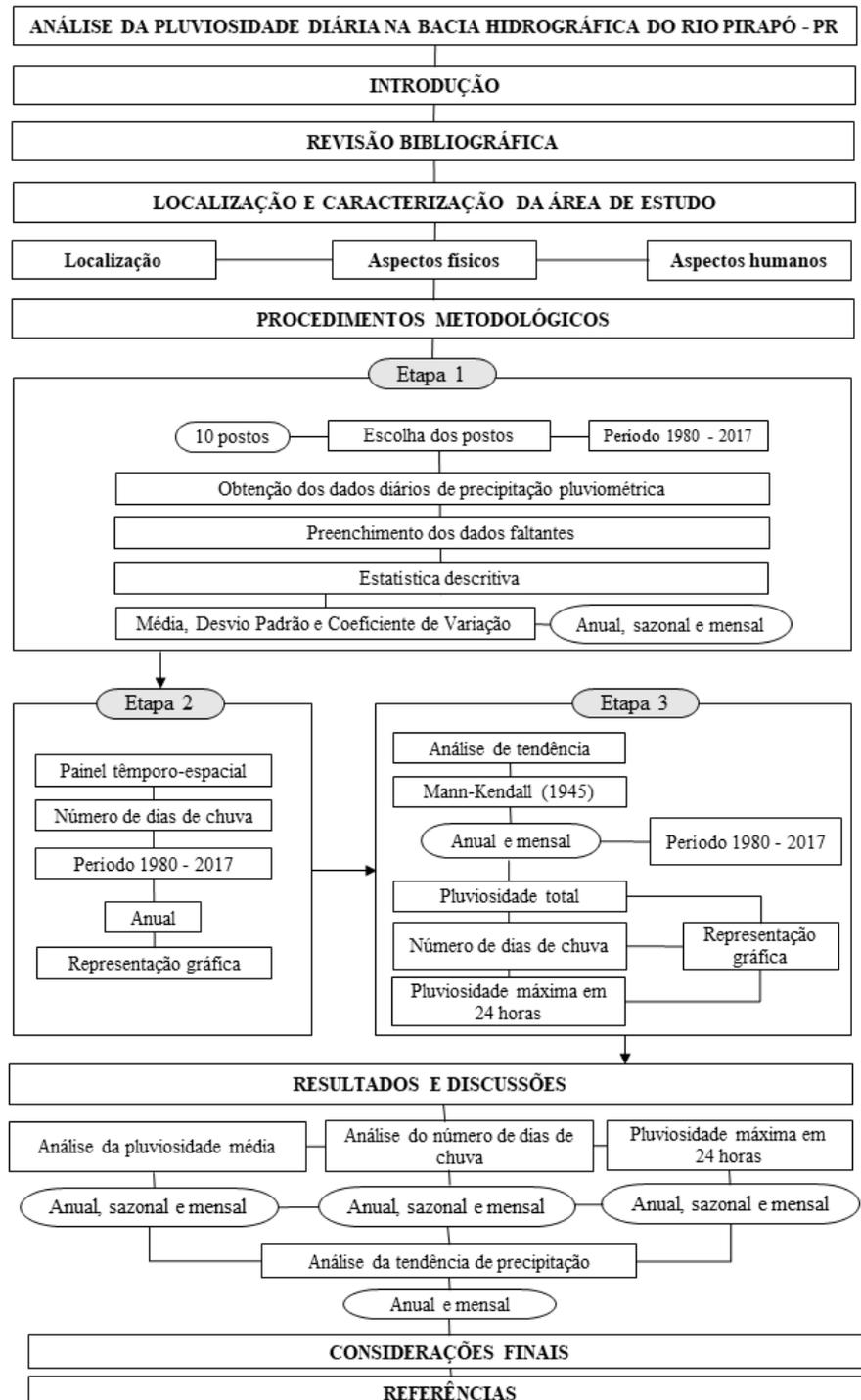
Fonte: IBGE (2010) e IPARDES (2020). Adaptado a partir de Terassi (2015).

4 METODOLOGIA

4.1 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

A estrutura e a sequência do desenvolvimento da presente pesquisa são representadas por meio da Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma teórico-metodológico de apresentação da pesquisa.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

4.1.1 Obtenção de dados, preenchimento de falhas e tratamento estatístico

Foram utilizados dados diários de pluviosidade de dez postos pluviométricos instalados na bacia hidrográfica do rio Pirapó, bem como em seu entorno, com segmento temporal de 1980 a 2017, obtidos junto ao Instituto das Águas do Paraná – Sistema de Informações Hidrológicas - SIH (Tabela 2). A escolha desta série temporal baseia-se na disponibilidade de dados e postos disponíveis, uma vez que vários postos pluviométricos foram desativados.

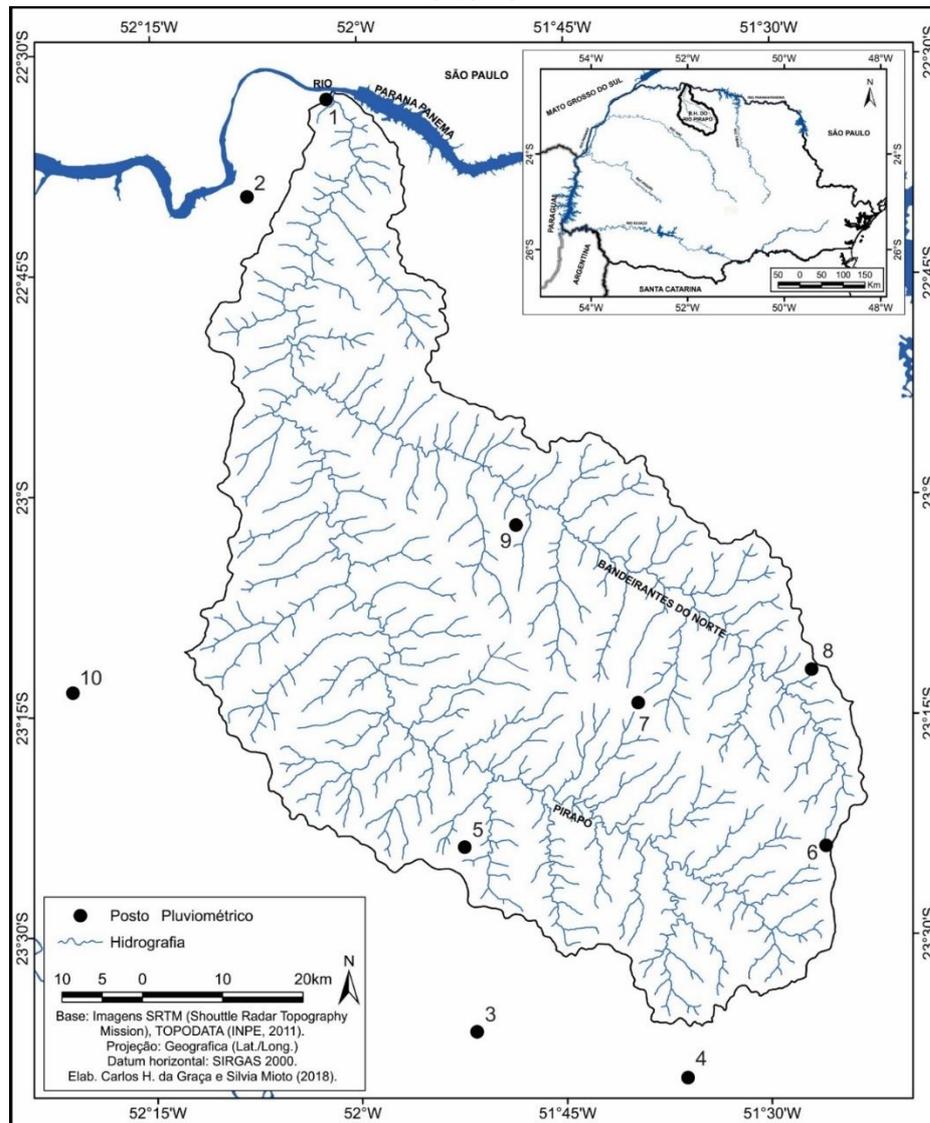
Os dados dos postos localizados no entorno da bacia hidrográfica foram utilizados com o intuito de uma melhor distribuição espacial da precipitação pluviométrica, além da sua importância para o preenchimento de falhas. Os postos pluviométricos estão espacializados na Figura 4.

Tabela 2 - Postos pluviométricos utilizados, com número, código, município, latitude, longitude e altitude na bacia do rio Pirapó-PR

Número no mapa de localização	Código	Posto Pluviométrico	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)
1	2252013	Jardim Olinda	22°33'03''	52°02'11''	318
2	2252019	Paranapoema (Fazenda Guanabara)	22°39'39''	52°07'59''	299
3	2351029	Marialva (São Miguel do Cambuí)	23°36'35''	51°51'36''	372
4	2351043	Cambira (Cruzeiro)	23°39'46''	51°36'09''	601
5	2351045	Maringá (Guaiapó)	23° 24' 00	51°52'26''	584
6	2351048	Arapongas	23° 24'00''	51°25'59''	793
7	2351051	Astorga	23°14'14''	51°39'41''	678
8	2351053	Rolândia (São Martinho)	23°12'00''	51°27'00''	653
9	2351054	Santa Fé (Bairro bom Jesus)	23°06'00''	51°52'00''	538
10	2352039	Nova Esperança (Ivaitinga)	23°13'19''	52°20'59''	497

Fonte: Instituto das Águas – Sistema de Informações Hidrológicas – SIH (2017).

Figura 4 - Localização dos postos pluviométricos inseridos na bacia do rio Pirapó-PR e no seu entorno



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

Para a realização do tratamento estatístico das séries históricas de precipitação dos postos pluviométricos, primeiramente foi verificada a consistência dos dados de cada planilha para cada posto pluviométrico, sendo conferida e uniformizada para, posteriormente, empregar o preenchimento das falhas existentes para a escala mensal com o *Software Office Excel 2016®*.

O preenchimento de falha dos dados faltantes dos postos pluviométricos foi realizado seguindo o método de ponderação regional apresentado por Villela e Mattos (1975). Segundo os autores, este método é muito utilizado para realizar estimativas a partir dos registros pluviométricos de três estações próximas da estação ou posto que apresenta falha nos dados, com características de distribuição espacial e altitudes semelhantes.

Desta forma, a precipitação do posto faltante é determinada pela média ponderada do registro das três estações vizinhas, onde os pesos são as razões entre as precipitações normais anuais (Equação 1):

$$P_X = \frac{\overline{P_X}}{3} \left(\frac{P_A}{\overline{P_A}} + \frac{P_B}{\overline{P_B}} + \frac{P_C}{\overline{P_C}} \right) \quad (1)$$

Onde: P_X : precipitação do posto pluviométrico com dados pluviométricos faltantes; $\overline{P_X}$: precipitação média mensal do posto X;

P_A, P_B, P_C : são as precipitações mensais;

$\overline{P_A}, \overline{P_B}, \overline{P_C}$: são as precipitações médias mensais destes mesmos postos.

Após a etapa de preenchimento de falhas, foram empregadas técnicas da estatística descritiva para organizar, sintetizar e descrever as características dos dados pluviométricos. Segundo Reis e Reis (2002) a estatística descritiva compreende à fase inicial dos estudos em relação aos dados apanhados. Desta forma, foram aplicados os parâmetros de medidas de tendência central, como o cálculo da média, e medidas de variabilidade como desvio padrão, coeficiente de variação e valores máximos para a pluviosidade média, número de dias com chuva e pluviosidade máxima em 24 horas, para elaborar, posteriormente, mapas, gráficos e tabelas nas escalas anual, sazonal e mensal por meio do *Software Excel 2016*®.

Para a elaboração dos mapas de distribuição da precipitação média, número de dias de chuva e pluviosidade máxima diária foi utilizado o software Arcgis (ArcMap) versão 10.4.1 (Environmental Systems Research Institute) e editado no sistema de Projeção geográfica e Datum horizontal (SIRGAS 2000). A espacialização da pluviosidade foi realizada por meio da geração de um banco de dados e interpolação pelo método Krigagem Ordinária, considerado adequado para a espacialização dos fenômenos geográficos, especialmente os climáticos (CARVALHO; ASSAD, 2005; MONTEBELLER *et al.*, 2007; SILVA; SOUSA; KAYANO, 2010).

Para a escala anual verificaram-se os valores médios para a precipitação pluviométrica, número de dias de chuva e precipitação máxima em 24 horas, além da identificação dos anos, com maiores e menores valores em relação à média. A partir dos dados obtidos foram gerados mapas e gráficos com o intuito de facilitar a análise espacial. Nesta escala os dados foram

analisados considerando os efeitos dos eventos El Niño e La Niña, conforme foi estabelecido por Golden Gate Weather Service (2020), como pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 - Anos e intensidade de El Niño e La Niña baseado no Índice de Niño Oceânico (ONI)

El Niño				La Niña		
Fraco	Moderado	Forte	Muito Forte	Fraco	Moderado	Forte
1952-53	1951-52	1957-58	1982-83	1954-55	1955-56	1973-74
1953-54	1963-64	1965-66	1997-98	1964-65	1970-71	1975-76
1958-59	1968-69	1972-73	2015-16	1971-72	1995-96	1988-89
1969-70	1986-87	1987-88		1974-75	2011-12	1998-99
1976-77	1994-95	1991-92		1983-84		1999-00
1977-78	2002-03			1984-85		2007-08
1979-80	2009-10			2000-01		2010-11
2004-05				2005-06		
2006-07				2008-09		
2014-15				2016-17		
2018-19				2017-18		

Fonte: Golden Gate Weather Service. Disponível em: <<https://ggweather.com/enso/oni.htm>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

O ano civil foi utilizado para a determinação e análise da precipitação do período sazonal da pluviosidade média, número de dias de chuva e pluviosidade máxima em 24 horas. Desta forma, o verão compreende a soma dos valores referentes aos meses de janeiro, fevereiro e março; o outono, por sua vez, corresponde aos meses de abril, maio e junho; o inverno abrange os meses de julho, agosto e setembro e a primavera engloba os meses de outubro, novembro e dezembro. Posteriormente, foram elaborados os gráficos e mapas sazonais.

A partir das médias pluviométricas mensais da série de 1980 a 2017, os meses de janeiro a março foram elencados para representarem os meses mais chuvosos, ao passo que os meses de abril a setembro com menores valores médios, foram utilizados para demonstrar os menores valores da pluviosidade média, número de dias de chuva e pluviosidade máxima em 24 horas na escala mensal. Os cálculos, procedimentos estatísticos e gráficos mensais foram elaborados por meio do *Software Excel 2016®* e a representação espacial da pluviosidade foi realizada com o emprego do programa *Arcgis (Arcmap)*.

4.1.2 Elaboração do painel espaço-temporal com base na fórmula de Sturges

Com o intuito de verificar a variação temporal do número de dias de chuva anual para a bacia do rio Pirapó procedeu-se a elaboração de um painel espaço-temporal por meio da aplicação da fórmula de Sturges. Segundo Zandonadi (2013), por meio da classificação de intervalos, a fórmula de Sturges sintetiza graficamente um conjunto de informações ou dados que se diferenciam um do outro por meio de valores específicos e tonalidades de cor, o que facilita a visualização e interpretação das informações.

Inicialmente foi realizado o cálculo para estabelecer a amplitude dos dados anuais do número de dias de chuva, ou seja, estabelecer a diferença entre o maior e o menor valor da série de dados por meio da Equação 2:

$$AT = Máx - Mín \quad (2)$$

Em que: AT se refere à amplitude total do número de dias com chuva; $Máx$ ao maior valor e $Mín$ o menor valor do número de dias de chuva da série histórica.

Posteriormente à identificação da amplitude total, foi aplicada a fórmula de Sturges para estabelecer o número de classes de dias com chuva na série histórica de 1980 a 2017 por meio da expressão 3:

$$K = 1 + 3,322 \cdot \text{Log} . n \quad (3)$$

Onde: K representa o número de classes; n é o número de observações, ou seja, o número de anos da série histórica e Log o logaritmo para a base 10.

Após a definição do número das classes na série histórica de 1980 a 2017 foi calculada a amplitude dos intervalos, ou melhor, a diferença entre o maior e menor valor entre as classes conforme Sturges (1926), como demonstra a equação 4:

$$h = \frac{AT}{K} \quad (4)$$

Em que: h compreende a amplitude dos intervalos das classes; AT corresponde à amplitude total dos dados da série de 1980 a 2017 e K o número de classes.

Finalizada esta etapa de classificação, foi realizado o ajuste dos valores dos intervalos em cada classe. Assim, as classes do número de dias de chuvas na escala anual foram representadas numericamente e receberam cores para melhorar a representação e facilitar a visualização, conforme demonstra o Quadro 2.

Quadro 2 - Intervalos de classe do número de dias de chuva anual na bacia do rio Pirapó-PR

Classes	Dias de chuva
1	44-57
2	58-70
3	71-83
4	84-96
5	97-109
6	110-122
7	123-135
8	136-148
9	149-161
10	162-174

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A partir da identificação dos intervalos de classes foi elaborado o painel espaço-temporal anual organizado de acordo com a variação da altitude dos postos localizados na área da bacia.

Foram gerados gráficos de frequência absoluta para cada posto pluviométrico com a finalidade de verificar o número de ocorrência dos dias com chuva e a sua localização na bacia hidrográfica.

Desta forma, procurou-se identificar o padrão de distribuição da precipitação anual e compreender a interação entre o relevo e os sistemas atmosféricos, como também a variação na mudança dos números de dias com chuva entre um posto e outro.

4.1.3 Análise de tendência

As mudanças climáticas globais, suas causas e consequências têm ganhado cada vez mais importância no cenário mundial, uma vez que prevê a mudança no padrão de distribuição e volume da precipitação para várias áreas do planeta. Desta forma, a identificação de tendências tem sido amplamente utilizada nos estudos climatológicos, principalmente para a

compreensão da precipitação e na ocorrência de eventos extremos e seus respectivos impactos na sociedade (PINHEIRO, 2016).

Com o intuito de caracterizar o padrão das séries anuais e mensais da pluviosidade média, número de dias com chuva e pluviosidade máxima em 24 horas, foi realizada a princípio uma análise descritiva dos dados diários de pluviosidade para posteriormente elaborar gráficos de linhas dos valores médios.

Os gráficos gerados apresentam os valores da pluviosidade média, número de dias com chuva e pluviosidade máxima em 24 horas nas escalas anual e mensal no período de 1980 a 2017 ordenadamente, sendo ligados por uma única linha. A linha de tendência foi acrescentada ao gráfico, sendo obtida por meio do ajuste de um modelo de regressão linear simples entre a variável de interesse e o tempo, sendo expressa pela equação 5:

$$\hat{Y} = a + bX \quad (5)$$

Em que: \hat{Y} representa o valor estimado da variável de interesse, X o tempo e a e b o intercepto e coeficiente angular da reta, ambos estimados pelo modelo de regressão ajustado pelo método de mínimos quadrados ordinários.

Após esta etapa, foi utilizado o teste de Mann-Kendall (1945), além da aplicação do teste de Mann-Kendall Sazonal (HIRSCH, 1991) no caso das séries mensais para verificar a existência de tendência nas séries anuais e mensais do número de dias de chuva, da precipitação total e da precipitação máxima.

Segundo Pinheiro e Martin-Vide (2017), o teste de Mann-Kendall é amplamente utilizado pela comunidade científica para verificar possíveis tendências, tanto positiva, quanto negativa, ou mesmo nula para um elemento climático, neste caso, a pluviosidade, de uma determinada série histórica.

O teste não paramétrico de Mann-Kendall avalia a presença de tendência em uma série temporal, seja linear ou não linear (MACHIWAL, 2012). Seja a série x_t , com $t = 1, \dots, n$, a estatística S de Mann-Kendall representa o número de diferenças positivas menos o número de diferenças negativas de todas as comparações consideradas, e é calculada a partir da expressão 6:

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{k=j+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k),$$

(6)

Em que cada observação $sgn(x_j - x_k)$ é definido da seguinte forma:

$$\begin{aligned} sgn(x_j - x_k) &= 1, & \text{se } x_j - x_k > 0 \\ sgn(x_j - x_k) &= 0, & \text{se } x_j - x_k = 0 \\ sgn(x_j - x_k) &= -1, & \text{se } x_j - x_k < 0 \end{aligned}$$

E sua respectiva variância, sendo g o número de empates e e_i o número de observações no i -ésimo grupo empatado, representados pela expressão 7:

$$var(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^g e_i(e_i-1)(2e_i+5) \right] \quad (7)$$

Para $n \rightarrow \infty$, S é normalmente distribuída. Assim, a estatística do teste Z pode ser escrita pela equação 8:

$$Z = \frac{S + m}{\sqrt{var(S)}}, \quad (8)$$

Com $m = 1$ se $S < 0$ ou $m = -1$ se $S > 0$. Se o valor de S é igual a zero, a estatística Z também é tomada como zero. Os valores absolutos obtidos para Z são comparados com os valores críticos obtidos da distribuição normal padrão.

A estatística τ de Mann-Kendall, cujo sinal indica se a tendência é crescente ($\tau > 0$) ou decrescente ($\tau < 0$) foi obtida pela expressão 9:

$$\tau = \frac{2S}{n(n-1)}. \quad (9)$$

O teste Mann-Kendall Sazonal, que avalia a presença de tendência em uma série considerando a presença de sazonalidade, foi proposto por Hirsch, Slack e Smith (1982), sendo que a estatística S_i ($i = 1, \dots, 12$) é calculada similarmente a estatística S da versão original do teste para cada mês. Assim, a estatística S' da versão sazonal é dada pela equação 10:

$$S' = \sum_{i=1}^{12} S_i. \quad (10)$$

Levando em conta a independência entre os meses, a variância de S' também é dada pelo somatório das variâncias calculadas para cada mês, isto é, $var(S') = \sum_{i=1}^{12} var(S_i)$, enquanto a estatística do teste é obtida do mesmo modo, considerando os valores de S' e $var(S')$. Já a estatística τ' de Mann-Kendall referente ao teste sazonal é dada pela média dos valores de τ_i , calculados para cada mês, conforme apresenta a equação 11:

$$\tau' = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \tau_i. \quad (11)$$

Para a análise do teste Mann-Kendall mensal, as séries anuais foram divididas por todos os meses, para cada posto, ou seja, analisou-se 12 séries de dados mensais (janeiro, fevereiro, março, abril, maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro) correspondente aos 37 anos da série histórica de 1980 a 2017. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do ambiente estatístico R (*Development Core Team*, 2016), versão 3.3.1.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 PRECIPITAÇÃO MÉDIA

5.1.1 Análise da pluviosidade média anual

Ao investigar um elemento climático como a pluviosidade, deve-se levar em conta a interação entre os sistemas de circulação atmosférica e a singularidade da área, como o relevo e a localização geográfica. Assim, busca-se neste tópico discutir a dinâmica e a distribuição da pluviosidade média na área da bacia hidrográfica do rio Pirapó.

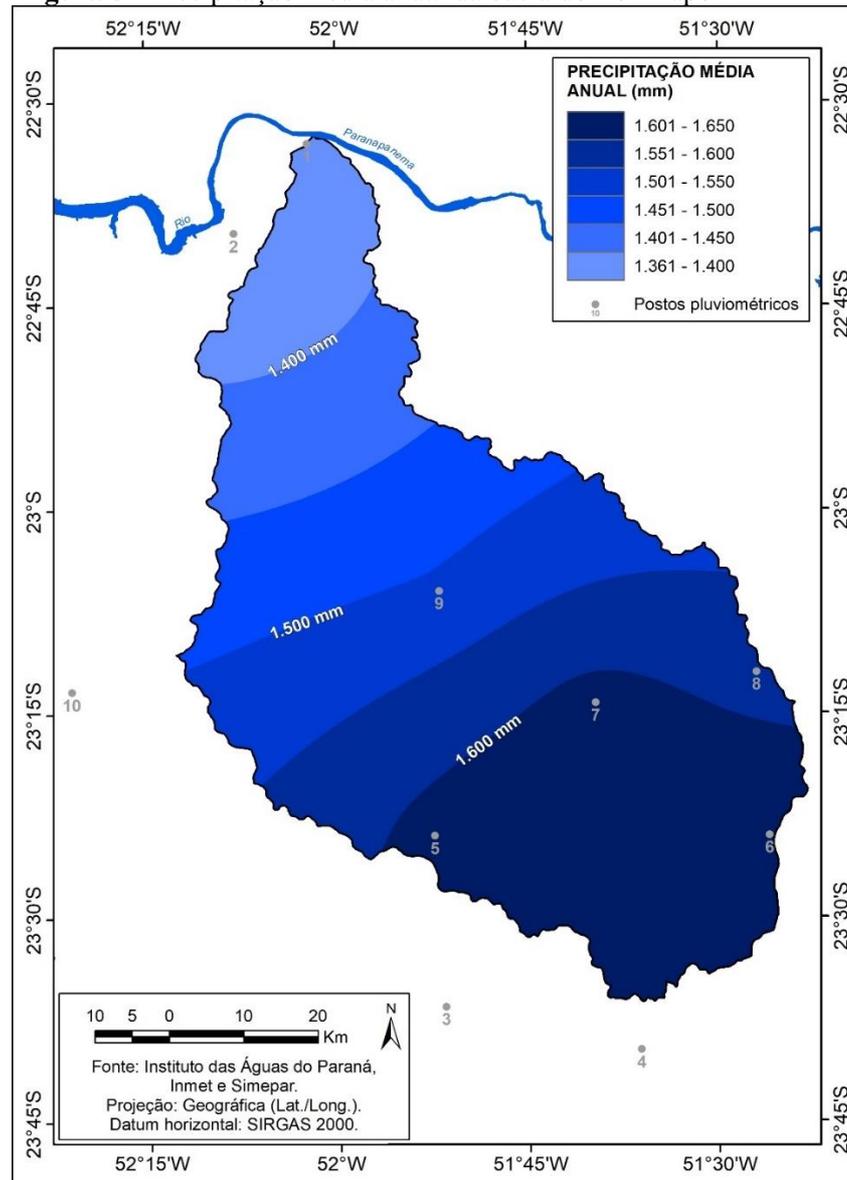
Embora Nimer (1989), destaque que a pluviometria da região Sul do Brasil é caracterizada pela sua homogeneidade, ao analisá-la anualmente o autor constatou que os valores anuais decrescem sensivelmente na porção que compreende o norte do estado do Paraná.

Esta variabilidade nos valores anuais de pluviosidade para Reboita *et al.* (2012) é resultante da atuação de vários sistemas meteorológicos na variação da precipitação da região Sul do Brasil, destacando-se os sistemas frontais, as linhas de instabilidade, os complexos convectivos de mesoescala, os ciclones, os sistemas convectivos alongados persistentes, os vórtices ciclônicos em altos níveis e as circulações de brisa.

De acordo com Nitsche *et al.* (2019), a precipitação média anual no estado do Paraná possui valores superiores a 1.800 mm na sua porção mais ao sul, enquanto ao norte as médias anuais oscilam entre 1.200 mm e 1.800 mm.

A média anual da precipitação pluviométrica para a bacia do rio Pirapó é de 1.555,8 mm, com padrão de distribuição caracterizado pelo aumento gradativo dos valores médios do baixo para o alto curso da bacia (Figura 5). Ribeiro (1987) verificou que os valores médios anuais de pluviosidade da área de estudo oscilaram entre 1.400 e 1.700 mm com a mesma característica de distribuição.

Figura 5 - Precipitação média anual da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

Ao analisar o Quadro 2, é possível perceber que os valores médios de precipitação anual estão relacionados à variação do relevo na bacia hidrográfica. A área ao norte da bacia com menores altitudes, onde se encontram os postos 1 (Jardim Olinda) com 318 metros e 2 (Paranapoema) com 299 metros de altitude apresentam médias pluviométricas anuais inferiores aos demais postos. Os postos 9 (Santa Fé) com 538 metros de altitude e 10 (Nova Esperança) com 497 metros inseridos na porção central da área de estudo demonstraram valores médios anuais próximos à média histórica, com 1.508,9 mm e 1.536,1 mm, respectivamente.

Em contrapartida, os postos situados ao sul da bacia onde as cotas altimétricas são superiores 580 metros, demonstram valores médios anuais superiores à média histórica de 1.555,8 mm, como o posto 3 (Marialva) com 1.645,1 mm, o posto 4 (Cambira) com 1.666,1

mm, o posto 5 (Maringá) com 1.616,7 mm, o posto 6 (Arapongas) com 1.649,8 mm, o posto 7 (Astorga) com 1.619,4 mm e o posto 8 (Rolândia) com 1.573,4 mm. Entre estes postos, apenas o posto 3 (Marialva) possui a menor altitude, cerca de 372 metros (Quadro 3).

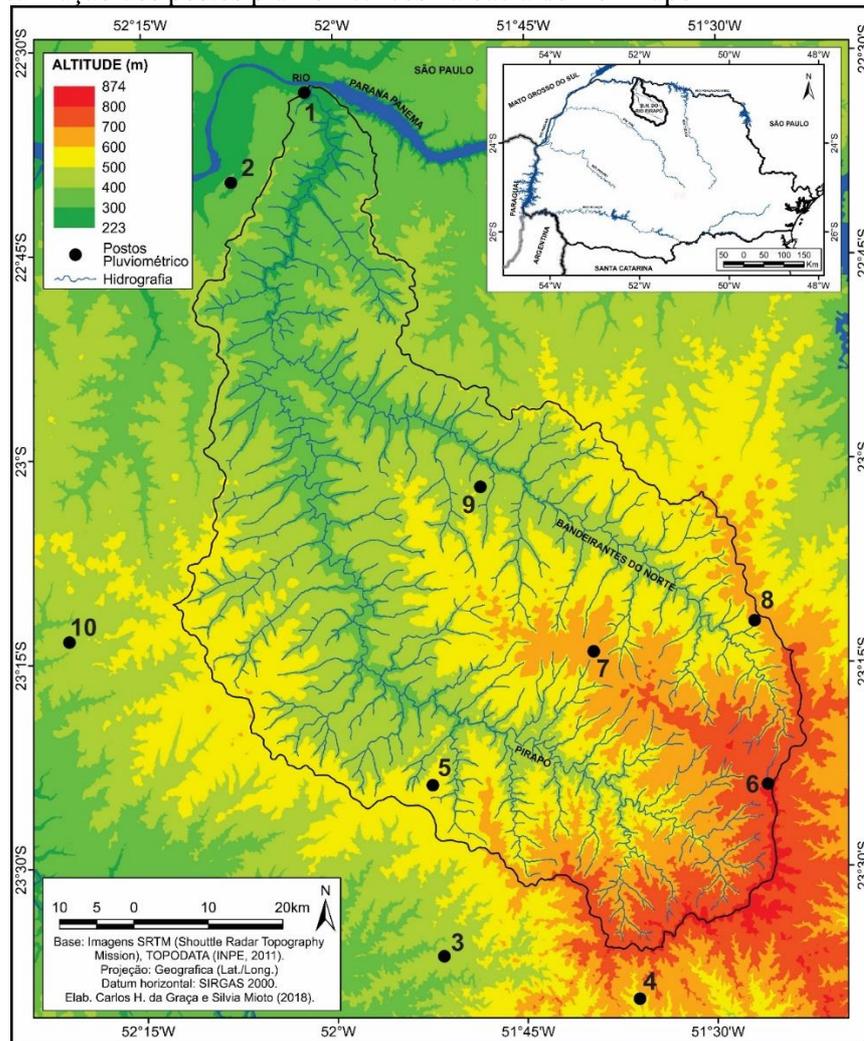
Quadro 3 - Altitude e média pluviométrica anual dos postos da bacia do rio Pirapó-PR

Postos	Altitude (metros)	Média de pluviosidade anual (mm)
1	318	1391,9
2	299	1351,1
3	372	1645,1
4	601	1666,1
5	584	1616,7
6	793	1649,8
7	678	1619,4
8	653	1573,4
9	538	1508,9
10	497	1536,1
Média histórica da área de estudo		1.555,8

A cor azul representa os postos pluviométricos com as cotas altimétricas mais elevadas em comparação com as maiores médias pluviométricas.

Os resultados denotam que a variação espacial da pluviosidade média anual apresenta uma relação conjunta entre a oscilação do relevo e a atuação dos sistemas atmosféricos em toda a bacia hidrográfica, confirmando os apontamentos de Ribeiro (1987) e Nimer (1989). A diferença pluviométrica entre os postos com maiores cotas altimétricas (postos 3, 4, 5, 6 7 e 8) em relação aos postos localizados nas áreas de menor altitude (posto 1 e 2), pode estar relacionada a uma maior atuação dos sistemas frontais associado ao relevo mais acentuado no alto curso da bacia do que na área correspondente ao baixo curso, como destaca Nimer (1989) (Figura 6).

Figura 6 – Localização dos postos pluviométricos na bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

Ribeiro (1987), ao pesquisar as condições termo pluviométricas para a área entre 1975 e 1984, já enfatizava que a porção com maiores altitudes apresentavam valores médios anuais concentrados em relação às áreas de menores altitudes.

Posteriormente, os estudos de Baldo, Dziubate e Galiani (2012), Terassi (2012, 2015) e Mioto (2017) encontraram valores semelhantes que confirmam os resultados obtidos por Ribeiro (1987). É importante observar que todos os autores citados, mesmo que utilizando séries históricas diferentes oriundas de diversas fontes de dados, enfatizam que a orografia e a localização geográfica da bacia, que se encontra numa zona de transição climática, são fatores influenciadores na distribuição das chuvas.

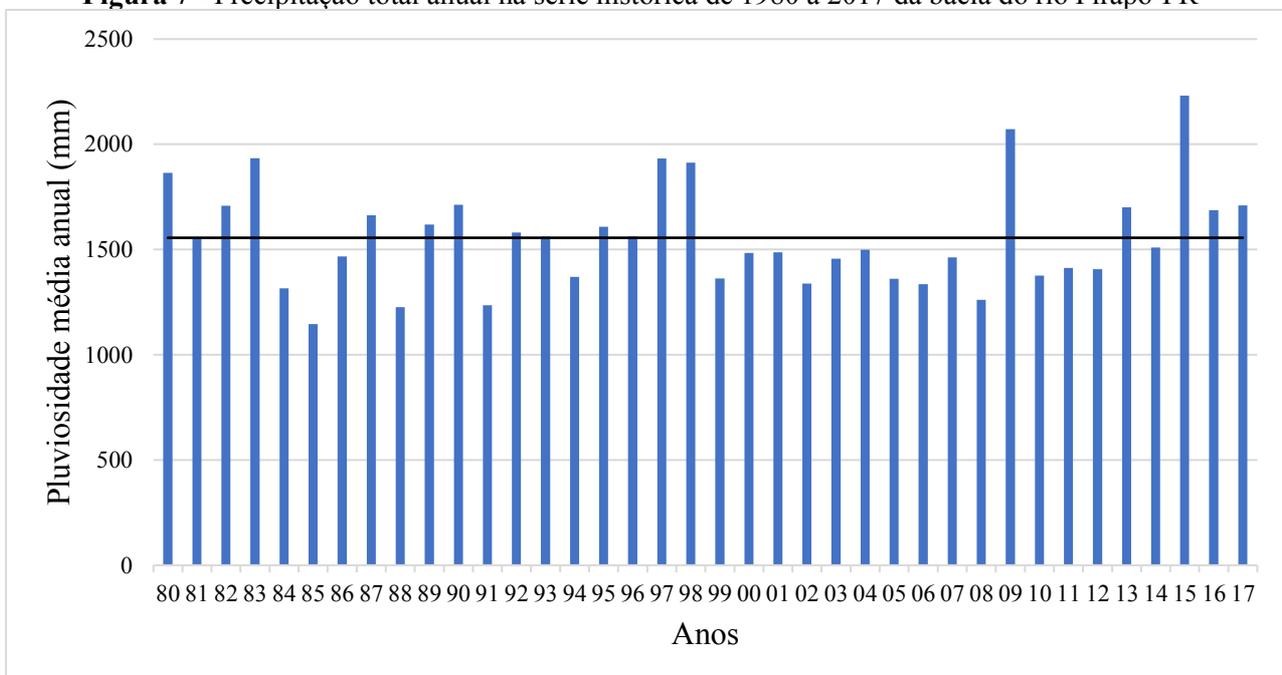
Ao analisar os valores médios de precipitação pluviométrica para toda a série histórica entre os anos de 1980 e 2017 (Figura 7), pode-se notar que de 1980 a 1998 há um maior número de anos com valores acima da média de 1.555,8 mm, destacando-se os anos de 1980, 1982, 1983, 1987, 1989, 1990, 1992, 1995, 1996, 1997 e 1998. Esta característica é observada também

nos anos de 2009, 2013, 2015, 2016 e 2017 quando ocorre o aumento dos valores em relação à média, com destaque para os anos de 2009 e 2015. Por outro lado, os anos que obtiveram as menores médias anuais foram 1985, 1988, 1991 e 2008.

O destaque de vários anos com valores acima da média pode também estar relacionado a fenômenos de escala global, como o El Niño e La Niña, provocando oscilações interanuais de chuva, como aponta Grimm (2009).

Galvani, Pereira e Klosowski (1998), ao analisarem dados de precipitação de Maringá entre 1976 e 1996, consideram que qualquer anomalia de temperatura e pressão ocorrida nas águas do Pacífico pode ter efeitos manifestados no norte do Paraná.

Figura 7 - Precipitação total anual na série histórica de 1980 a 2017 da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

De acordo com Golden Gate Weather Service (2020), é possível observar que os anos com valores de pluviosidade acima da média podem estar relacionados com o registro do fenômeno El Niño. Os anos de 1982, 1983, 1997, 1998, 2015 e 2016 foram considerados como “muito forte”, sendo que os anos de 1983 e 2015 apresentaram o maior valor pluviométrico anual para a área de estudo com 1.934,7 mm e 2.231,9 mm, respectivamente. Os anos de 1987 e 1992 foram classificados como “forte”, 1995 e 2009 como El Niño “moderado” e 1980 como “fraco”. Já os anos de 1985, 1988 e 2008 foram registrados com o fenômeno La Niña e em 1991 com El Niño “forte”. O ano de 1985 se destacou com menor valor pluviométrico de toda a série histórica, com 1.145,8 mm.

Segundo Climanálise (2020), o fenômeno El Niño no ano de 2015 atingiu maior magnitude (categoria muito forte) com valores que excederam 4°C na parte central e leste do Pacífico Equatorial, ocasionando um aumento expressivo da pluviosidade na região Sul, principalmente no norte do Paraná, com totais diários acima de 110 mm em algumas localidades, como Londrina e Campo Mourão, por exemplo.

Pereira, Reboita e Ambrizzi (2017) ao analisarem os impactos do El Niño em 2015, principalmente nos meses de outubro, novembro e dezembro, salientam que houveram anomalias de precipitação em torno de 6 mm diários acima da média climatológica no Sul do Brasil, sendo resultantes da associação entre a Temperatura Superficial Marinha (TSM) e o deslocamento do Jato de Baixos Níveis (JBN). De acordo com os autores, a associação entre a anomalia da TSM e o deslocamento do JBN contribuiu para os maiores totais de precipitação no ano de 2015, se comparado com os anos de 1982 e 1997.

Verifica-se que os trabalhos anteriormente citados avaliam a influência do El Niño de forma muito ampla, pois abrangem a América do Sul e a região Sul do Brasil e especificam apenas as localidades que obtiveram maior destaque. Ferreira *et al.* (2017) por exemplo, analisaram os dados pluviométricos do município de Londrina durante os anos de 2015 e 2016 para caracterizar a influência do El Niño em todo o norte do Paraná. Segundo os autores, durante estes anos houve um aumento de 1.319,0 mm na pluviosidade anual para esta região, demonstrando a significativa influência desse fenômeno na variabilidade da pluviosidade.

Terassi *et al.* (2018) avaliaram de forma mais pontual a associação entre os eventos de El Niño e os totais anuais de algumas localidades do norte do Paraná entre 1976 e 2015 pela técnica dos quantis. Concluíram que Maringá, localizada ao sul da bacia do rio Pirapó, apresentou valores elevados de pluviosidade com 2.547,3 mm em 2015, representando 99% dos quantis.

5.1.2 Análise da pluviosidade média sazonal

Devido à sua localização mais ao norte da região Sul, o estado do Paraná possui um regime de pluviosidade controlado pelas incursões de frentes frias do sul e pelas linhas de instabilidade do norte do Brasil ao longo das estações do ano (NIMER, 1989). Esta interação desses sistemas resulta em diferenças expressivas na pluviosidade sazonal, mesmo que os valores médios anuais oscilem entre 1.200 mm e 1.800 mm (NITSCHKE *et al.*, 2019).

De acordo com Grimm (2009), o maior aquecimento da superfície e o transporte de umidade oriunda da região equatorial do Brasil favorecem a concentração de precipitação

durante o verão na região Sudeste e Sul do Brasil. A autora salienta que grande parte do Paraná apresenta esta característica unimodal, indicando regime subtropical de monções de verão.

A estação do verão se destacou em relação às demais estações com média pluviométrica de 524,9 mm (Figura 8 A). Os maiores valores de pluviosidade em relação à média concentraram-se nos postos localizados ao sul da bacia hidrográfica, sendo o maior valor registrado pelo posto 6 (Arapongas) com 570,7 mm, seguido pelo posto 4 (Cambira) com 554,1 mm, posto 8 (Rolândia) com 545,4 mm, posto 7 (Astorga) com 542,6 mm, posto 5 (Maringá) com 540,9 mm e o posto 3 (Marialva) com 531,8 mm (Figura 8 A).

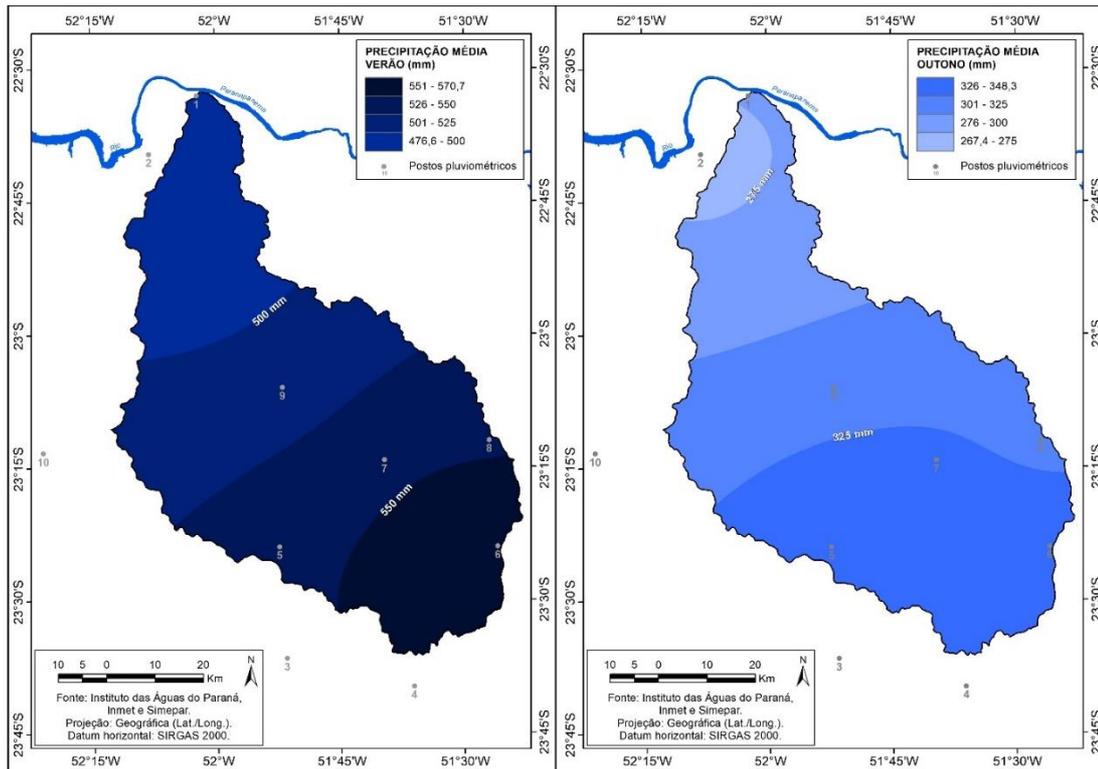
Os postos que apresentaram valores inferiores à média nesta estação na porção central da área de estudo, sendo o posto 9 (Santa Fé) e 10 (Nova Esperança) com 511,0 mm e 494,5 mm, respectivamente. Já os postos 1 (Jardim Olinda) e 2 (Paranapoema), inseridos ao norte da bacia obtiveram 482,7 mm e 475,0 mm (Figura 8 A). Segundo Nitsche *et al.* (2019) a média pluviométrica durante o verão é de 500 a 600 mm para a área de estudo, o que está em conformidade com os resultados apresentados na presente pesquisa.

Apesar de vários autores apontarem um contraste pluviométrico entre o verão e inverno, definido como o regime de monção na região Sul (NIMER, 1989; GARCIA, 2006; GRIMM, 2009; GAN *et al.*, 2016), verifica-se que nas estações de transição, primavera e outono, há a ocorrência de sistemas atmosféricos importantes, como os complexos convectivos de mesoescala (CCM) (REBOITA *et al.*, 2012).

O período referente ao outono apresenta valores de pluviosidade média sazonal inferiores em relação ao verão e a primavera, e mais elevado do que o inverno, porém com o mesmo padrão de distribuição espacial das chuvas dos postos. Com média pluviométrica de 326,9 mm, observa-se que os postos ao sul da bacia se destacaram com valores mais representativos, em que o posto 3 (Marialva) obteve média de 370,1 mm, o posto 4 (Cambira) 379,2 mm, o posto 5 (Maringá) com 344,2 mm, o posto 6 (Arapongas) 348,4 mm e 7 (Astorga) com 332,5 mm (Figura 8 B).

Os postos 9 (Santa Fé) e 10 (Nova Esperança), localizados na porção central, apresentaram valores abaixo da média com 314,5 mm e 324,1 mm, respectivamente. Os postos 1 (Jardim Olinda) e 2 (Paranapoema) ao norte da área de estudo também demonstraram valores inferiores à média com 277,1 mm e 264,3 mm (Figura 8 B). Destaca-se que os valores médios para o outono variam entre 300 e 400 mm (NITSCHKE *et al.*, 2019).

Figura 8 – Distribuição espacial da pluviosidade média (mm) no verão (A) e outono(B) da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

De acordo com Monteiro (1968) e Nimer (1989), a estação do inverno no norte do Paraná, fortemente marcada pela seca, é decorrente da diminuição da atuação das correntes perturbadas de oeste e das invasões da frente polar. Andrade (2005), ao analisar a frequência das frentes frias na região sul da América do Sul através do Boletim Climanálise entre 1992 e 2002, verificou que há maior concentração destes sistemas na latitude 30°S do que em relação à 20°s durante o inverno.

Grimm (2009) aponta que durante o inverno a maior convergência de umidade se desloca mais para o sul, implicando elevados máximos de precipitação sobre o estado do Rio Grande do Sul pela atuação incisiva dos sistemas frontais e a formação de ciclogênese. Para a autora, a ciclogênese influencia na geração de chuvas na região Sul e pode atuar de forma significativa tanto no inverno quanto na primavera.

O inverno configura-se como a estação mais seca para a área de estudo (Figura 9 A). Esta estação obteve a média de 238,0 mm, a menor em relação às demais estações. Os postos que se destacaram com valores superiores à média foram: o posto 3 (Marialva) com 264,1 mm, 4 (Cambira) com 278,2 mm, 5 (Maringá) 243,5 mm, 6 (Arapongas) 257,2 mm, 7 (Astorga) com 248,8 mm, todos inseridos na porção sul e 10 (Nova Esperança) com 243,2 mm, localizado na porção central da área de estudo.

O posto 9 (Santa Fé) na porção central obteve média de 225,9 mm e os postos 1 (Jardim Olinda) e 2 (Paranapoema) ao norte da bacia, apresentaram valores abaixo da média histórica para esta estação com 194,8 mm e 202,1 mm, respectivamente (Figura 9 A). Os resultados confirmam os apontamentos de Nitsche *et al.* (2019), onde indicam que na porção ao norte do Paraná a média da pluviosidade sazonal é de até 200 mm e a porção mais ao sul de até 300 mm.

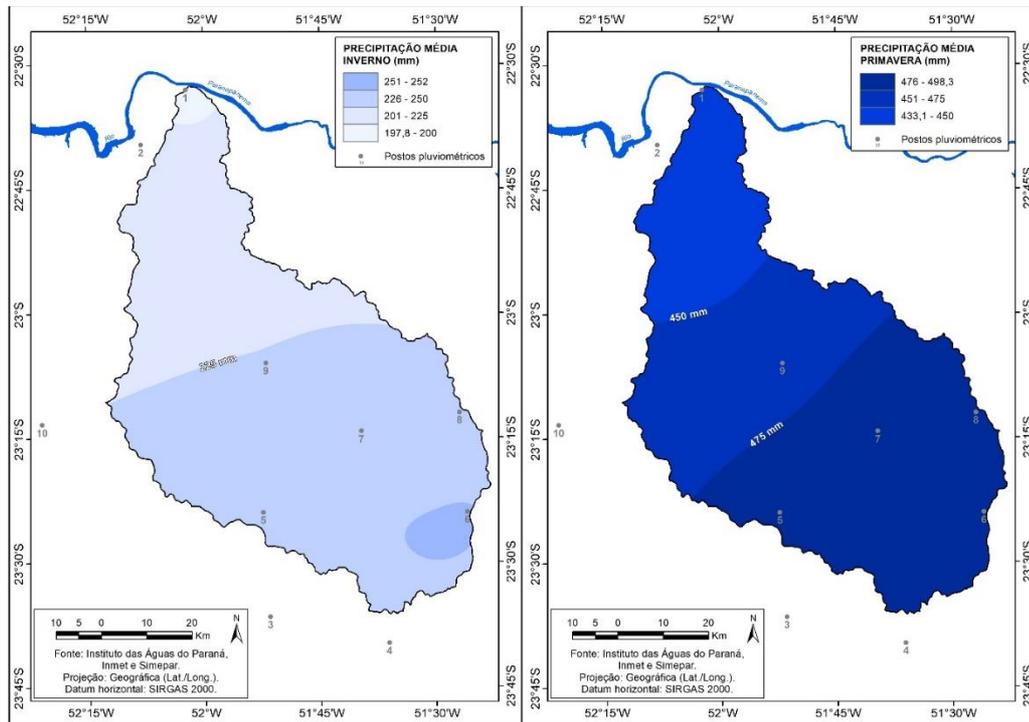
A primavera (Figura 9 B) apresentou valores de pluviosidade aproximados ao do verão, com média de 474,3 mm. Os que abrangem a parte sul da bacia demonstraram valores superiores à média, onde o posto 3 (Marialva) apresentou 483,3 mm, 4 (Cambira) 479,3 mm, 5 (Maringá) 488,1 mm, 6 (Arapongas) 496,3 mm, 7 (Astorga) 495,6 mm, 8 (Rolândia) 496,8 mm e 10 (Nova Esperança) com 474,4 mm.

Os postos 1 (Jardim Olinda), 2 (Paranapoema) e 9 (Santa Fé) na porção central e norte apresentaram valores abaixo da média com 437,3 mm, 431,5 mm e 460,6 mm, respectivamente para esta estação. Nitsche *et al.* (2019) observou que os valores médios nestas porções da bacia oscilaram entre 300 e 400 mm, já a porção mais ao sul as médias estão acima de 400 mm.

Barbieri (2007), por meio de dados diários de precipitação entre 1981 e 1996 observou que a primavera é a estação que apresenta valores mais significativos de pluviosidade depois do verão na região Sul do Brasil. Segundo o autor, tais valores podem estar relacionados à passagem de frentes frias e com a atuação dos complexos convectivos de mesoescala (CCMs) que se formam nesta época do ano.

Grimm (2009) e Sakamoto (2009) ressaltam que os complexos convectivos de mesoescala (CCM) são responsáveis por grande parte da precipitação total na primavera e no outono e que a sua intensidade está ligada à mudança sazonal dos jatos de altos níveis (JAN) e os jatos de baixos níveis (JBN) a leste dos Andes.

Figura 9 – Distribuição espacial da pluviosidade média (mm) no inverno e primavera da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

Percebe-se a partir dos resultados expostos que a dinâmica atmosférica da área de estudo configura-se por contrastes marcantes nos valores médios de precipitação entre as estações do verão e inverno. No regime típico de monção, a estação chuvosa se inicia na primavera e termina no início do outono, contribuindo para que haja a diferença de pluviosidade entre estas duas estações (GRIMM, 2009; LIMA, 2015; POGORZELSKI, 2015; GAN; SANTOS, 2018).

Contudo, no que confere à distribuição espacial da precipitação, observa-se que a média sazonal apresenta o mesmo padrão de distribuição em relação à média anual, ou seja, os valores médios superiores em todas as estações encontram-se nos postos com cotas altimétricas mais elevadas (montante) em relação aos postos de menor altitude (jusante), comprovando assim, o efeito orográfico.

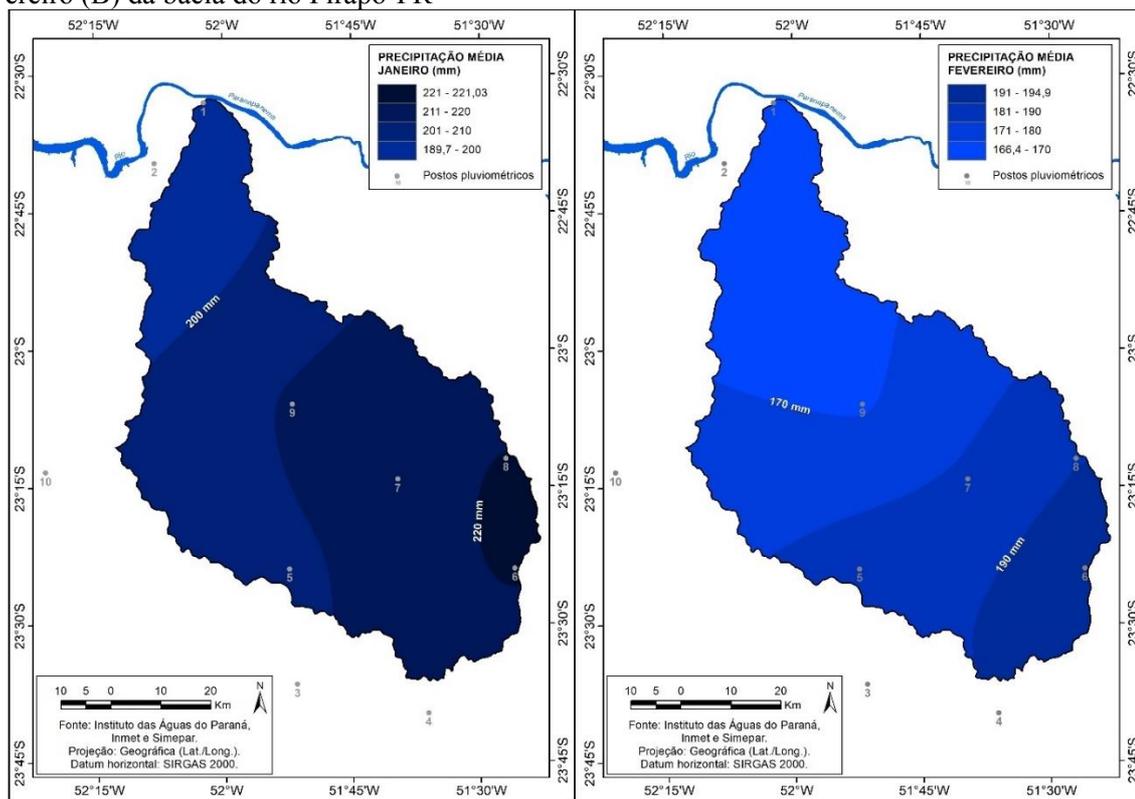
5.1.3 Análise da pluviosidade média mensal

A área de estudo apresenta maiores médias mensais de pluviosidade no período de outubro a março e, inversamente, o período de abril a setembro caracteriza-se pelas menores médias mensais pluviométricas, como salientam Nimer (1989), Boin (2000), Berezuk (2007), Grimm (2009) e Amaral (2014).

Observa-se que os meses de janeiro e fevereiro concentram elevados valores médios de pluviosidade. O mês de janeiro foi o mais chuvoso para a bacia hidrográfica, com média de 204,1 mm durante a série histórica de 1980 a 2017. É possível notar que grande parte dos postos apresentaram valores superiores à média com destaque para o posto 6 (Arapongas) com 221,0 mm na porção sul da bacia. O posto 2 (Paranapoema) localizado na porção norte obteve o menor valor de 187,6 mm em relação à média (Figura 10 A).

No mês de fevereiro, embora tenha se destacado como o segundo mês mais chuvoso, demonstra uma pequena redução da média em comparação com o mês de janeiro. Com média de 181,9 mm, observa-se a redução gradativa na distribuição da pluviosidade do alto para o baixo curso da bacia hidrográfica, onde apenas o posto 6 (Arapongas) inserido no setor sul obteve a maior média com 195,9 mm e o posto 2 (Paranapoema) no setor norte apresentou a menor média de 166,2 mm (Figura 10 B).

Figura 10 – Distribuição espacial da pluviosidade média mensal (mm) dos meses de janeiro (A) e fevereiro (B) da bacia do rio Pirapó-PR



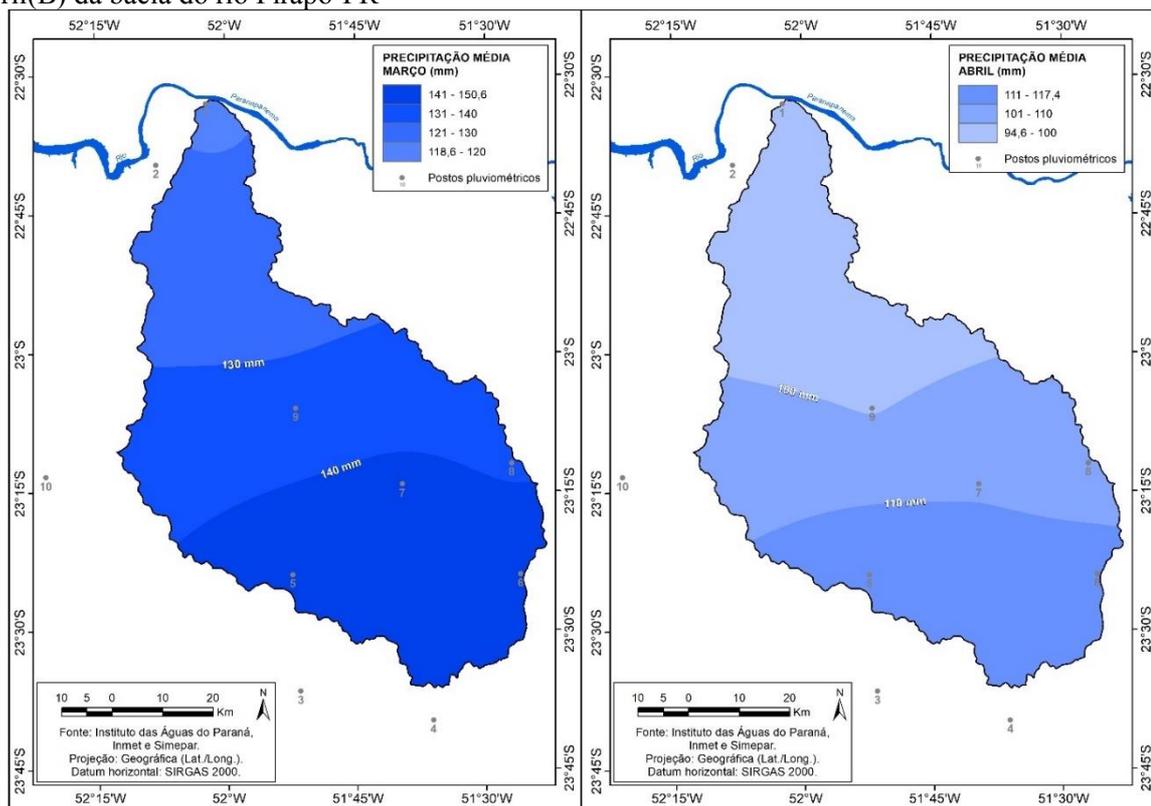
Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

Com média de 139,0 mm, março apresenta uma acentuada redução em relação aos meses anteriores em toda a área estudada. O posto 3 (Marialva), situado na porção sul obteve o maior valor médio mensal dos 5 postos mais expressivos com 155,1 mm e o posto 1 (Jardim Olinda) ao norte da área de estudo demonstrou a menor média com 116,8 mm (Figura 11 A).

Segundo Climanálise (2015), os meses de JFM indicaram maior probabilidade para que as chuvas se situem acima da média devido a influência do fenômeno El Niño atuando no Oceano Pacífico, mesmo que de fraca intensidade. Estudos de Grimm, Ferraz e Gomes (1998) indicam um aumento significativo da pluviosidade nos meses mais quentes dos anos relacionados ao El Niño.

Durante o mês de abril (Figura 11 B), somente o posto 4 (Cambira), localizado ao sul da bacia hidrográfica, apresentou maior média de 120,2 mm. Neste mês, com média histórica de 108,4 mm, o posto 2 (Paranapoema), ao norte, obteve a menor média com 93,5 mm. Ressalta-se que a distribuição da precipitação média acima de 90,0 mm neste primeiro quadrimestre abrange toda a área da bacia hidrográfica, mas com maiores diferenças médias mensais entre os postos do baixo e alto curso principalmente.

Figura 11– Distribuição espacial da pluviosidade média mensal (mm) dos meses de março(A) e abril(B) da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

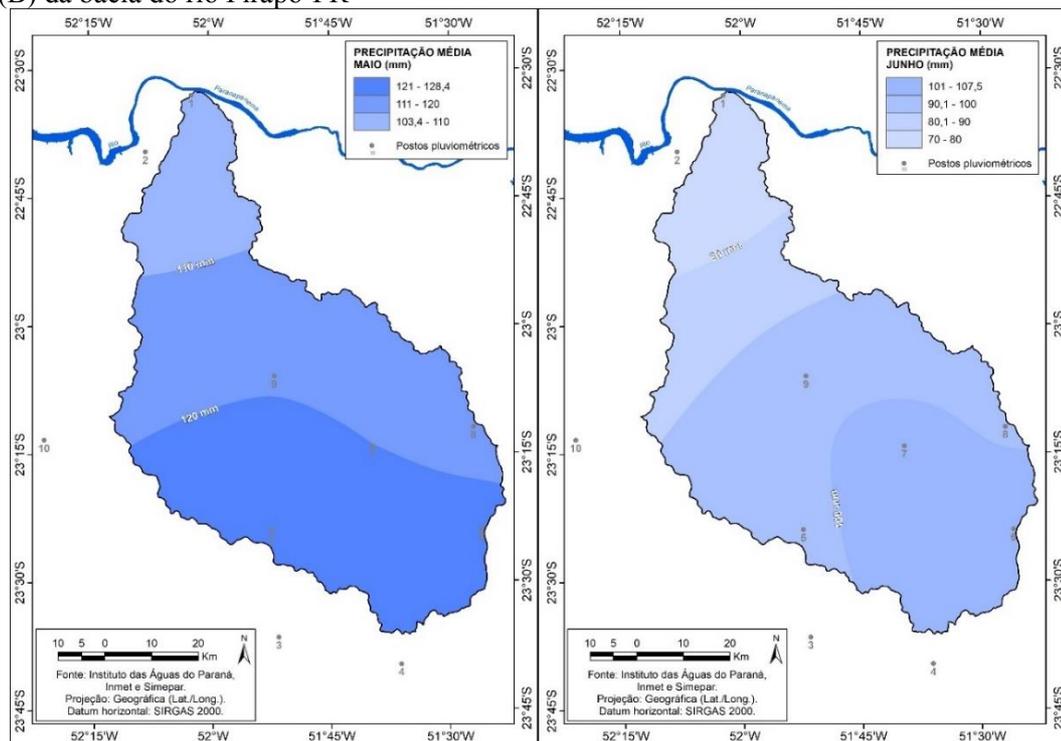
É possível perceber que em maio há um aumento na média histórica, chegando a 122,3 mm. Novamente o posto 4 (Cambira) localizado na porção sul da área de estudo se destacou em relação aos demais com valores acima da média com 147,5 mm e na porção norte, o posto 2 (Paranapoema) a menor média de 102,5 mm (Figura 12 A).

Baldo (2006) argumenta que o destaque do mês de maio em relação ao mês de abril se deve ao fato de maio ser um mês de transição do outono para o inverno, em que há maior frequência de sistemas polares. Estes sistemas ao entrar em contato com sistemas atuantes tropicais formam linhas de instabilidade e consequentemente provocam o aumento das chuvas.

Segundo Simepar (2020), o outono caracteriza-se pela grande variabilidade das chuvas, em sua maioria decorrentes da passagem de frentes frias, onde o mês de maio costuma ser mais chuvoso em comparação com abril e junho.

O mês de junho apresentou a média histórica de 96,1 mm, a menor média em comparação com os meses anteriores. Percebe-se que na porção sul possui ênfase com relação aos valores mais elevados de pluviosidade, com destaque para o posto 4 (Cambira) com 111,5 mm entre os 8 postos com valores superiores à média mensal, e o posto 2 (Paranapoema) na porção norte com o menor valor médio de 68,3 mm (Figura 12 B).

Figura 12 – Distribuição espacial da pluviosidade média mensal (mm) dos meses de maio(A) e junho(B) da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

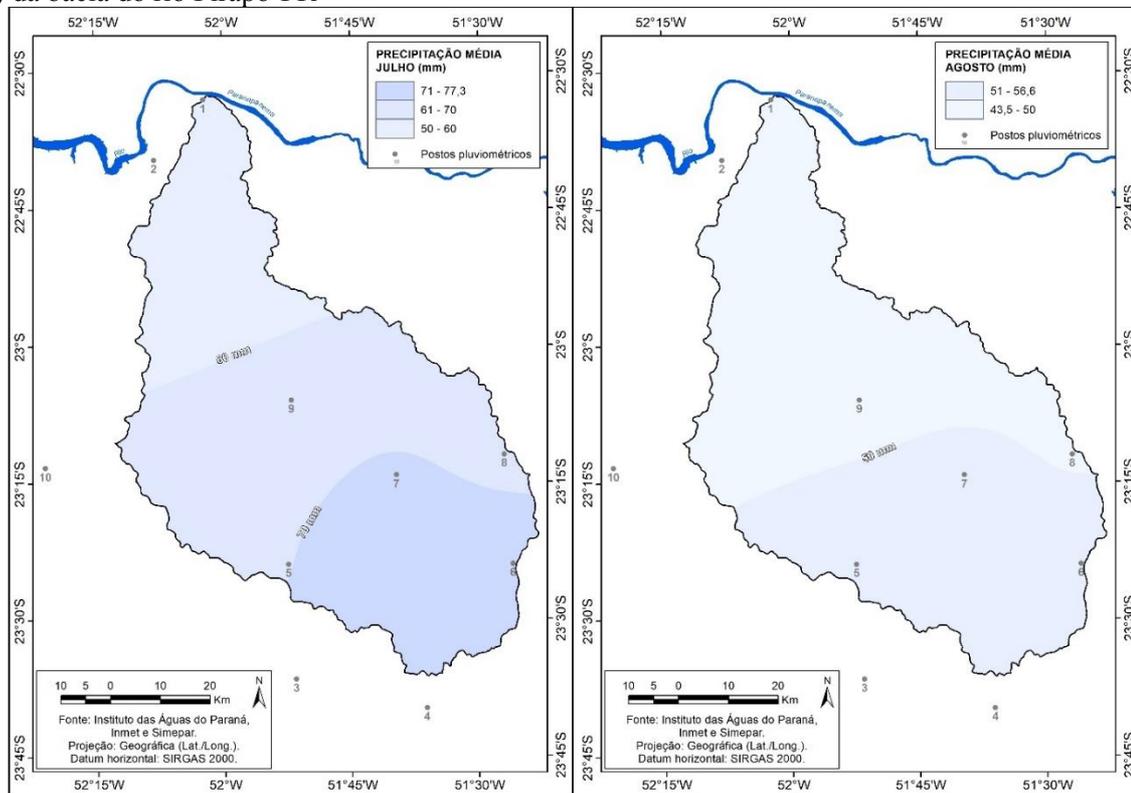
Julho obteve a segunda menor média juntamente com o mês de agosto, com 67,3 mm e 52,9 mm, respectivamente (Figura 13 A e B). Nestes meses o posto 4 (Cambira) ao sul demonstrou a maior média com 82,3 mm em julho e 68,0 mm em agosto, inversamente o posto

1 (Jardim Olinda) ao norte obteve a menor média em julho com 49,4 mm e o posto 2 (Paranapoema) em agosto com 42,2 mm (Figura 13 A e B).

Terassi (2015) aponta que, no período de estudo entre 1976 e 2012, o mês mais seco foi o mês de agosto, seguido pelo mês de julho. Essa mesma característica foi apresentada e confirmada nos estudos desenvolvidos por Ribeiro (1987) e Nimer (1989).

Silveira (2006) ao analisar a pluviosidade diária dos meses de junho, julho e agosto entre 1976 e 2000, verificou que houve a diminuição de 72%, 91,5% e 50% das chuvas em relação à média histórica, mesmo havendo incursões de sistemas frontais no norte do Paraná durante estes meses.

Figura 13– Distribuição espacial da pluviosidade média mensal (mm) dos meses de julho (A) e agosto (B) da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

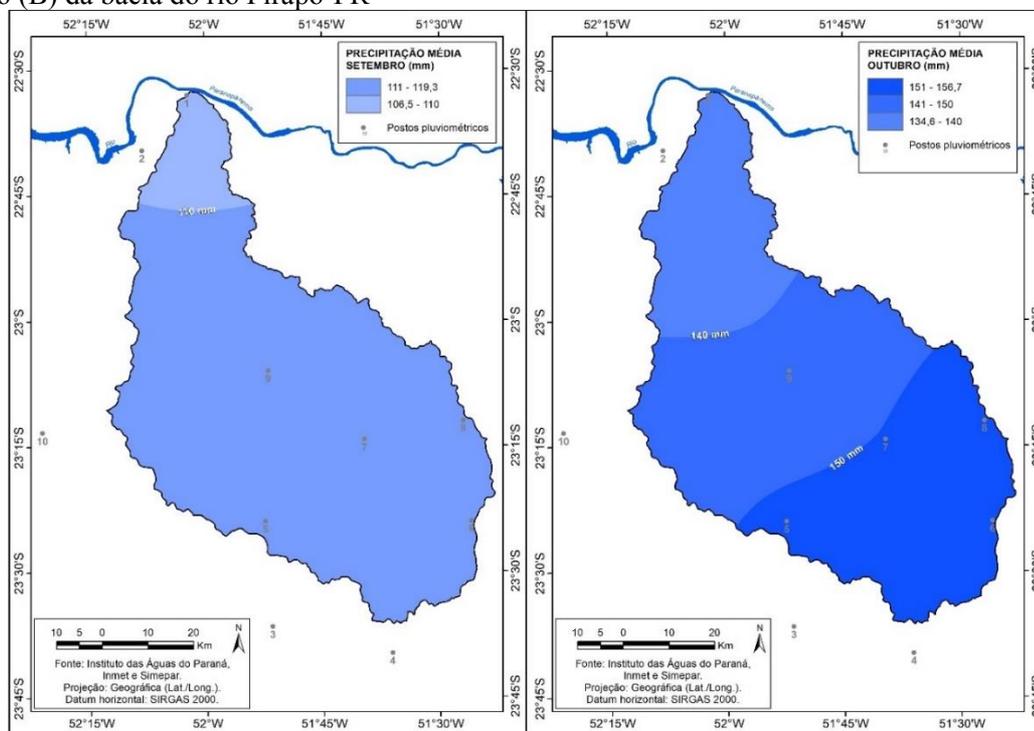
A partir de setembro observa-se o aumento da pluviosidade em relação ao mês de agosto para a bacia hidrográfica com um padrão de distribuição concentrado nos setores central e sul, onde se encontram os postos com maiores cotas altimétricas. Com média pluviométrica de 117,2 mm, o posto 4 (Cambira) no setor sul também se destacou neste mês com maior média de 127,8 mm e ao norte o posto 1 (Jardim Olinda) com menor média de 100,9 mm (Figura 14 A).

A média pluviométrica do mês de outubro foi superior a setembro com 150,1 mm em toda a área da bacia hidrográfica. Entre os postos que obtiveram valores acima da média, na porção sul o posto 3 (Marialva) se destacou com 161,9 mm. Contudo, na porção norte da área de estudo, o posto 2 (Paranapoema) foi o menos representativo com média de 134,5 mm (Figura 14 B).

Segundo Climanálise (2020), a partir do mês de setembro há mudança na atuação dos sistemas atmosféricos da região Sul, onde as chuvas estão associadas à diminuição da passagem de frentes frias e ao início da atuação dos complexos convectivos de mesoescala (CCM) que causam chuvas mais intensas associadas a trovoadas e rajadas de vento favorecendo o aumento dos totais mensais.

O Simepar (2020) aponta que nos meses da primavera é observado um aumento nos valores médios mensais entre 100,0 mm e 180,0 mm nas chuvas. Esse aumento é explicado por conta dos eventos de curta duração que se desenvolvem com a associação das temperaturas altas e uma maior quantidade de umidade no ar somado aos deslocamentos dos sistemas frontais.

Figura 14 – Distribuição espacial da pluviosidade média mensal (mm) dos meses de setembro (A) e outubro (B) da bacia do rio Pirapó-PR

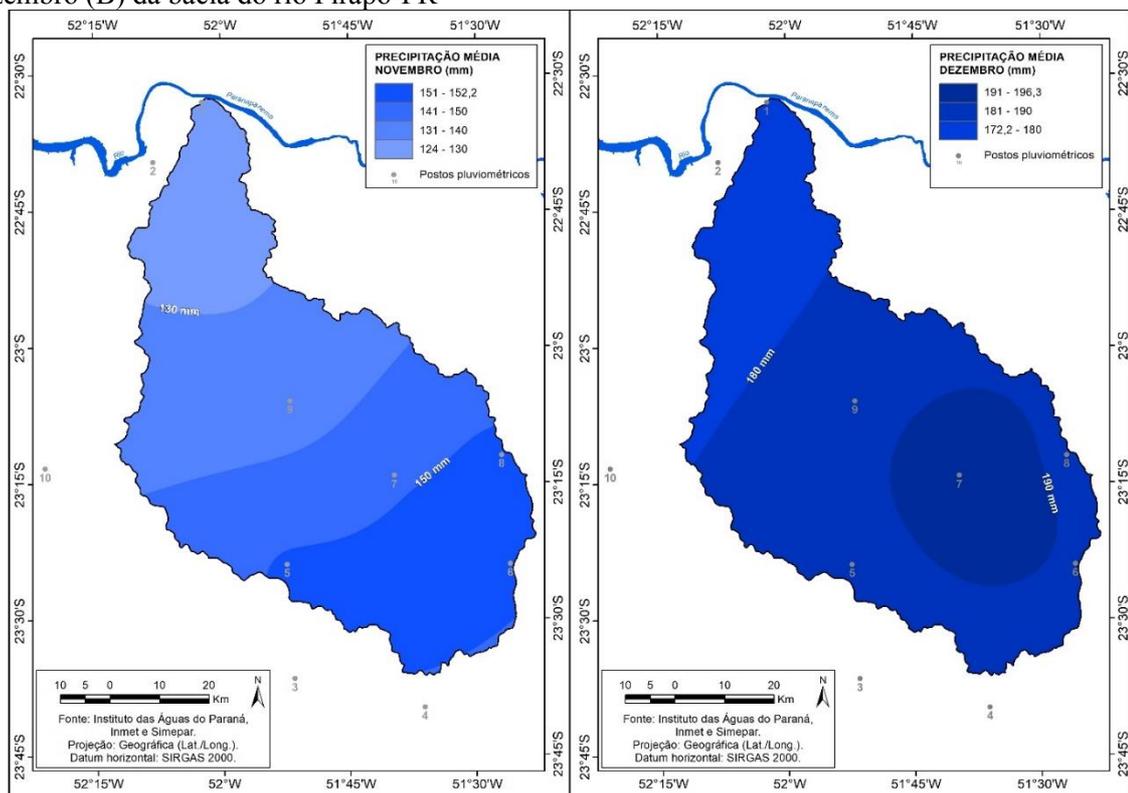


Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

De acordo com os dados apresentados na Figura 15 A, novembro obteve média inferior ao mês de outubro com 142,8 mm, porém com concentração dos maiores valores médios no alto curso da área de estudo. Observa-se que o posto 8 (Rolândia) no setor sul se destacou em relação aos demais com as maiores médias, apresentando 152,2 mm. O posto 1 (Jardim Olinda) no setor norte apresentou a menor média de 124,1 mm.

O mês de dezembro foi mais chuvoso em relação ao mês de novembro e juntamente com janeiro e fevereiro obteve-se a terceira maior média mensal com 181,4 mm. Durante este mês observam-se valores médios mais expressivos na porção do médio e alto curso da bacia com o destaque do posto 7 (Astorga) ao sul com a maior média de 196,3 mm e ao norte o posto 2 (Paranapoema) a menor média de 170,8 mm (Figura 15 B).

Figura 15 – Distribuição espacial da pluviosidade média mensal (mm) dos meses de novembro (A) e dezembro (B) da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

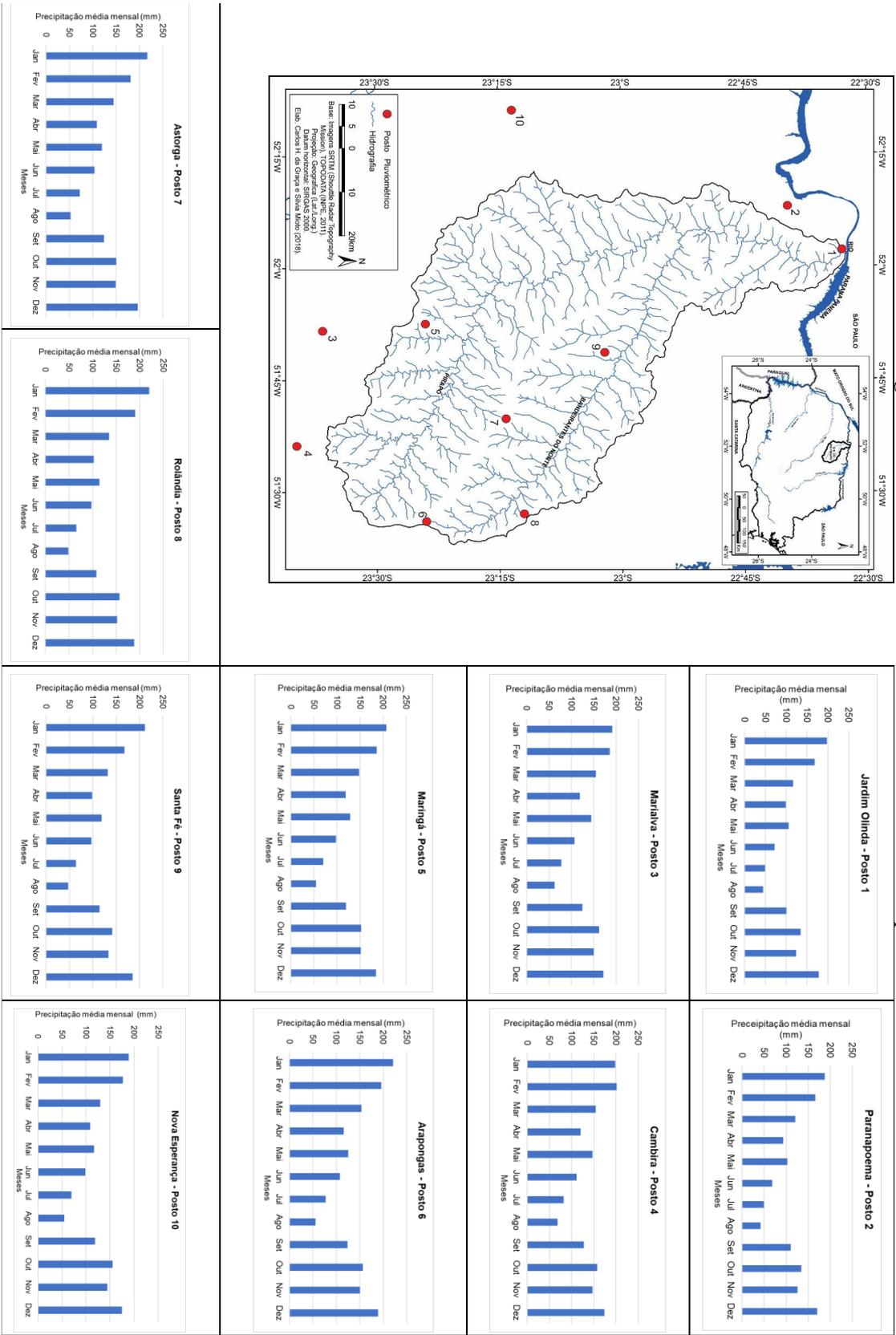
Por meio da Figura 16 pode-se averiguar o padrão de distribuição mensal da precipitação anteriormente apresentado. É possível observar que os meses de janeiro, fevereiro e dezembro apresentaram elevados valores médios mensais em todos os postos pluviométricos analisados.

De acordo com Nimer (1989), Silveira (2006) e Baldo (2006), nos meses do outono e inverno ocorre a diminuição da atuação dos sistemas atmosféricos tropicais e uma maior

influência dos sistemas frontais na região Sul na formação de chuvas (Figura 16). No que se refere aos meses do verão e primavera contribuem para a precipitação os complexos convectivos de mesoescala (CCM) que, ao se originarem a oeste da região, se deslocam para leste com a contribuição dos jatos de altos níveis (JAN) e dos ventos úmidos e quentes vindos do Norte em baixos níveis (GRIMM, 2009; REBOITA *et al.*, 2012).

Pode-se verificar como a relação entre a localização e a variação altimétrica são fatores importantes na distribuição da precipitação e na caracterização climática regional (GRIMM, 2009; REBOITA *et al.*, 2012). Nota-se que os postos situados mais ao sul da bacia com cotas altimétricas mais elevadas possuem valores mensais mais expressivos em relação aos postos localizados ao norte da bacia. O padrão de distribuição da pluviosidade relacionado às cotas altimétricas dos postos analisados e apresentados nesta pesquisa confirma os resultados verificados por Ribeiro (1987) e Terassi (2015).

Figura 16 - Pluviosidade média mensal da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

5.2 PLUVIOSIDADE DIÁRIA

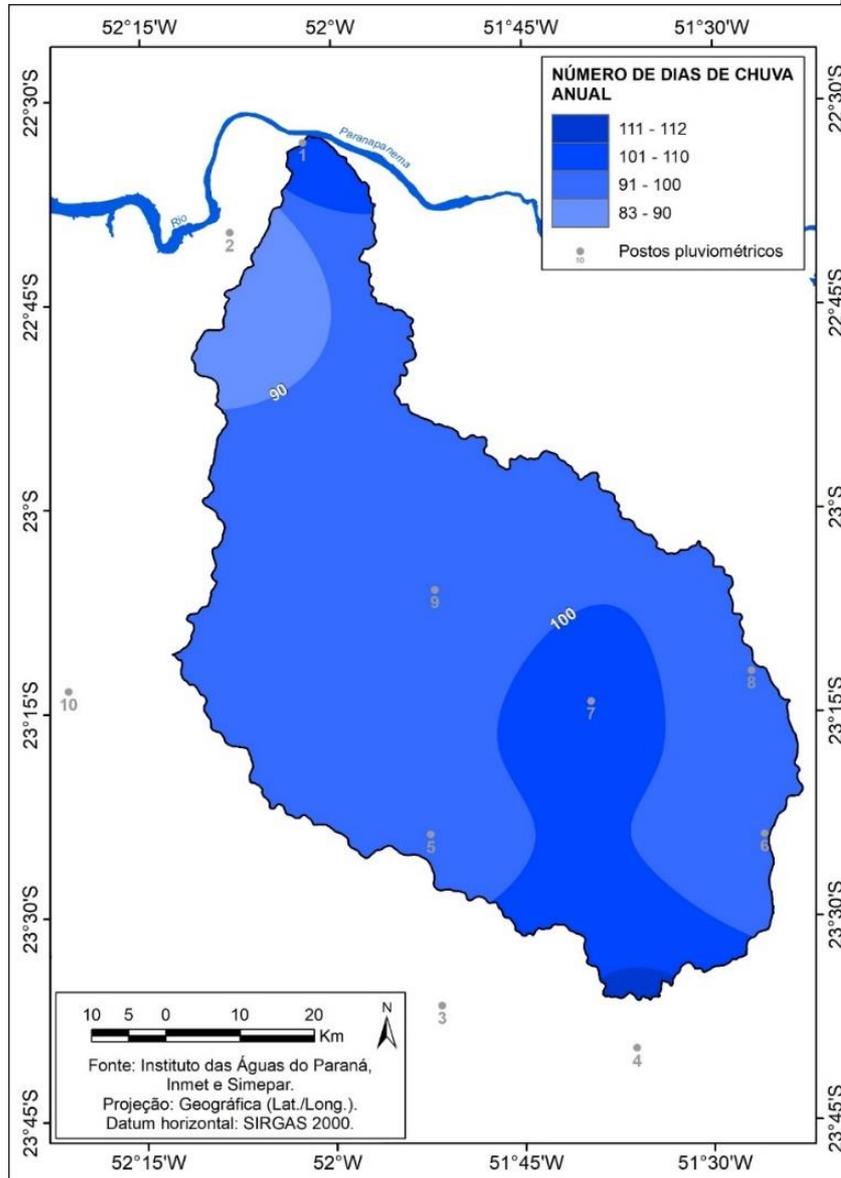
5.2.1 Análise da pluviosidade diária anual

A caracterização regional da distribuição espaço-temporal das chuvas, bem como o estudo dos períodos chuvosos e de estiagem são temas de inúmeras pesquisas no Brasil. A agricultura do estado do Paraná representa um importante papel na economia nacional, sendo desta forma altamente sensível às mudanças do clima, em especial o regime de precipitação (ANJOS; NERY, 2005; MINUZZI; CARAMORI, 2011).

Neste sentido, analisar a distribuição do número de dias com chuva na bacia hidrográfica do rio Pirapó pode contribuir para o melhor gerenciamento de práticas agrícolas, como o período e desenvolvimento do plantio, além de auxiliar no planejamento de distribuição de água nas cidades.

A média anual de dias com chuva é de 98 dias para a área de estudo (Figura 17). Nota-se que somente o posto 2 (Paranapoema), ao norte da bacia, apresentou o menor valor médio com 82 dias de chuva, o que é esperado para o baixo curso da bacia conforme apontamentos de Ribeiro (1987). Porém o posto 1 (Jardim Olinda), localizado no mesmo setor, obteve uma das maiores médias anuais com 106 dias de chuva, juntamente com os postos 3 (Marialva), 4 (Cambira) e 7 (Astorga) inseridos na porção sul. Tais postos demonstraram 100, 112 e 103 dias de chuva anuais, respectivamente (Figura 17).

Figura 17 - Média anual do número de dias com chuva da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

Ao relacionar a distribuição anual do número de dias de chuva com a altimetria, percebe-se ainda que, com exceção do posto 1 (Jardim Olinda) com altitude de 318 metros, os valores mais elevados do número de dias com chuva concentram-se no médio e alto curso da bacia, onde as cotas altimétricas variam de 497 a 793 metros.

Ribeiro (1987) e Terassi (2015) salientam em seus estudos que o número de dias com chuva obedece ao mesmo padrão de distribuição que a precipitação média para a área de estudo. Os autores destacam que a orografia e a dinâmica atmosférica regional são os responsáveis pela variação da precipitação e pelo número de dias de chuva.

Contudo, o destaque do posto 1 (Jardim Olinda) localizado no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Pirapó (Figura 18), com maior média de número de dias com chuva, difere do padrão observado na precipitação média e dos resultados apontados pelos autores.

Figura 18 – Localização da represa Taquaruçu no rio Paranapanema-PR



Fonte: Google. Disponível em: < <https://www.google.com/maps>>. Acesso em: 04 jun. 2020.

As pesquisas descritas a seguir investigam a relação existente entre a construção de lagos artificiais e o clima local. Grimm (1988), ao comparar dados de temperatura e precipitação entre as estações meteorológicas de Itaipu com os municípios de Guaíra e Palotina entre 1977 e 1986, constatou que houve a diminuição da amplitude térmica mensal e o aumento na evaporação mesmo sem resultados significativos quanto à precipitação mensal.

Baseando-se na proposta de Grimm (1988), Limberger (2007) procurou analisar a influência do lago de Itaipu na região oeste do Paraná no período de 1983 a 2004. Concluiu que houve o aumento na temperatura anual e a diminuição do total precipitado anualmente.

Ao estudar as chuvas e a erosão no oeste paulista, Boin (2000) concluiu que os postos com as menores cotas altimétricas (Iepe e Usina do Pari) apresentaram elevados valores de pluviosidade. De acordo com o autor, a média pluviométrica anual de 1.495 mm e a média anual do número de dias de chuvas é explicado pela presença de grandes lagos existentes no rio Paranapanema, que poderia provocar a evaporação da água e, conseqüentemente, a formação de chuvas convectivas, além da canalização das massas de ar por meio dos rios Tibagi e Paranapanema.

De acordo com Limberger e Pitton (2008), as alterações nos padrões climáticos são normalmente sentidas de maneira mais evidente em escala local do que no clima regional. Desta forma, a presença de lagos artificiais construídos no rio Paranapanema poderia potencializar a geração de chuvas nas áreas próximas, neste caso, na área que abrange o posto 1 (Jardim Olinda).

Ao comparar a pluviosidade média anual com o número de dias com chuva, verifica-se que nem todos os postos apresentaram valores acima da média entre as duas variáveis. Observa-se que somente os postos 3 (Marialva), 4 (Cambira), 5 (Maringá) e 6 (Arapongas) apresentaram esta semelhança. Entretanto, observa-se que o posto 1 (Jardim Olinda) demonstrou uma das menores médias anuais e uma das maiores médias de dias com chuva, ao passo que o posto 10 (Nova Esperança), apesar da média pluviométrica anual ser inferior à média histórica, o número de dias de chuva ficou dentro da média, ou seja, 98 dias (Quadro 4).

Quadro 4 – Média da pluviosidade anual e do número de dias de chuva da bacia do rio Pirapó-PR

Postos	Média de dias com chuva	Média de pluviosidade anual
1	106	1391,9
2	82	1351,1
3	100	1645,1
4	112	1666,1
5	98	1616,7
6	96	1649,8
7	103	1619,4
8	94	1573,4
9	90	1508,9
10	98	1536,1
Média histórica	98	1.555,8

A cor azul representa os postos que demonstraram as maiores médias do número de dias com chuva e pluviosidade média anual.

Ao analisar a média anual do número de dias de chuva de todos os postos entre 1980 a 2017, observa-se que os anos 1980, 1981, 1982, 1983, 1986, 1989, 1990, 1995, 1996, 1997, 1998, 2000, 2001, 2009 e 2015 foram os mais representativos, com valores acima da média de 98 dias de chuva, enquanto que os anos 1985, 1991 e 2012 demonstraram os menores valores em relação à média, com 80, 81 e 80 dias com chuva, respectivamente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.9**).

Os anos de 1983 e 2015 se destacaram com as maiores médias anuais de número de dias de chuva com 125 e 122 dias, respectivamente. Estes anos foram classificados com o fenômeno

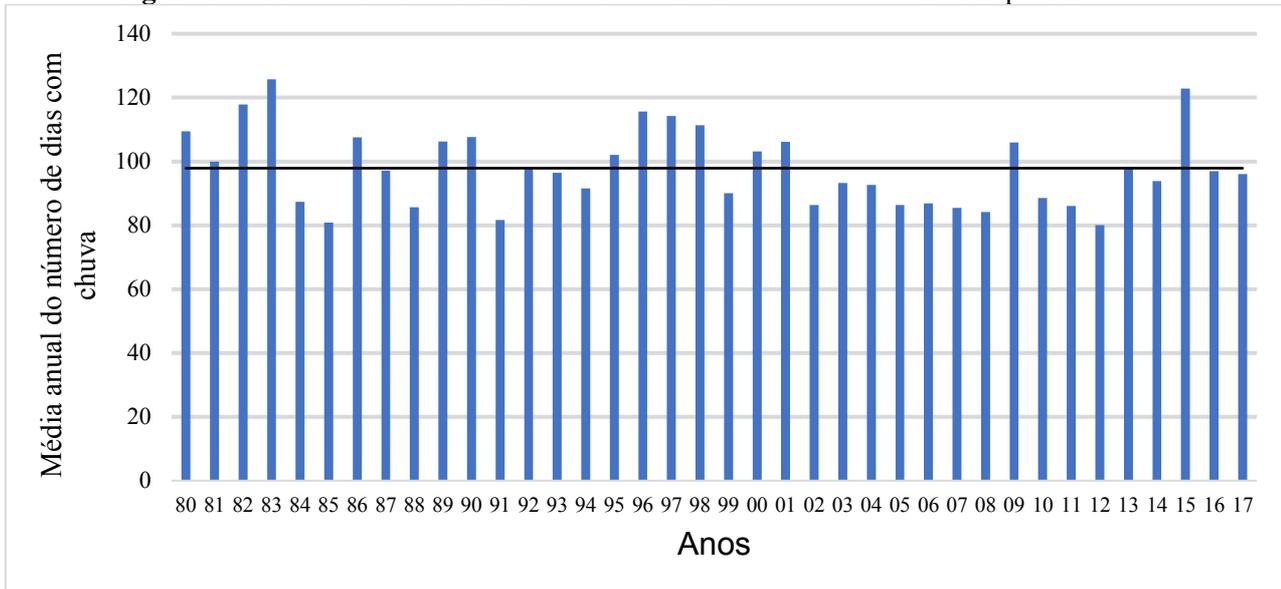
El Niño “muito forte” segundo Golden Gate Weather Service (2020). Contudo, alguns anos como 1995, 1996, 2000 e 2001 foram registrados valores elevados 102, 115, 103 e 106 dias de chuva e foram classificados com o fenômeno La Niña “moderado” e “fraco”.

Nota-se que não é possível afirmar que o aumento do número de dias de chuva é ocasionado somente pela ocorrência de El Niño. É o caso do ano de 1991, que foi classificado com El Niño “forte”, mas apresentou a segunda menor média anual de 81 dias com chuva (Figura 19), ou seja, as chuvas foram mais concentradas.

Vários pesquisadores como Grimm, Barros e Doyle (2000), Anjos, Martins e Nery (2001), Nery *et al.* (2005) e Ferreira *et al.* (2017) atestaram que principalmente os anos de 1983, 1997, 2009 e 2015 foram predominantemente influenciados pelo El Niño devido ao elevado valor da média de precipitação na região Sul do Brasil.

De acordo com Ferreira *et al.* (2017), os eventos El Niño modificam o regime de precipitação no estado do Paraná. No evento de 2015 e 2016 provocou fortes impactos na precipitação a partir da primavera de 2015 coincidindo com o aumento dos valores da temperatura da superfície do mar (TSM), o que evidencia que, quando ocorrem eventos fortes de El Niño, como nos casos de 1982/1983 e 1997/1998, há aumentos expressivos nos totais de precipitação no estado do Paraná.

Os estudos de Terassi *et al.* (2018) demonstraram que houve pouca correspondência entre os resultados do Índice de Precipitação Padronizado (SPI) durante a intensificação dos eventos de El Niño e La Niña entre 1976 e 2015 para a região norte do Paraná. Guerra e Caramori (2012), em seu estudo sobre a produção de milho no norte Central e noroeste paranaense, atestam que o rendimento do milho ficou acima da média em anos de La Niña, e nos anos de El Niño, houve picos tanto de baixo quanto de alto rendimento.

Figura 19 - Média anual do número de dias com chuva da bacia do rio Pirapó-PR

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

5.2.2 Análise do painel espaço-temporal da quantidade de dias com chuva

Com a finalidade de compreender e identificar as classes do número de dias com chuva mais frequentes e sua distribuição na bacia do rio Pirapó, foi elaborado um painel espaço-temporal através da fórmula de Sturges (Quadro 5). Segundo Baldo (2018), a vantagem do painel é destacar a variação tempo/espaço dos elementos climáticos seguindo uma ordem pré-determinada, sendo possível visualizar a área estudada em sua totalidade e associar seus resultados com os aspectos físicos predominantes.

Foram identificadas 10 classes segundo a fórmula de Sturges para número de dias com chuva³. Ao analisar a distribuição das classes ao longo da série histórica verificou-se que as classes 84 a 96, 97 a 109, 110 a 122 e 123 a 135 foram mais frequentes entre 1980 e 1999. A partir do ano 2000 houve uma redução significativa na frequência das classes 110 a 122 e 123 a 135, porém as classes 44 a 57, 58 a 70, 71 a 83, 136 a 148 e 162 a 174 obtiveram frequências diferentes ao longo da série, sendo mais evidente o aumento de sua frequência a partir do ano 2000 (Quadro 5).

³ Conforme exposto no item 4.1.2 (Elaboração do painel espaço-temporal com base na fórmula de Sturges).

Quadro 5 – Frequência das classes do número de dias com chuva anual da bacia do rio Pirapó-PR

Classes	1980-1999	2000-2017
44-57	0	3
58-70	6	13
71-83	22	33
84-96	54	53
97-109	59	47
110-122	38	18
123-135	18	6
136-148	2	6
149-161	1	0
162-174	0	1

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A classe 44 a 57 ocorreu somente nos anos de 2002, 2012 e 2017, já a classe 149 a 161 ocorreu apenas no ano de 1997 e a classe 162 a 174 no ano de 2015. A classe 58 a 70 foi frequente em apenas 3 anos entre 1980 e 1999 e em 10 anos a partir do ano de 2006, especialmente no posto 2 (Paranapoema). A classe 71 a 83 esteve presente em 24 anos da série histórica, sendo que nos anos de 2005 e 2012 ocorreu com maior frequência (Quadro 6).

A classe 84 a 96 foi a mais frequente em relação às demais, estando presente em 33 anos da série histórica, onde os anos de 1989 e 1999 apresentaram maior número de ocorrência desta classe. A classe 97 a 109 ocorreu em todos os anos, em que o ano de 1987 foi o mais representativo em número de ocorrência, e os anos de 1989 e 1990 não demonstraram a ocorrência desta classe (Quadro 6).

O intervalo de classe 110 a 122 foi mais frequente nos anos de 1997, 2010 e 2013, porém ocorrendo com maior frequência entre os anos de 1980 e 1999. Verifica-se que a classe 123 a 135 foi mais frequente de 1980 a 1999, com destaque para os anos de 1982 e 1983 e menor frequência a partir do ano 2000. Entretanto, a classe 136 a 148 ocorreu com maior frequência nos anos de 1983 e 2015, sendo visível sua maior frequência a partir de 2014 (Quadro 6).

Verifica-se que alguns anos como de 1980, 1982, 1983, 1990, 1995, 1996, 1997, 1998, 2000, 2001, 2009, 2013 e 2015 apresentaram intervalos de classes mais elevadas em grande parte dos postos pluviométricos, porém com destaque para os postos onde as cotas altimétricas são maiores e estão localizados no setor ao sul da bacia hidrográfica. Não houve anos que demonstraram os menores intervalos de classes em todos os postos, bem como nas maiores classes (Quadro 6).

Zandonadi (2009), ao utilizar a fórmula de Sturges no período de 1976 a 2005, identificou que os anos de 1982 e 1983 foram os mais chuvosos para a bacia hidrográfica do rio Paraná. De acordo com o autor, a utilização desta técnica permitiu identificar os valores pluviométricos habituais, secos e chuvosos e sua distribuição para a área de estudo.

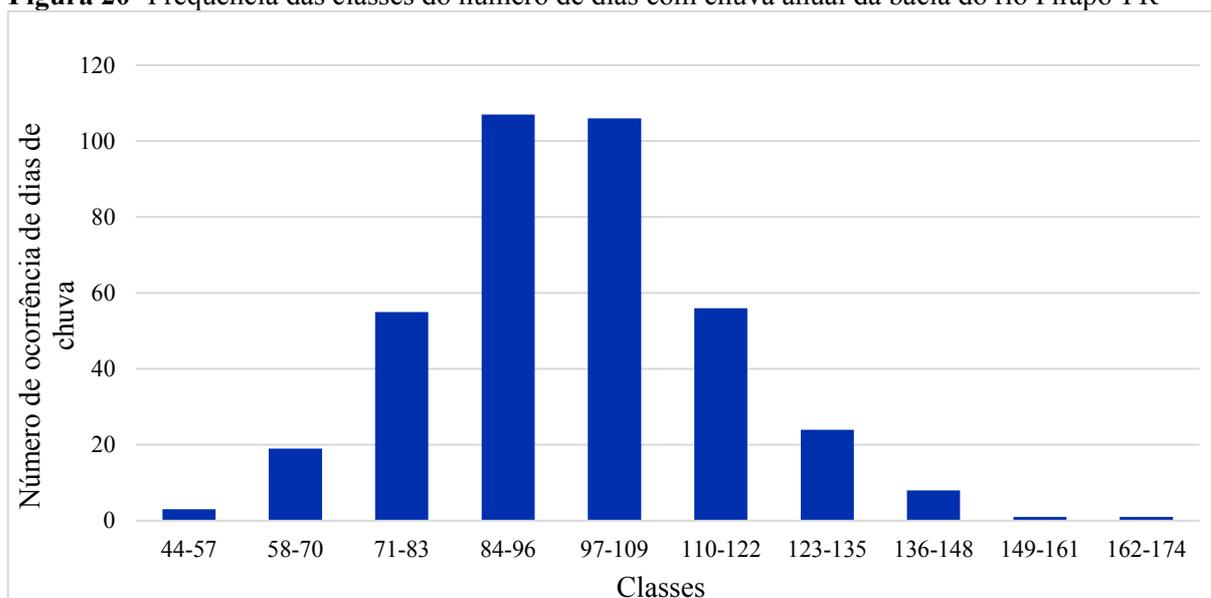
Quadro 6 - Painel espaço-temporal da quantidade de dias com chuva da bacia do rio Pirapó-PR

Postos Pluviométricos	Jardim Olinda	Paranapoema	Mariaiva	Cambira	Maringá	Arapongas	Astorga	Rolândia	Santa Fé	Nova Esperança	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Altitude (m)	318	299	372	601	584	793	678	653	538	497	
Ano	1980	90	78	106	115	112	132	126	105	112	118
	1981	95	89	102	98	106	105	122	89	90	104
	1982	110	117	98	123	122	133	133	114	104	124
	1983	122	110	108	127	137	131	148	107	132	135
	1984	97	83	79	79	91	90	106	74	88	87
	1985	86	65	88	79	84	97	89	68	80	73
	1986	111	90	117	108	102	119	127	86	115	100
	1987	97	87	98	106	96	102	104	71	108	103
	1988	93	73	89	89	83	89	91	69	92	89
	1989	114	78	102	98	109	118	122	105	105	111
	1990	113	93	110	98	104	109	127	103	109	110
	1991	85	67	74	77	87	95	100	77	64	91
	1992	116	95	89	81	96	95	111	92	99	104
	1993	109	89	102	82	101	106	108	81	93	94
	1994	102	86	93	81	89	104	97	83	92	89
	1995	112	93	103	131	93	100	111	91	96	90
	1996	123	108	109	135	107	101	128	120	116	109
	1997	118	109	114	149	106	87	122	111	117	109
	1998	121	105	106	129	118	82	126	109	111	106
	1999	90	87	90	120	85	63	110	86	80	90
2000	112	92	103	132	100	81	109	111	88	103	
2001	108	95	125	142	112	85	94	101	98	101	
2002	96	82	98	114	90	44	73	91	84	92	
2003	108	88	101	123	94	60	100	86	84	89	
2004	99	78	102	122	99	80	95	85	74	93	
2005	100	72	104	80	88	80	80	83	75	102	
2006	103	65	97	113	94	89	73	80	65	90	
2007	99	68	80	93	84	97	86	88	75	85	
2008	109	65	88	94	93	79	75	90	69	80	
2009	124	63	121	104	115	118	97	115	86	116	
2010	100	60	97	89	98	97	81	109	66	89	
2011	99	64	91	87	83	91	86	87	75	98	
2012	97	52	82	101	74	92	80	80	62	81	
2013	115	67	101	132	102	101	88	104	74	98	
2014	107	58	100	137	98	83	83	95	85	93	
2015	137	87	137	166	123	117	120	120	104	117	
2016	106	73	111	146	88	93	91	96	76	90	
2017	110	53	101	140	94	85	108	96	73	101	
Classes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Dias de chuva	44-57	58-70	71-83	84-96	97-109	110-122	123-135	136-148	149-161	162-174	
Frequência Absoluta	3	19	55	107	106	56	24	8	1	1	

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A Figura 20 mostra a frequência com que ocorreram todas as classes para a área de estudo. É possível verificar a predominância das classes de 84 a 96 dias, juntamente com as classes 97 a 109 dias. Observa-se também que as classes com os menores e maiores intervalos de classes ocorreram em menor proporção. De um total de 380 valores, a classe de 84 a 96 obteve a frequência de 107 ocorrências ao longo da série histórica, seguida pela classe 97 a 109 dias com 106 ocorrências.

Figura 20- Frequência das classes do número de dias com chuva anual da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Após a identificação das classes para os números de dias com chuva e sua frequência para toda a série histórica da bacia do rio Pirapó, foi possível constatar como se distribuíram as classes em cada posto pluviométrico.

Observa-se que no posto 1 (Jardim Olinda) as classes que prevaleceram foram 97 a 109 e 110 a 122, já no posto 2 (Paranapoema), as classes 58 a 70 e 84 a 96 foram mais frequentes. Verifica-se que mesmo localizados no setor norte da bacia, ambos os postos apresentam frequências diferentes das classes.

A classe com maior frequência para o posto 3 (Marialva) foi de 97 a 109. Ao analisar o posto 4 (Cambira) percebe-se que somente as classes 44 a 57 e 58 a 70 que não ocorreram. Este posto se destaca por apresentar frequência em grande parte das classes, mesmo que com valores menores em relação aos demais postos.

O posto 5 (Maringá) e 6 (Arapongas) demonstraram que as classes 84 a 96 e 97 a 109 foram mais frequentes que as demais. No entanto, o posto 5 (Maringá) além de obter os maiores

valores destas classes, também apresentou frequência na classe 136 a 148 em relação ao posto 6 (Arapongas).

Com relação ao posto 7 (Astorga), a classe 97 a 109 foi a que mais se destacou. Neste posto foi possível observar a ausência das classes 44 a 57, 58 a 70, 149 a 161 e 162 a 174. O posto 8 (Rolândia) obteve mais frequência da classe 84 a 96, com valores mais significativos em relação ao posto 6 (Arapongas) e 7 (Astorga).

As classes de maior frequência para o posto 9 (Santa Fé) foram de 71 a 83 e 84 a 96, porém com valores menos representativos se comparados com o posto 8 (Rolândia). Finalmente, o posto 10 (Nova Esperança) se assemelhou aos postos 5 (Maringá) e 6 (Arapongas) ao registrar maior frequência das classes 84 a 96 e 97 a 109 (Figura 21).

A partir do exposto, verifica-se que a classe 44 a 57 esteve restrita aos extremos norte e sul da bacia hidrográfica, especificamente nos postos 2 (Paranapoema) e 6 (Arapongas). A classe 58 a 70 abrangeu o setor norte, central e sul da bacia, já a classe 71 a 83 foi frequente em toda a bacia, exceto nas proximidades do posto 1 (Jardim Olinda).

As classes 84 a 96, 97 a 109, e 110 a 122 contemplaram toda a área de estudo, ou seja, em todos os postos pluviométricos, podendo ser consideradas como classes habituais de dias com chuva. A maior frequência das classes 149 a 161 e 162 a 174 apenas no posto 4 (Cambira), localizado na porção mais ao sul da bacia, pode indicar a associação com o relevo mais acentuado na formação e frequência das chuvas conforme as pontuações de Ribeiro (1987).

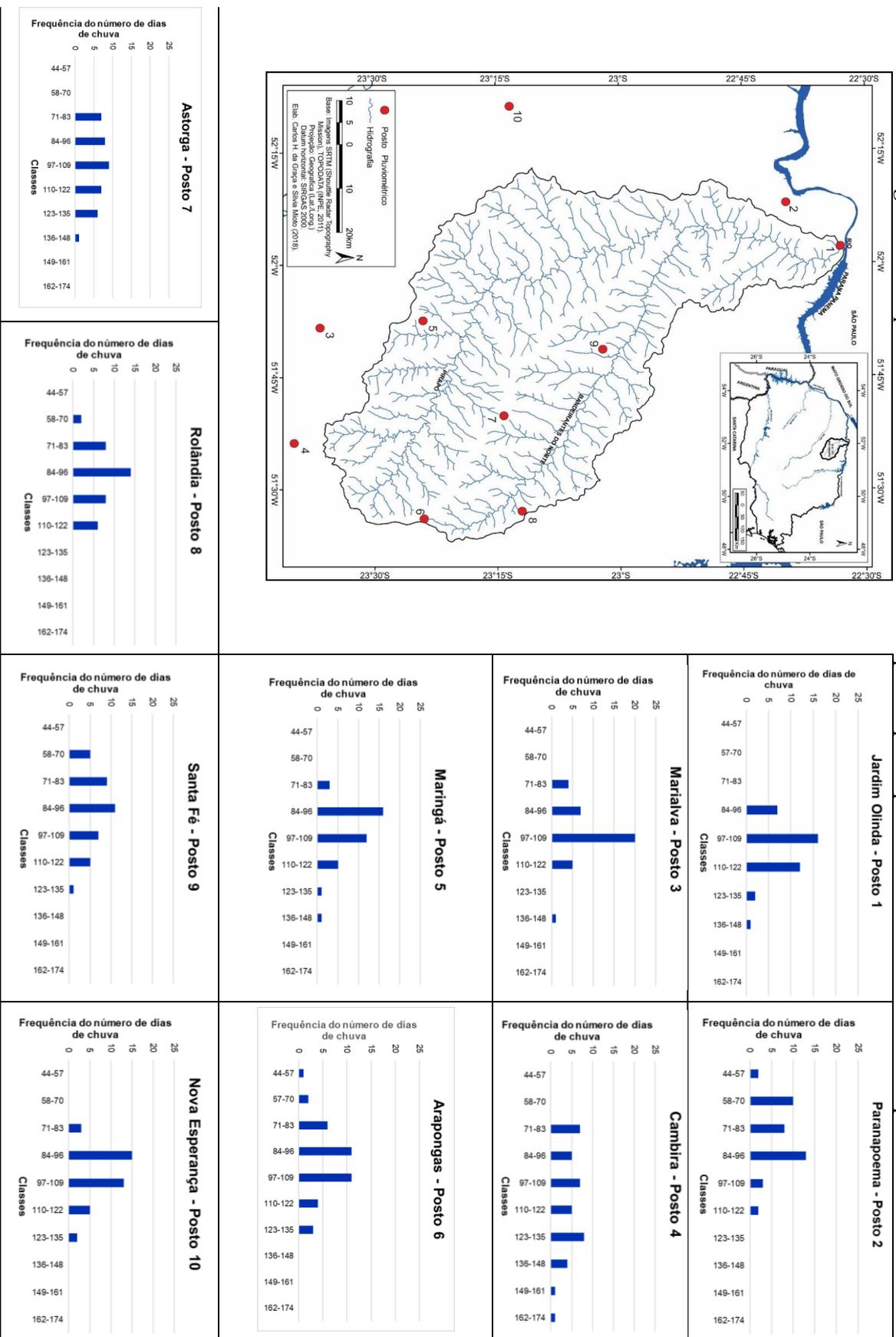
As demais classes ocorreram tanto nos postos da porção do baixo e do alto curso da bacia, como a classe 123 a 135, por exemplo, não estando frequente nos postos 2 (Paranapoema), 3 (Marialva) e 8 (Rolândia). A classe 136 a 148 se restringiu nos postos 3 (Marialva), 4 (Cambira), 5 (Maringá) e 7 (Astorga) localizados ao sul da bacia, juntamente com o posto 1 (Jardim Olinda) ao norte da área.

Cabe ressaltar que o emprego da fórmula de Sturges nas pesquisas climatológicas buscam demonstrar o padrão de distribuição da pluviosidade anual por meio da identificação de anos-padrão (ZANDONADI, 2009; CHIERICE; LANDIM, 2014; FONTÃO; ZAVANTTINI, 2019). Segundo estes autores, as classes habituais são as mais frequentes e as menores e maiores classes possuem frequências menores.

Esta característica é verificada pela variação da frequência das classes entre os postos pluviométricos, onde a localização e o relevo interagem com os sistemas atmosféricos, fazendo com que haja a formação de pluviosidade de forma desigual na área da bacia. A partir dos resultados apresentados evidencia-se que o padrão de distribuição da precipitação assemelha-

se ao padrão habitual, ou seja, dentro dos valores pluviométricos médios para a área, sendo registrados também eventos pluviais menores, mas, com maior intensidade.

Figura 21 - Frequência do número de dias com chuva para os postos pluviométricos da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

5.2.3 Análise da pluviosidade diária sazonal

A variação sazonal da precipitação já é algo esperado para a região norte do Paraná, pois nesta porção do estado a dinâmica atmosférica apresenta características de zona de transição do clima subtropical para o tropical (NIMER, 1989; CAVIGLIONE *et al.*, 2000; PEREIRA *et al.*, 2008). Desta forma, ocorre a concentração das chuvas nas estações do verão e primavera e significativa diminuição nas estações do outono e inverno. É possível observar esta característica nas médias do número de dias com chuva, em que o verão se apresenta com maiores médias, seguida pela primavera, outono e inverno.

A média de dias com chuva registrada no verão é de 33,5 dias para a área de estudo. Através da distribuição espacial observa-se que os setores norte e sul da bacia abrangem as maiores médias sazonais, acima de 36 dias com chuva, ao passo que a porção central as médias ficaram em torno de 30 dias. Nota-se que somente nas proximidades do posto 2 (Paranapoema) há valores médios inferiores a 30 dias de chuva (Figura 22 A).

Terassi (2015) aponta os mesmos resultados para a porção norte da bacia do rio Pirapó, principalmente em relação ao posto 1 (Jardim Olinda), que juntamente com os postos do alto curso da bacia, possui elevado valor médio para o verão. O autor destaca a necessidade de um estudo mais detalhado sobre esta característica, onde os corpos de água poderiam ser responsáveis pelo aumento dos valores de dias de chuva.

De acordo com Silva *et al.* (2006), os maiores valores de precipitação que ocorrem durante os meses do verão são resultado do contato entre os sistemas atmosféricos intertropicais, como os Complexos Convectivos de Mesoescala e os sistemas frontais. Para Grimm (2009), o aquecimento da superfície e a umidade no interior do continente tendem a instabilizar a atmosfera e desta forma produzem convecção. Por isso os Complexos Convectivos de Mesoescala são mais frequentes e respondem por grande parte da pluviosidade.

Ao analisar os valores médios do número de dias com chuva para o outono (Figura 22 B), nota-se uma diminuição em toda a área da bacia com média sazonal de 20,2 dias de chuva. Este padrão de distribuição da pluviosidade durante o outono já é esperado, pois esta estação, pode apresentar características, tanto do verão por meio dos sistemas atmosféricos tropicais, quanto do inverno, pelas entradas de sistemas frontais (BALDO, 2018).

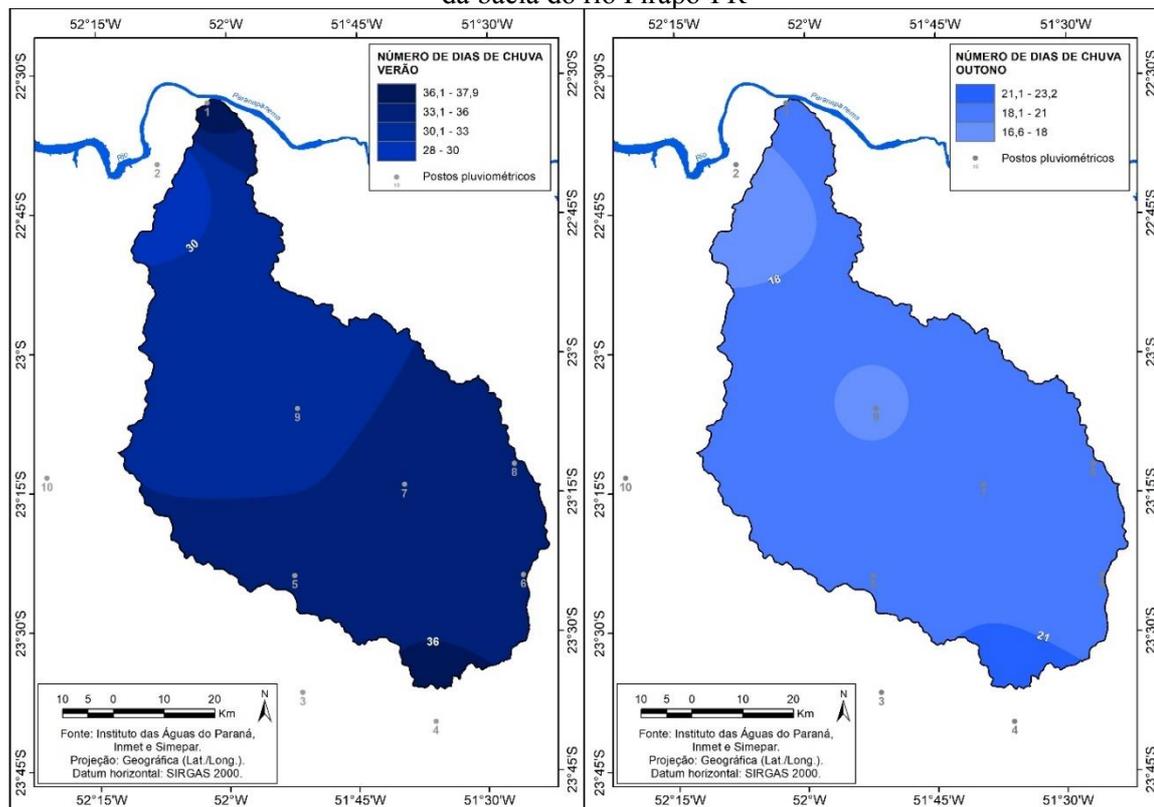
Verifica-se que os valores médios superiores a 21 dias na estação do outono se concentram nas áreas mais ao sul da bacia, onde localizam-se os postos 3 (Marialva) e 4 (Cambira). Contudo, na porção central e norte observam-se núcleos com valores médios

inferiores a 18 dias de chuva onde abrange os postos 2 (Paranapoema) e 9 (Santa Fé) (Figura 22 B).

Durante o outono a maior convergência de umidade é deslocada mais para o sul da região Sul do Brasil, fazendo com que ocorra a diminuição da precipitação na porção mais ao norte, especialmente no norte do Paraná em relação aos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (GRIMM, 2009).

Pereira *et al.* (2008) salientam que na escala regional e local, a variação das chuvas está condicionada à variação do relevo e da formação de áreas de instabilidade, às quais podem provocar chuvas abundantes em uma parte da bacia e à distância de alguns quilômetros não se registre chuva. Ao estudarem o número de dias de chuva entre 1976 e 2006, os autores concluíram que o norte do Paraná apresenta uma estação chuvosa e seca bem-marcada em relação às outras regiões do estado.

Figura 22 - Distribuição espacial da média do número de dias com chuva no verão (A) e outono (B) da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

Com média de 16,4 dias de chuva, o inverno (Figura 23 A) se caracteriza como a estação mais seca em comparação com o outono e verão. Embora grande parte da bacia apresente valores

próximos da média, observa-se que o posto 4 (Cambira), localizado mais ao sul da área, apresenta valor médio superior a 18 dias, porém as áreas onde estão inseridos os postos 2 (Paranapoema) ao norte, 9 (Santa Fé) na porção central e 8 (Rolândia) ao sul, se destacam com valores médios inferiores a 15 dias de chuva.

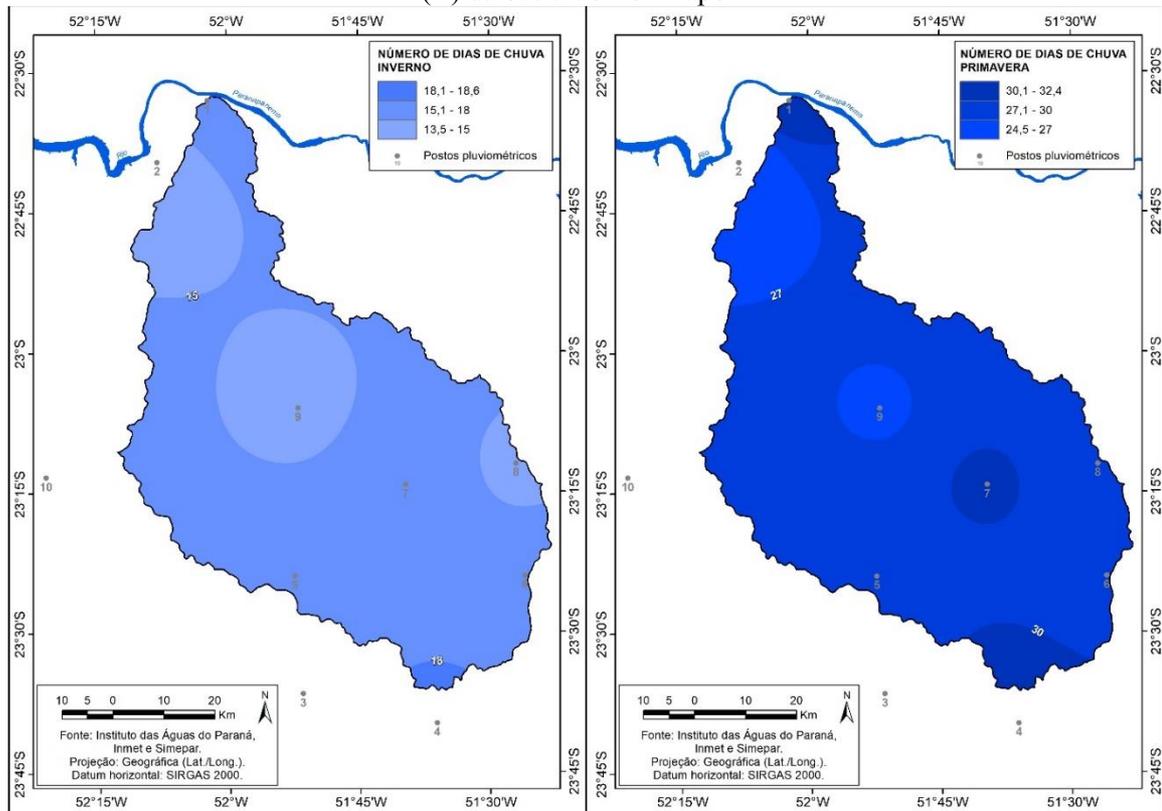
Observa-se também que os valores médios dos postos foram semelhantes, principalmente porque abrangem áreas com maiores cotas altimétricas, exceto o posto 1 (Jardim Olinda) com altitude de 318 metros.

Na primavera a média de dias com chuva foi de 29,4 dias, valores levemente inferiores ao verão (Figura 23 B). É possível observar que somente parte do baixo e médio curso, nas intermediações do posto 2 (Paranapoema) e 9 (Santa Fé) possui os menores valores médios. Em contrapartida, nota-se o aumento da média do número de dias com chuva em toda a área da bacia, desde o baixo até o alto curso, com destaque para a porção mais ao sul onde está localizado o posto 4 (Cambira), posto 7 (Astorga) e a porção mais norte referente ao posto 1 (Jardim Olinda) com médias superiores a 30 dias com chuva.

Considera-se que as médias mais elevadas de dias com chuva durante o verão e a primavera e as menores no outono e inverno evidenciam a sazonalidade da área de estudo (NIMER, 1989; CAVIGLIONE *et al.*, 2000). A concentração de valores mais elevados ao sul, ou seja, no alto curso da bacia são reflexos, tanto da dinâmica climática regional com a influência dos sistemas atmosféricos tropicais e sistemas frontais, quanto da variação das cotas altimétricas (RIBEIRO, 1987; NIMER, 1989).

O aumento da precipitação durante o verão e a primavera é evidenciado pela atuação dos Complexos Convectivos de Mesoescala, originados do transporte da umidade da região amazônica para os subtropicais predominante nestas estações (VELASCO; FRITSCH, 1987; GRIMM, 2009; REBOITA *et al.*, 2012). Sakamoto (2009) salienta que a região Sul do Brasil, juntamente com o norte da Argentina, são áreas onde se verificam as maiores ocorrências desses sistemas.

Figura 23 - Distribuição espacial da média do número de dias com chuva no inverno (A) e primavera (B) da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

5.2.4 Análise do número de dias com chuva mensal

De acordo com Caramori *et al.* (2001) a transição climática característica do Paraná apresenta variações regionais e locais do Norte para o Sul do estado, sendo influenciadas pelas mudanças de altitude e relevo. Tais mudanças, por contribuírem na geração de chuvas, interferem diretamente na agricultura.

Costa *et al.* (2009) salientam que mesmo diante do conhecimento acerca da variação da pluviosidade, a identificação dos seus períodos de diminuição e aumento, auxiliam na tomada de decisões sobre o ciclo das culturas agrícolas, evitando perdas. Nery *et al.* (2005) ressaltam que as informações sobre o número de dias com chuva são essenciais para o planejamento agrícola em curto e longo prazo.

Assim como a precipitação média, a média mensal do número de dias com chuva para a bacia hidrográfica do rio Pirapó se caracteriza por apresentar maiores médias no período de outubro a março e os menores valores entre os meses de abril a setembro. A análise realizada a

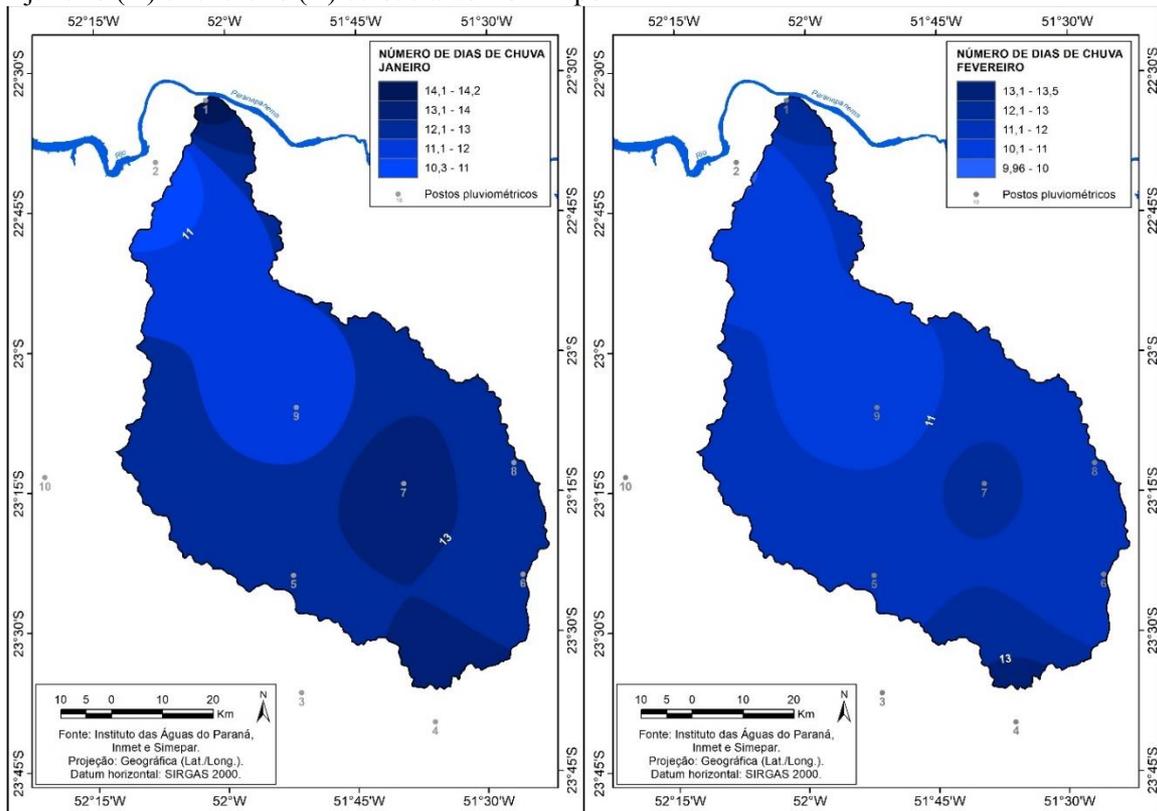
partir dos meses tem o intuito de verificar um maior detalhamento dos resultados, bem como a sua variação.

O mês de janeiro apresenta-se com a maior média de 12,6 dias com chuva (Figura 24 A). Verifica-se que as porções central e norte, onde se localizam o posto 9 (Santa Fé) e o posto 2 (Paranapoema) apresentaram valores inferiores a 12 dias, o que significa inferir que as áreas tanto do baixo, quanto médio e alto curso possuem valores acima da média. Os postos 1 (Jardim Olinda) no extremo norte da bacia, 7 (Astorga) e 4 (Cambira) demonstraram as maiores médias mensais.

Com uma pluviosidade média de 11,7 dias com chuva (Figura 24 B), verifica-se no mês de fevereiro uma distribuição da pluviosidade semelhante à do mês de janeiro. Neste mês a área mais ao sul da bacia, correspondente ao posto 4 (Cambira) destaca-se com valor médio superior a 13 dias de chuva, seguido pelo posto 7 (Astorga) e 1 (Jardim Olinda) com médias de 12 dias, inseridos no alto e baixo curso da bacia, respectivamente. Os postos 2 (Paranapoema) e 9 (Santa Fé), que se localizam na porção norte e central, demonstraram os menores valores de dias de chuva.

Anjos, Martins e Nery (2001), ao analisarem a precipitação pluviométrica para a região de Maringá de 1980 a 1999, concluíram que os meses de janeiro e fevereiro obtiveram os maiores valores médios de número de dias de chuva de 16 e 15, respectivamente. Segundo os autores, a área de estudo possui dois regimes de chuva bem definidos, onde os sistemas frontais atuam nos meses do outono e inverno e os sistemas convectivos, nos meses da primavera e verão.

Figura 24 - Distribuição espacial da média mensal (mm) do número de dias com chuva dos meses de janeiro (A) e fevereiro (B) da bacia do rio Pirapó-PR



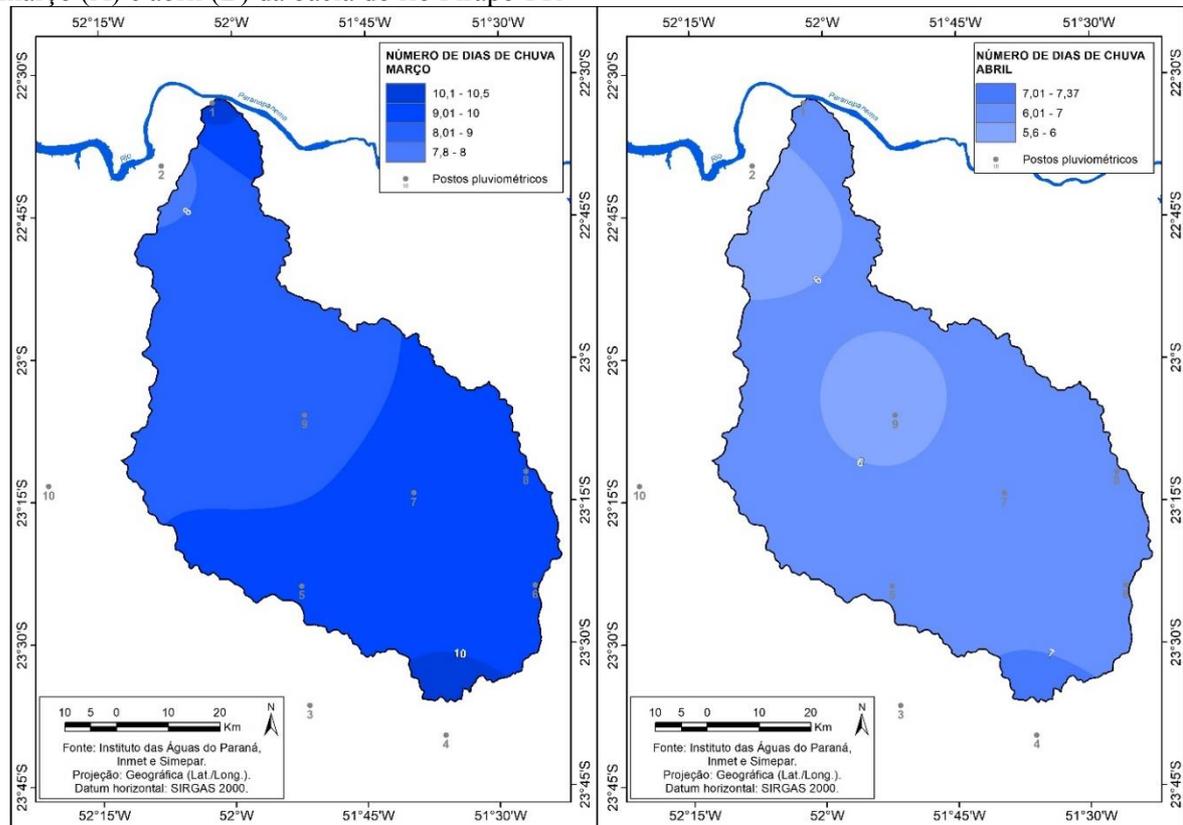
Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

Ao analisar a espacialização do número de dias com chuva (Figura 25 A) para o mês de março, é visível a diminuição para toda a área da bacia hidrográfica. Com média de 9,3 dias, observa-se que a porção mais ao sul e ao norte demonstram valores médios superiores a 10 dias, onde encontram-se os postos 4 (Cambira) e 1 (Jardim Olinda). Diferentemente, nas intermediações do posto 2 (Paranapoema) verifica-se o menor valor médio de 7,8 dias para a bacia hidrográfica.

Ao comparar espacialmente março e abril, verifica-se que há um declínio maior da média do número de dias com chuva e consequentemente da pluviosidade para toda a área da bacia hidrográfica. A média de dias para o mês de abril foi de 6,5 dias, sendo que o valor mais elevado se localiza no setor sul, onde se encontra o posto 4 (Cambira) com média superior a 7 dias, e menores para o setor norte e central, inferior a 6 dias (Figura 25 B).

De acordo com Climanálise (2019), nos meses de março e abril evidenciam a redução da precipitação em relação aos meses anteriores. Contudo, há maiores entradas de massas de ar frio na região Sul do Brasil, causando chuvas mais homogêneas e tempo estável após a passagem da frente fria.

Figura 25 - Distribuição espacial da média mensal (mm) do número de dias com chuva dos meses de março (A) e abril (B) da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

Verifica-se um leve aumento na média de dias com chuva para o mês de maio em relação a abril (Figura 26 A). Como é característica deste mês apresentar maior pluviosidade do que o mês anterior e posterior, nota-se também que a média de dias com chuva foi maior com 7,1 dias. Observa-se que a porção sudoeste e norte da bacia apresenta os maiores valores médios superiores a 7 dias, com destaque para o posto 4 (Cambira) apresentando média de 8,4 dias. As demais áreas tanto do baixo, como o médio e alto curso apresentaram médias inferiores a 7 dias com chuva.

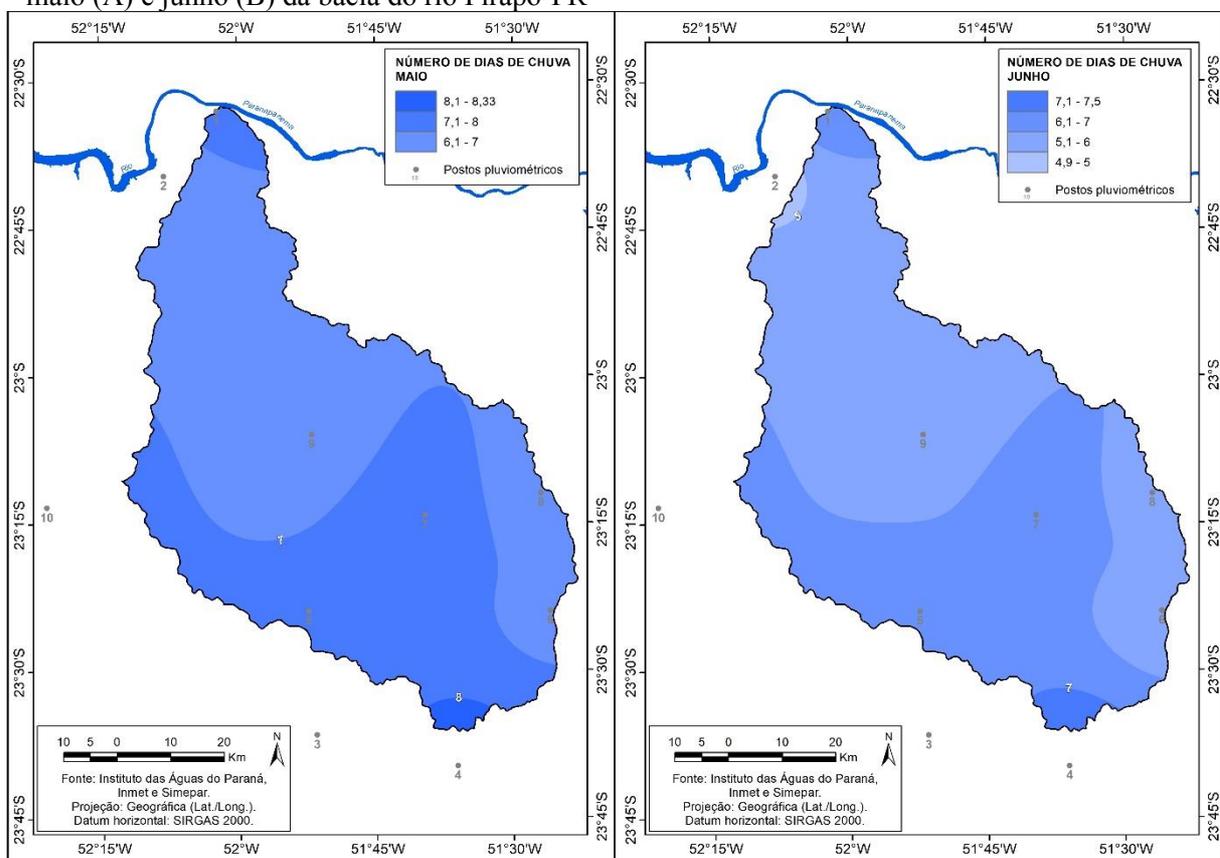
De acordo com Tommaselli, Baldo e Silveira (2004) e Terassi (2015), maio se destaca com valores superiores por ser um mês de transição de estações, em que pode ocorrer instabilidade provocada pelo encontro das massas de ar Polar Atlântica e Tropical Atlântica ou Tropical Continental.

Verifica-se no mês de junho (Figura 26 B) com média de 6,2 dias com chuva, que há a distribuição da pluviosidade semelhante ao mês anterior, em que a porção mais ao sul da bacia

representada pelo posto 4 (Cambira) obteve valor superior a 7 dias e as porções norte, central e sul as médias são inferiores, destacando-se o posto 2 (Paranapoema) com 4,9 dias com chuva.

Nota-se a partir da espacialização da pluviosidade que na porção sudoeste da bacia podem ter maior atuação dos sistemas atmosféricos extratropicais, como a passagem de sistemas frontais. De acordo com Cavalcanti e Kousky (2009), as frentes frias no sul do Brasil são mais frequentes nos meses de maio a setembro podendo provocar precipitações que acompanhadas por massas de ar das latitudes mais altas tendem a estabilizar as condições do tempo atmosférico.

Figura 26 - Distribuição espacial da média mensal (mm) do número de dias com chuva dos meses de maio (A) e junho (B) da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

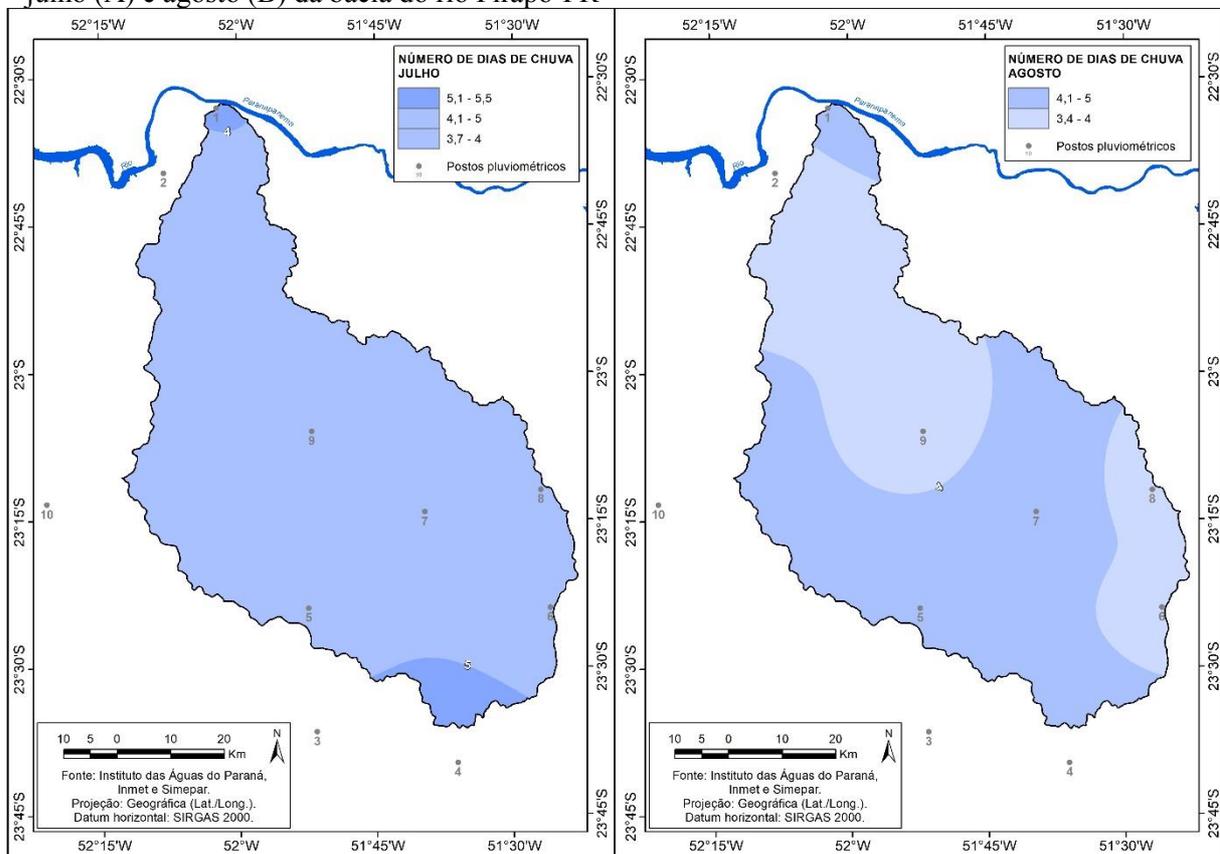
Observa-se que o mês de julho foi um dos meses com menor média de 4,7 dias com chuva (Figura 27 A). Percebe-se que há uma distribuição homogênea da pluviosidade na área de estudo neste mês, em que somente o posto 3 (Marialva) e 4 (Cambira) se sobressaíram com médias superiores a 5 dias e o posto 1 (Jardim Olinda) acima de 4 dias com chuva.

Com pluviosidade média de 4,2 dias, agosto (Figura 27 B) se destaca pela menor média registrada em comparação com os demais meses. Nota-se que as porções norte e sudoeste da

bacia demonstram as maiores médias, onde encontram-se os postos 1 (Jardim Olinda), 3 (Marialva), 4 (Cambira), 5 (Maringá), 7 (Astorga) e 10 (Nova Esperança). Já as porções sudeste, central e norte apresentam valores médios inferiores a 4 dias com chuva.

Nery, Martins e Roseghini (2004), ao estudarem a precipitação pluviométrica e o número de dias com chuva para a região noroeste do Paraná no período de 1972 a 1997, concluíram que durante os meses de junho, julho e agosto o número oscilou entre 4 e 7 dias com chuva. Segundo os autores, a redução dos dias com chuva acompanha a diminuição da pluviosidade, e possui relação com a entrada de frentes frias na região.

Figura 27 - Distribuição espacial da média mensal (mm) do número de dias com chuva dos meses de julho (A) e agosto (B) da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

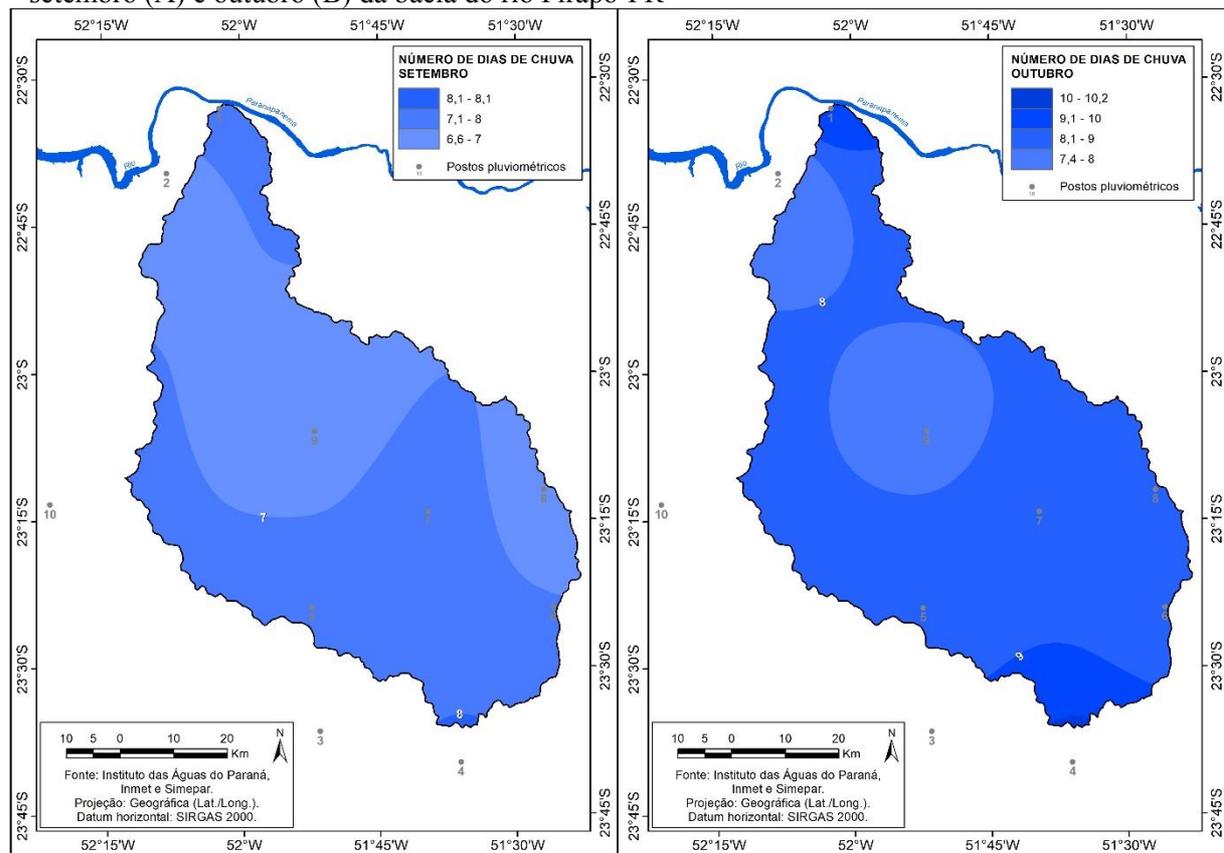
Verifica-se o início da estação chuvosa pelo aumento expressivo da média do número de dias com chuva em setembro de 7,2 dias (Figura 28 A). Observa-se que a espacialização da pluviosidade em setembro é semelhante aos meses de agosto, maio e junho, onde os maiores valores médios encontram-se na porção Sudoeste e Norte da bacia se destacando o posto 4

(Cambira) com média acima de 8 dias com chuva. Contudo, em parte das porções norte, central e sul médias inferiores a 7 dias.

Em outubro com pluviosidade média diária de 8,7 dias (Figura 28 B), observa-se que grande parte dos postos localizados no baixo, médio e alto curso possui médias superiores a 8 dias de chuva com destaque para o posto 4 (Cambira) com média acima de 9 dias com chuva. Já parte das porções central, onde se encontra o posto 9 (Santa Fé) e norte, no posto 2 (Paranapoema) as médias foram inferiores a 8 dias com chuva.

Silva Dias, Rozante e Machado (2009) e Ferreira e Anabor (2015) indicam que os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs) são responsáveis por 39% da frequência da pluviosidade nos meses da primavera. De acordo com Reboita *et al.* (2010), o desenvolvimento dos CCMs está associado à atuação do Jato de Baixos Níveis (JBN) por transportar ar quente e úmido da região amazônica para a região Sudeste e Sul do Brasil.

Figura 28 - Distribuição espacial da média mensal (mm) do número de dias com chuva dos meses de setembro (A) e outubro (B) da bacia do rio Pirapó-PR



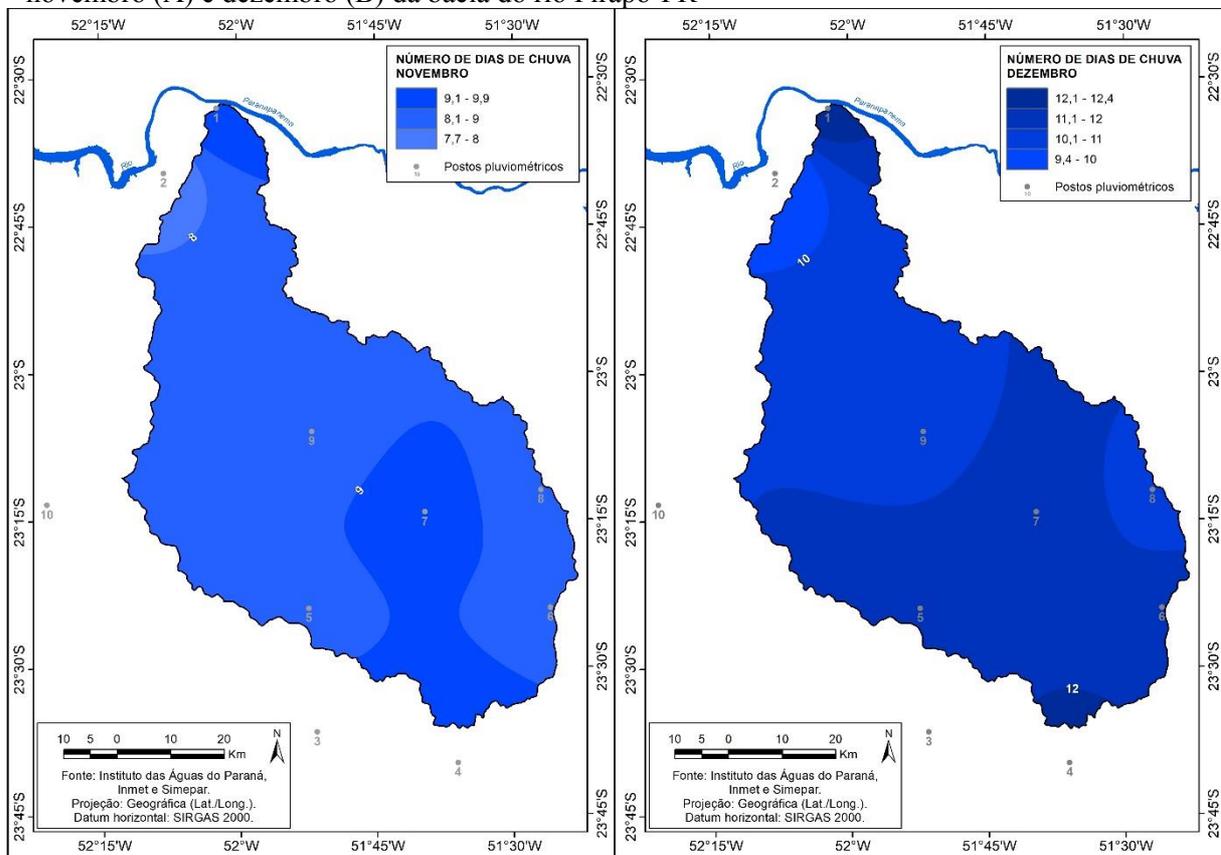
Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

Nota-se que a média de 8,9 dias com chuva (Figura 29 A) em novembro foi semelhante ao mês de outubro para a área da bacia hidrográfica do rio Pirapó. Na porção sul, onde estão os postos 3 (Marialva), 4 (Cambira) e 7 (Astorga) e ao norte no posto 1 (Jardim Olinda) os valores médios mais expressivos foram acima de 9 dias, ao passo que somente nas proximidades do posto 2 (Paranapoema) demonstra média inferior a 8 dias com chuva.

O mês de dezembro apresenta a terceira maior média mensal com 11,2 dias com chuva em relação aos demais meses (Figura 29 B). Nota-se o predomínio de valores médios acima de 10 dias em grande parte da bacia, com destaque para os postos 1 (Jardim Olinda) e 4 (Cambira) localizados no baixo e alto curso com médias superiores a 12 dias com chuva. A área com média inferior a 10 dias se restringe ao posto 2 (Paranapoema).

Grimm (2009), Gan *et al.* (2016) indicam que o sistema de monção na América do Sul contribui para a organização da convecção no norte da região Sul do Brasil. Segundo os autores, fatores como o transporte da umidade proveniente da Amazônia e o enfraquecimento da Baixa do Chaco são importantes para maior precipitação durante os meses do verão.

Figura 29 - Distribuição espacial da média mensal do número de dias com chuva dos meses de novembro (A) e dezembro (B) da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

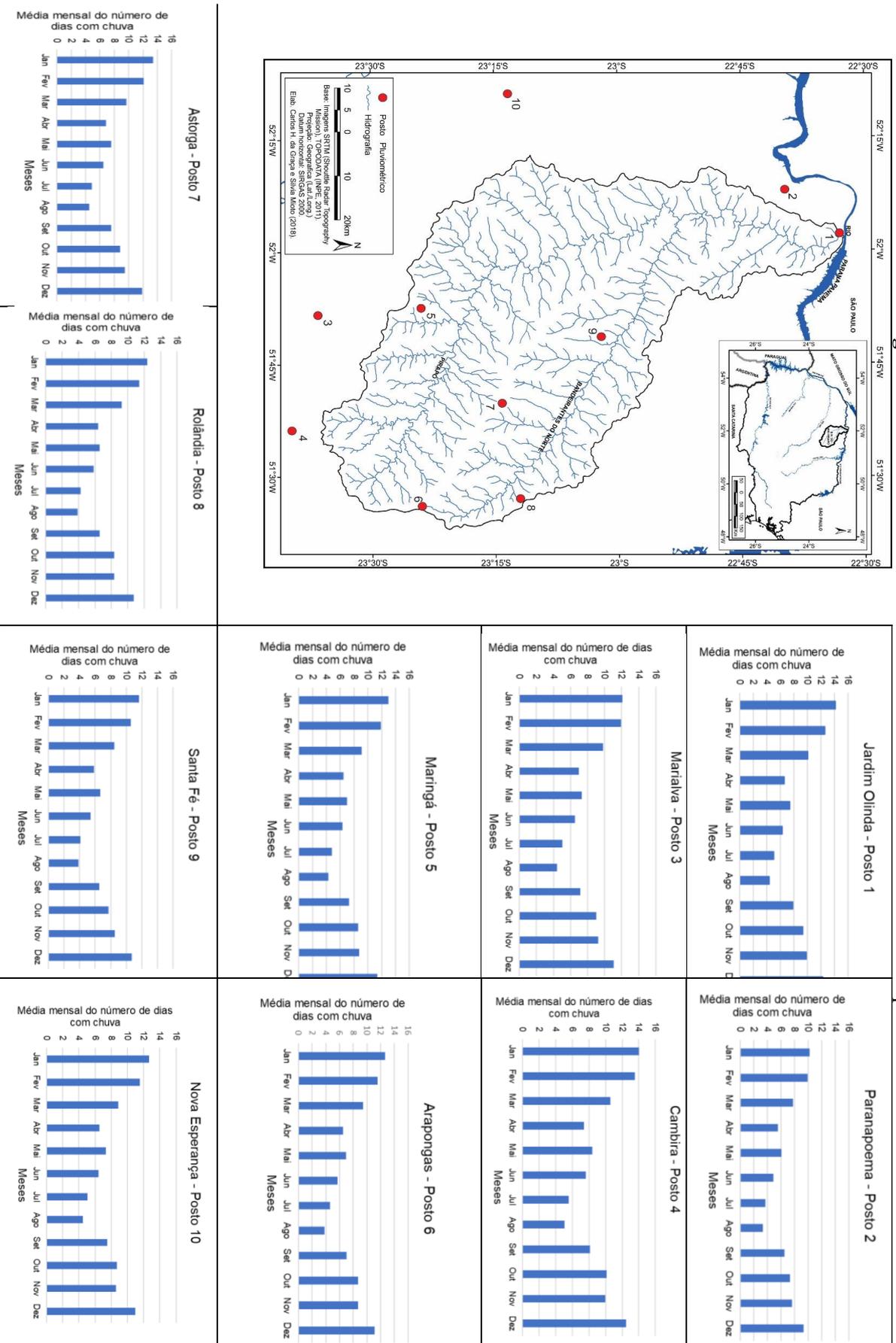
A partir da análise mensal dos dias com chuva foi possível identificar que os períodos de setembro a março apresentam as maiores médias de dias de chuva com destaque para dezembro, janeiro e fevereiro. Observa-se neste período que os postos localizados na porção ao sul e norte ou no alto e baixo curso da bacia possuem valores médios elevados em todos os meses, sendo o posto 4 (Cambira) e 1 (Jardim Olinda) os mais representativos, ao passo que a área correspondente ao posto 2 (Paranapoema) se destaca com os menores valores médios do número de dias com chuva (Figura 30).

Através da Figura 30 pode-se observar a variação da média mensal para cada posto pluviométrico da bacia hidrográfica, em que os postos situados na porção mais ao sul apresentam médias mais elevadas em todos os meses, se comparadas com os postos inseridos mais ao norte. Esta característica está associada à variação do relevo na área de estudo, em que a porção sul da bacia apresenta cotas altimétricas acima de 500 metros, diferentemente dos postos localizados ao norte, com variações abaixo de 490 metros.

Percebe-se que no período de abril a agosto, marcado pelas menores ocorrências de dias com chuva, os meses de julho e agosto se sobressaem com valores médios que não ultrapassaram 5 dias em relação aos meses anteriores e posteriores para a área de estudo (Figura 30).

Os resultados referentes à distribuição espacial bem como a variação das médias mensais do número de dias com chuva estão em consonância com as médias pluviométricas verificadas na presente pesquisa, sendo também encontrados por Ribeiro (1987) e Terassi (2015). Contudo, nos resultados encontrados ressalta-se a possível influência dos corpos de água na localidade do posto 1 (Jardim Olinda) que não foi citada pelos autores consultados.

Figura 30 - Média mensal do número de dias com chuva da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

5.3 PLUVIOSIDADE MÁXIMA

5.3.1 Análise da pluviosidade máxima anual

A discussão sobre a ocorrência de chuvas intensas tem ganhado destaque em diversas áreas do meio científico. Tais discussões são associadas não apenas às mudanças climáticas, mas principalmente aos impactos socioeconômicos causados pelos eventos extremos.

As pesquisas relacionadas a este tema são ao mesmo tempo conflituosas e desafiadoras, pelo fato de que não há exatidão da comunidade científica a respeito da formação destes eventos intensos, bem como da sua previsão. A necessidade de ampliação de estudos dos eventos intensos de precipitação no âmbito regional tem sido de grande importância, pois ao relacionar a variabilidade climática regional e a ocorrência desses eventos, torna-se fundamental para a produção e planejamento agrícola, para a infraestrutura urbana, a gestão de recursos hídricos, entre outros.

Sabendo que a bacia hidrográfica do rio Pirapó possui um papel fundamental na manutenção da agricultura, economia e abastecimento da região, o conhecimento acerca das precipitações máximas diárias, auxilia como ferramenta na minimização dos impactos referentes à erosão dos solos, bem como na mitigação de problemas de abastecimento de água, que atualmente já é uma realidade para alguns municípios, como Maringá, por exemplo.

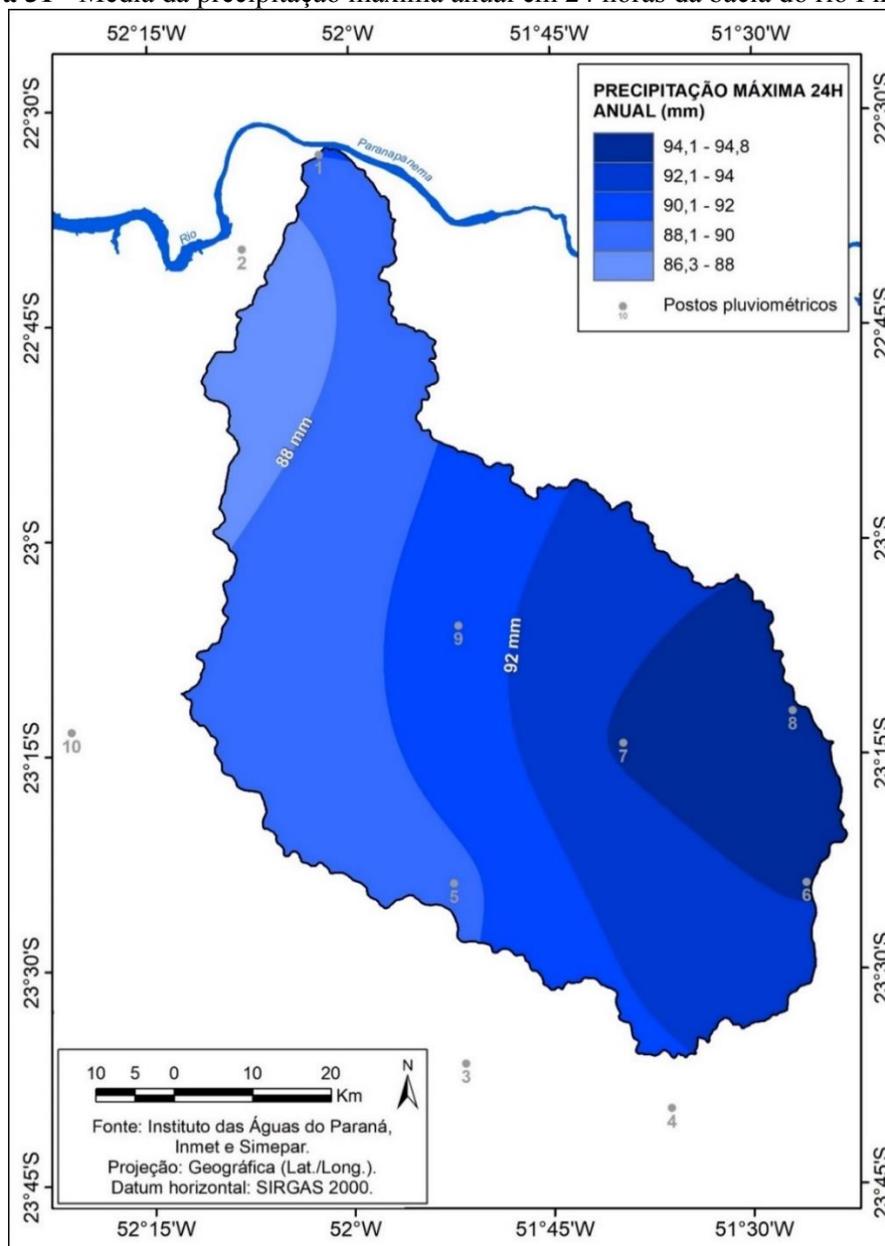
A média anual da pluviosidade máxima em 24 horas para a bacia do rio Pirapó é de 91,6 mm (Figura 31), onde as porções central e sul demonstram os maiores valores médios, com destaque para os postos 4 (Cambira) com 98,0 mm, 6 (Arapongas) com 94,5 mm, 7 (Astorga) com 95,7 mm e 8 (Rolândia) com 95,1 mm.

Os postos com elevadas médias dos máximos pluviométricos diários concentram-se nas áreas central e sul da bacia e apresentam as maiores altitudes, acima de 600 metros e maiores médias pluviométricas anuais. Porém, o posto 2 (Paranapoema) ao norte e com cerca de 299 metros de altitude demonstra a menor média em relação às demais áreas da bacia, com 83,0 mm anual (Figura 31).

Embora a literatura (RIBEIRO, 1987; ANDRIUCCI, SANT'ANNA NETO; FERREIRA, 2002; TERASSI, 2015) ressalte que o padrão de distribuição das médias pluviométricas aumente do baixo para o alto curso devido à altitude, observa-se que este não é a única exceção, uma vez que o posto 1 (Jardim Olinda) com altitude de 318 metros

obteve a média anual diária de 92,0 mm, juntamente com os postos de maiores altitudes da bacia. Entende-se desta forma que os máximos diários podem ocorrer independente da altitude da bacia, estando desta forma associados à dinâmica climática local e regional.

Figura 31 - Média da precipitação máxima anual em 24 horas da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

Embora exista uma grande discussão na literatura a respeito dos sistemas atmosféricos capazes de gerar chuvas intensas, observa-se que a condição sinótica responsável por essas chuvas é muito pontual e difícil de ser explicada. Teixeira (2010) explica que mesmo havendo um fenômeno de escala global que favoreça o aumento das

chuvas, este, dependeria das condições atmosféricas locais. O pesquisador ao estudar a condição sinótica das chuvas intensas na região Sul e Sudeste do Brasil, verificou que estas são em grande parte geradas pelos sistemas frontais e pelos Complexos Convectivos de Mesoescala.

Reboita *et al.* (2017) argumentam que os eventos intensos de chuvas são difíceis de serem previstos devido à variabilidade atmosférica. Ao analisarem as condições sinóticas de um evento de chuva intensa no sul de Minas Gerais no ano 2000, os autores constataram grande influência dos Jatos de Baixos Níveis (JBN) no transporte de umidade da região Norte para a região Sudeste do Brasil.

Mioto (2017) quantificou a ocorrência de chuvas intensas no alto curso da bacia do rio Pirapó e verificou um número expressivo de ocorrências entre os municípios de Maringá e Apucarana no período entre 2009 a 2013. No ano de 2009 principalmente, em Maringá foram registrados 84 eventos de chuvas intensas e no município de Apucarana apenas 20 eventos. A partir destes resultados pode-se inferir que as chuvas intensas são ocasionadas por diversos sistemas atmosféricos que atuam diferentemente na área da bacia e potencializadas pelo fluxo de energia.

Nimer (1989) explica que a localização geográfica do Paraná apresenta características de transição climática, onde o norte do estado é influenciado em grande parte pelos sistemas atmosféricos tropicais e o Sul é predominantemente condicionado pelos sistemas frontais. Esta nuance de sistemas atmosféricos opostos na área, contribuiria para a formação de eventos de chuvas intensas, conforme aponta Ribeiro (1987) e Grimm (2009).

Observando a Figura 32, que representa a pluviosidade máxima em 24 horas para a série histórica de 1980 a 2017, pode-se verificar que todos os anos, com exceção de 2004, apresentaram precipitação máxima em 24 horas acima da média de 91,6 mm. Os anos de 1985, 1997, 1999, 2002, 2012 e 2016, apresentaram máximos anuais superiores a 150,0 mm, sendo que nos dois últimos anos a precipitação máxima diária foi acima de 200 mm.

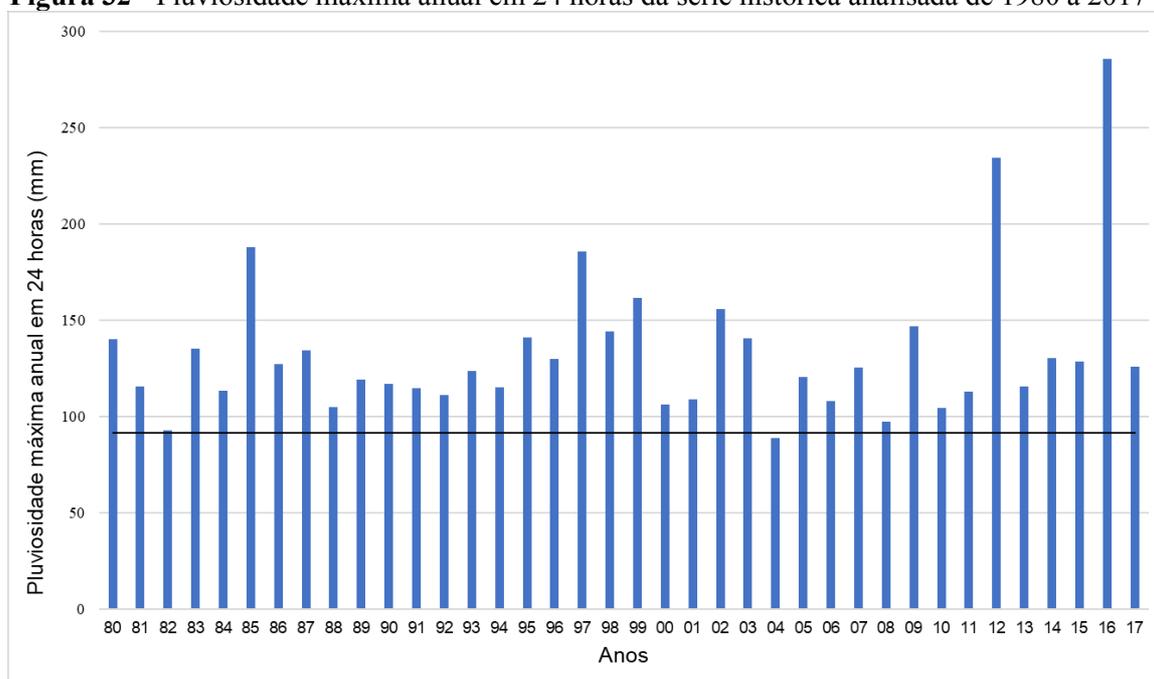
Nota-se também que a partir de 1997 há o maior número de anos mais representativos quanto aos valores de precipitação máxima superior a 150,0 mm em 24 horas, o que não é perceptível entre 1980 e 1996. Segundo Golden Gate Weather Service (2020), o ano de 2004 foi caracterizado com fenômeno El Niño “fraco”, e mesmo assim apresentou o menor valor de pluviosidade máxima diária entre todos os anos da série histórica analisada.

O ano de 1985 foi caracterizado com os fenômenos La Niña “fraco”, 1999 como La Niña “forte”, 2002 como El Niño “moderado”, 2012 foi caracterizado com o fenômeno La Niña “moderado” e 1997 e 2016 como El Niño “muito forte” (GOLDEN GATE WEATHER SERVICE, 2020). De acordo com Pereira, Reboita e Ambrizzi (2017) nos anos de 2015 e 2016 o evento El Niño “muito forte” contribuiu para anomalias positivas de precipitação no Sul do Brasil de até 6 mm diários acima da média climatológica.

Berezuk e Sant’Anna Neto (2006) escolheram os anos de 1997, 1998 e 2001 para analisar a ocorrência de eventos extremos de precipitação no oeste paulista e norte do Paraná. Verificaram que houve registro de chuvas até 100,0 mm em 24 horas nestes anos, principalmente, em 1997 caracterizado com o fenômeno El Niño. Os autores ressaltam que mesmo em anos com características habituais como 2001, ou mesmo sob a influência do fenômeno La Niña, pode haver a ocorrência de extremos de precipitação.

Silva, Caramori e Faria (2012), ao investigarem a ocorrência de chuvas extremas para o município de Londrina na série histórica de 1961 a 2010, observaram forte relação dessas chuvas com os eventos de El Niño e La Niña. Segundo os autores, cerca de 55% das chuvas extremas ocorreram em anos de El Niño e 21,5% em anos sob a influência de La Niña.

Figura 32 - Pluviosidade máxima anual em 24 horas da série histórica analisada de 1980 a 2017



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

5.3.2 Análise da pluviosidade máxima sazonal

Alguns fenômenos atmosféricos são essenciais na determinação da precipitação da região Sul ao longo do ano, como os sistemas frontais, os complexos convectivos de mesoescala (CCM) e o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) (REBOITA et al., 2010). De acordo com Teixeira (2010), a interação de tais fenômenos atmosféricos está associada à geração de chuvas intensas na região Sul do Brasil.

Severo (2008) destaca que as diferenças de regime de precipitação no Sul do Brasil ao longo do ano são mais perceptíveis entre as porções oeste do Paraná e Santa Catarina e o norte do Paraná. Segundo o autor, há uma amplitude de pluviosidade significativa entre as estações do ano nestas áreas.

A estação do verão e do outono apresentaram as maiores médias de pluviosidade máxima em 24 horas para a área de estudo, diferentemente das características apresentadas nos capítulos anteriores, onde o verão e a primavera se destacaram. A média no verão foi de 122,7 mm e o outono 129,2 mm, respectivamente (Figura 33 A).

Observa-se que a distribuição espacial da pluviosidade máxima em 24 horas, caracteriza-se pelo aumento gradativo do baixo para o alto curso da bacia do rio Pirapó. Os postos 1 (Jardim Olinda) e 2 (Paranapoema) inseridos no baixo curso obtiveram as menores médias de 101,3 mm e 108,7 mm e os postos 4 (Cambira) e 6 (Arapongas) localizados no alto curso demonstraram os maiores valores médios com 123,5 mm e 160,0 mm, respectivamente (Figura 33 A).

No outono, pode-se perceber um aumento significativo nos valores médios de pluviosidade máxima em 24 horas. Com média de 129,2 mm em 24 horas, observa-se de maneira bem clara, a concentração de maiores valores médios no médio e alto curso da bacia, como mostra a Figura 33 B.

Ressalta-se que a distribuição espacial da pluviosidade nesta estação apresenta alguns postos com maiores médias de precipitação, sendo o posto 9 (Santa Fé) na porção central, posto 8 (Rolândia) no setor sudeste da bacia e os postos 3 (Marialva) e 4 (Cambira) ao sul da área. Os postos 1 (Jardim Olinda) e 2 (Paranapoema) localizados ao norte, demonstraram os menores valores médios de precipitação máxima em 24 horas (Figura 33 B).

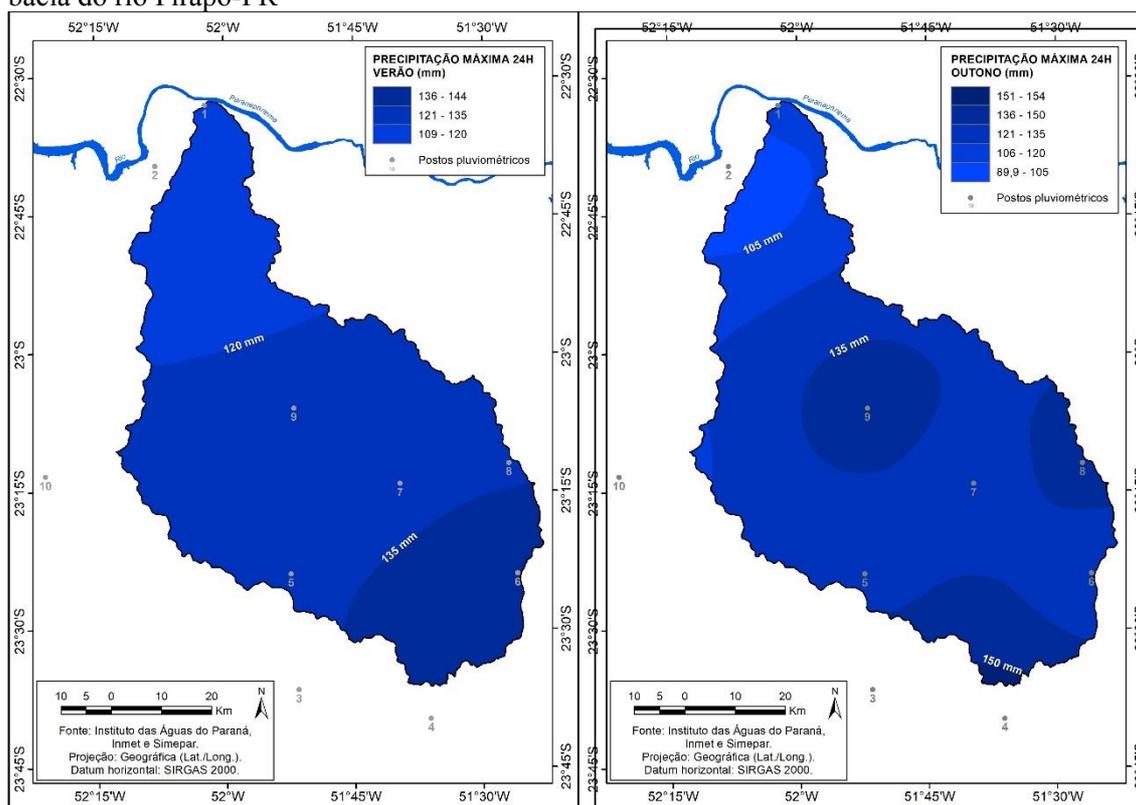
Teixeira e Satyamurty (2006) identificaram que durante o verão e o outono de 1991 e 2001 ocorreram 37 e 41 casos de chuvas intensas na região Sul do Brasil. Para os

autores, fatores como o fluxo de umidade, a pressão ao nível médio do mar (PNMM) estão associados à formação de chuvas intensas nestas estações do ano na região.

No Paraná, Pinheiro (2016) ao analisar a sazonalidade dos eventos intensos de precipitação na bacia do alto rio Iguaçu-PR, verificou que o verão é a estação com maiores ocorrências destes eventos entre 1980 e 2010. Segundo a autora, a frequência destes eventos pode estar associada ao fenômeno ENOS.

Ao classificar a intensidade pluviométrica no alto curso do rio Pirapó-PR de 2009 a 2013 por meio de dados diários de precipitação, Mioto (2017) verificou que durante o verão ocorreram 150 eventos de chuva forte em Maringá e 43 em Apucarana. Já nos meses que compreendem o outono foram registrados 50 eventos para Maringá e 22 em Apucarana. Esta diferença no número de eventos, segundo a autora, obedece à sazonalidade da área de estudo.

Figura 33 – Média da pluviosidade máxima em 24 horas durante o verão (A) e outono (B) da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Sílvia Mioto (2018).

A literatura aponta que durante os meses do inverno há uma expressiva redução da pluviosidade no norte do Paraná (NIMER, 1989; GRIMM, 2009; TERASSI, 2015; NITSCHKE *et al.*, 2019). Ao analisar a média da precipitação máxima em 24 horas para a

estação do inverno (Figura 34 A) percebe-se que houve também uma redução nos valores em toda a área da bacia. Contudo, as porções em que os valores foram superiores à média de 90,9 mm concentraram-se no Norte, onde localizam-se os postos 1 (Jardim Olinda) e 2 (Paranapoema) e ao sul nos postos 3 (Marialva), 4 (Cambira), 6 (Arapongas) e 7 (Astorga).

A redução da pluviosidade máxima em 24 horas para a estação do inverno está em consonância com os resultados obtidos por Deffune, Klosowski e Silva (1995), Terassi, Silveira e Graça (2016) e Mioto (2017), os quais indicam que nesta estação há maior incursões de sistemas frontais e consequentemente chuvas menos intensas.

Escobar, Seluchi e Andrade (2016) estudaram as chuvas intensas no leste do estado de Santa Catarina entre 1979 e 2010. Concluíram que embora as frentes frias tenham um máximo de ocorrência no inverno, é durante a primavera que intensificam as precipitações acima de 20 mm em 24 horas.

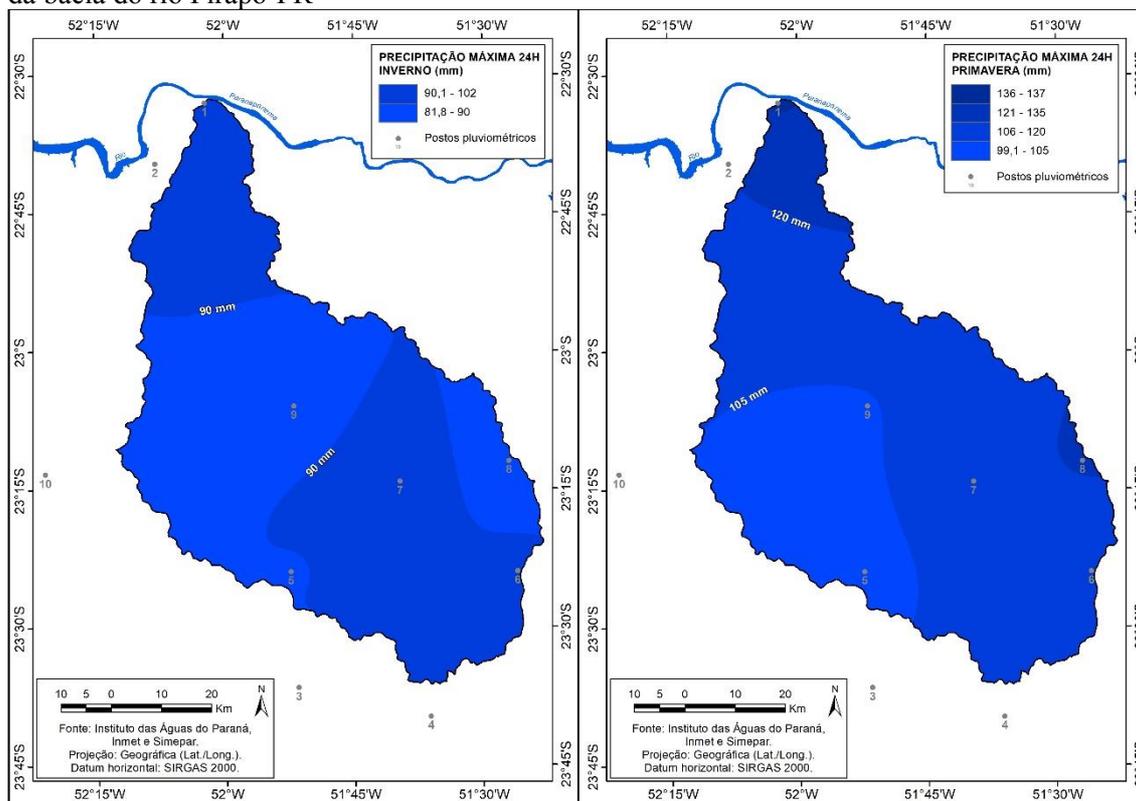
A média da pluviosidade máxima em 24 horas para a primavera (Figura 34 B) é semelhante ao observado no verão e outono com 112,5 mm. Observa-se que a porção mais ao norte onde encontra-se o posto 1 (Jardim Olinda) e porção sudeste no posto 8 (Rolândia) os valores são superiores à média com 136,7 mm e 120,6 mm, respectivamente.

Teixeira (2010) ao analisar o comportamento da precipitação e dos eventos intensos na região Sul do Brasil entre 1960 e 2004 verificou que as chuvas podem ter máximos diários entre 100,0 mm e 150,0 mm durante as estações do outono e primavera. Segundo o autor, nestas estações as chuvas intensas podem estar associadas à formação dos complexos convectivos de mesoescala (CCM), como aponta Grimm (2009) e Ferreira e Anabor (2015).

Nota-se que diferentemente do inverno, a primavera se destaca com médias da pluviosidade máxima em 24 horas semelhantes à estação do verão, confirmando a característica da área de estudo com um clima de transição (NIMER, 1989). A estação do outono é a que se sobressaiu em relação às demais e em relação ao número de dias de chuva e a pluviosidade média, confirmando a hipótese de que as chuvas máximas em 24 horas não obedecem a um padrão de distribuição uniforme e esperado (BALDO, 2018).

Segundo Nimer (1989) e Terassi (2015), as estações do verão e primavera se caracterizam por uma atuação associada dos sistemas atmosféricos intertropicais e os sistemas extratropicais, condição que favorece o aumento da pluviosidade.

Figura 34 – Média da pluviosidade máxima em 24 horas durante o inverno (A) e primavera (B) da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

5.3.3 Análise da pluviosidade máxima mensal

Foram analisadas as precipitações máximas em 24 horas para cada mês da área de estudo, sendo possível identificar que não somente a porção que compreende o alto curso da bacia é mais suscetível à ocorrência de eventos intensos de chuvas.

Pode-se observar que o mês de janeiro (Figura 35 A) apresenta uma pluviosidade máxima em 24 horas acima de 100 mm em toda a área da bacia do Pirapó, com destaque para o setor mais ao sul da bacia. A média da precipitação máxima em 24 horas foi de 145,8 mm, onde o posto 6 (Arapongas) se destacou com maior máxima de 285,5 mm em 24 horas.

Observa-se que o mês de fevereiro (Figura 35 B) apresentou média inferior a janeiro, com 112,9 mm em 24 horas. Embora a distribuição da pluviosidade máxima em 24 horas apresente uma certa homogeneidade, verifica-se um núcleo de maior precipitação máxima mensal no posto 9 (Santa Fé) localizado na porção central com 130,4

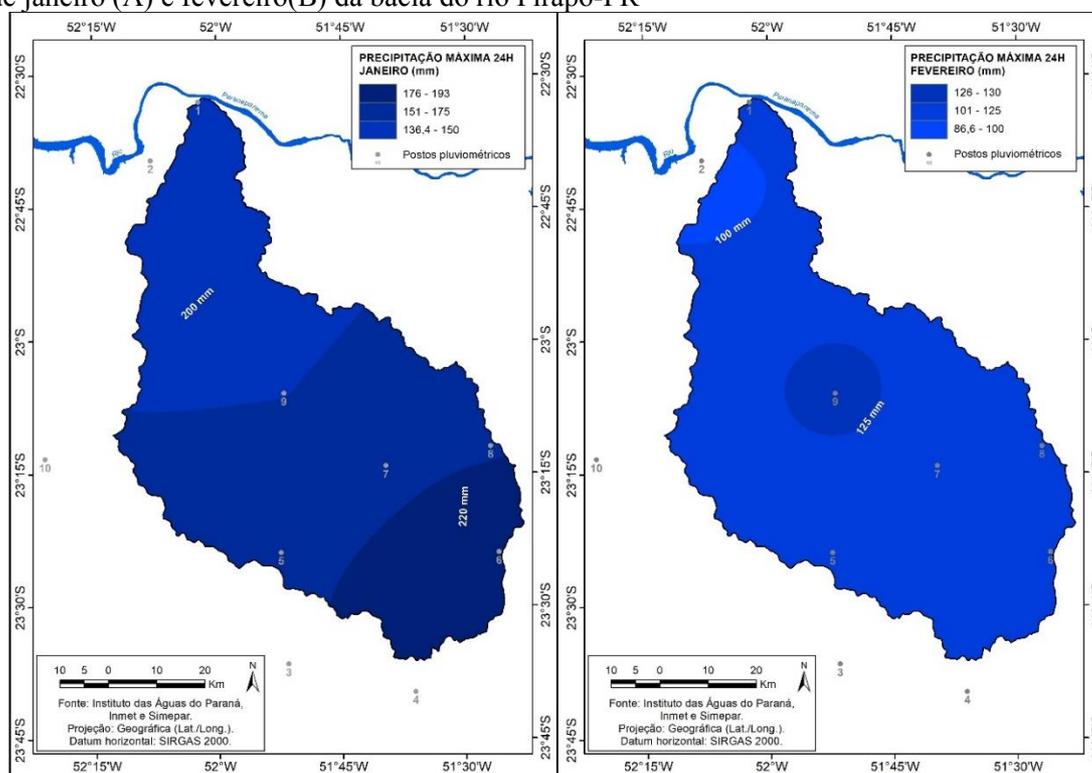
mm e outro com menor valor ao norte da bacia no posto 2 (Paranapoema) com 84,0 mm em 24 horas.

Ao utilizar os valores da Organização Mundial de Meteorologia (OMM) relativos à intensidade pluviométrica para Maringá entre 1976 e 1994, Deffune, Klosowski e Silva (1995) identificaram uma diferença significativa no número de ocorrências de chuvas fortes superiores a 60,0 mm por hora entre os meses de janeiro e fevereiro. De acordo com os autores, janeiro apresentou 28 ocorrências de chuva forte e fevereiro apenas 10.

Terassi *et al.* (2018), após aplicarem a técnica do *quantis* para a região norte do Paraná entre 1976 e 2015, verificaram que a localidade de Maringá apresentou os maiores valores para os registros diários de chuva entre janeiro e fevereiro. Os autores salientam o predomínio dos sistemas atmosféricos intertropicais durante setembro a março responsáveis na gênese das chuvas para a área de estudo.

Watrack *et al.* (2015) indicam que a erosão dos solos está intimamente ligada à variação pluviométrica no Paraná. Os autores verificaram que ao longo do ano, os meses de janeiro e fevereiro juntamente com o mês de outubro, apresentam os maiores valores de erosividade entre 1986 e 2008.

Figura 35- Distribuição espacial da pluviosidade máxima mensal em 24 horas (mm) dos meses de janeiro (A) e fevereiro (B) da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Miotto (2018).

Embora haja a diminuição da pluviosidade máxima em 24 horas a partir de março, verifica-se a ocorrência de totais pluviométricos diários significativos em alguns postos durante os meses de março e abril.

Mesmo que grande parte da bacia do rio Pirapó apresente a média da pluviosidade máxima superior a 100,0 mm em 24 horas, percebe-se a diminuição da média durante o mês de março com 109,7 mm (Figura 36 A). É possível identificar núcleos com maiores valores diários, como os postos 4 (Cambira), 8 (Rolândia) e 9 (Santa Fé) no médio e alto curso da bacia de 135,2 mm, 130,0 mm e 128,4 mm, respectivamente. Ao mesmo tempo os postos 1 (Jardim Olinda) ao norte, 6 (Arapongas) e 7 (Astorga) ao sul da bacia demonstraram os menores valores com 80,4 mm, 84,5 mm e 94,6 mm diários.

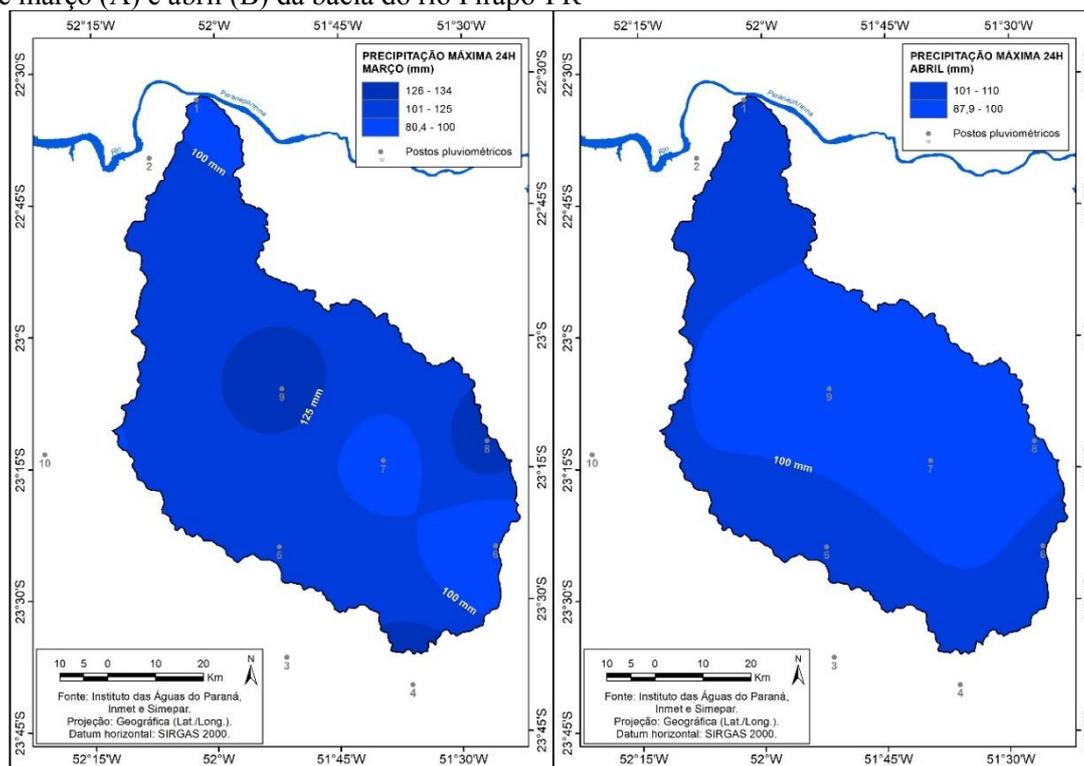
Em abril a média da pluviosidade máxima em 24 horas foi semelhante a março com 108,3 mm (Figura 36 B). Observa-se um aumento da área com precipitação máxima diária abaixo da média nos postos 7 (Astorga), 8 (Rolândia) e 9 (Santa Fé) localizados na porção central e oeste da bacia. Em contrapartida, o posto 3 (Marialva) ao sul da área demonstrou o maior valor de pluviosidade máxima registrado em 24 horas de 186,0 mm.

A ocorrência de máximos de precipitação em determinadas épocas do ano contribui para a geração de impactos na agricultura, principalmente em áreas onde a economia depende desta atividade. Nas áreas onde não são realizadas técnicas de manejo conservacionista do solo e mesmo áreas de plantio direto, com a ausência de terraços, caixas de contenção das águas pluviais, por exemplo, as chuvas máximas ocasionam incontáveis prejuízos.

Caldana, Nitsche e Caramori (2019) salientam que as precipitações intensas acompanhadas de granizo prejudicam a atividade agrária no sudoeste paranaense. Ao analisarem a precipitação diária nos anos de 1980 a 2018, os autores concluíram que houve 196 chuvas intensas associadas ao granizo para a área de estudo com perdas agrícolas em vários municípios da região.

Segundo Grimm (2009), nas estações tanto do outono quanto da primavera, o jato subtropical de altos níveis (JSAN) que se centraliza no Sul do Brasil e nordeste da Argentina podem contribuir nos máximos de precipitação da região.

Figura 36 - Distribuição espacial da pluviosidade máxima mensal em 24 horas (mm) dos meses de março (A) e abril (B) da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

Como esperado, o mês de maio registrou os maiores valores médios da precipitação diária em relação aos meses de março e abril. Com média de 123,6 mm em 24 horas observa-se que a porção central da área apresentou maior máximo mensal no posto 9 (Santa Fé) com 155,9 mm, enquanto o setor sudeste onde se encontra o posto 8 (Rolândia) demonstra o menor valor com 90,0 mm em 24 horas (Figura 37 A).

Andrade (2005), Baldo (2006), Cavalcanti e Kousky (2009) enfatizam que a mudança no comportamento da precipitação a partir do mês de maio ocorre a partir da intensificação dos sistemas polares na região Sul do Brasil.

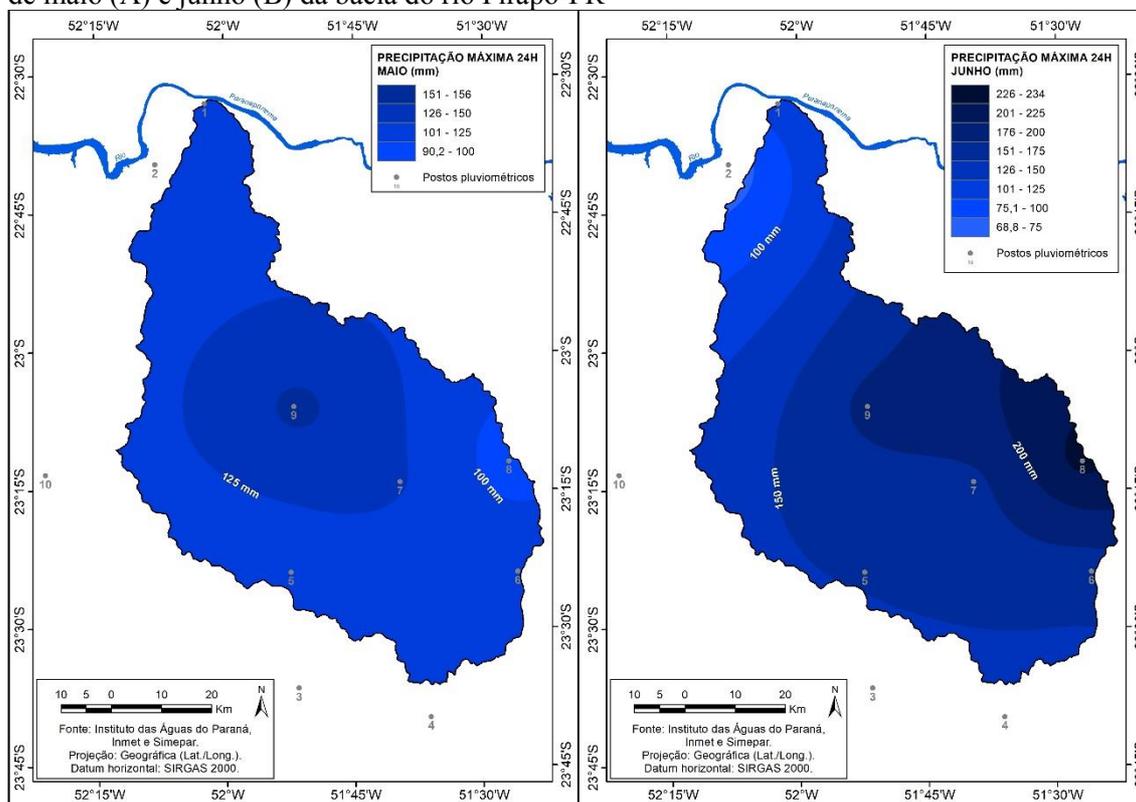
Prieto e Teixeira (2016) averiguaram que durante o mês de maio do ano de 2004 ocorreram chuvas intensas e persistentes no estado do Rio Grande do Sul com um total de 300 mm em 6 dias. Segundo os autores, somente na estação meteorológica de Pelotas houve o registro de 200 mm de chuva em 24 horas.

A média da pluviosidade máxima em 24 horas para o mês de junho foi superior ao mês anterior com 155,8 mm (Figura 37 B). Observa-se que nas porções central e sul da bacia demonstram os maiores máximos, com destaque para o posto 8 (Rolândia) que obteve o maior máximo, 234,2 mm em 24 horas. Ao norte da bacia, onde está inserido o posto 2 (Paranapoema) registra-se o menor máximo diário com 68,8 mm.

Os resultados para o mês de junho corroboram os encontrados por Mioto (2017). Segundo a autora, em junho de 2013 ocorreram 3 eventos de chuva acima de 10,0 mm em 10 minutos em Maringá e 6 eventos em Apucarana. Os resultados de Deffune, Klosowski e Silva (1995) indicaram a ocorrência de 12 eventos de chuva acima de 60,0 mm por hora.

Teixeira e Prieto (2020) apontam que eventos extremos de chuva são dependentes da umidade e instabilidade atmosférica, bem como das particularidades dos fenômenos causadores de chuva, como a velocidade do deslocamento dos sistemas atmosféricos, entre outros. Entretanto, salienta-se que a definição de chuvas extremas nas várias pesquisas é muito subjetiva, pois são resultados de diferentes metodologias aplicadas.

Figura 37 - Distribuição espacial da pluviosidade máxima mensal em 24 horas (mm) dos meses de maio (A) e junho (B) da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Sílvia Mioto (2018).

Os meses que compõem o inverno obtiveram as menores médias de pluviosidade máxima em 24 horas. A média para o mês de julho foi de 97,3 mm (Figura 38 A), no posto 1 (Jardim Olinda) que demonstrou o maior valor de pluviosidade diária com 125,3 mm, já os demais postos apresentaram valores inferiores a 100,0 mm. Nota-se que na porção norte e oeste da bacia os valores médios são superiores a 100,0 mm em 24 horas e grande parte das áreas central e sul com valores inferiores.

Os estudos de Rosisca *et al.* (2013) indicaram que nos meses do inverno de 1981 a 2012 cerca de 35% das chuvas foram superiores a 150 mm em 24 horas no Paraná. Segundo os autores, cerca de 11% ocorreram no norte do estado.

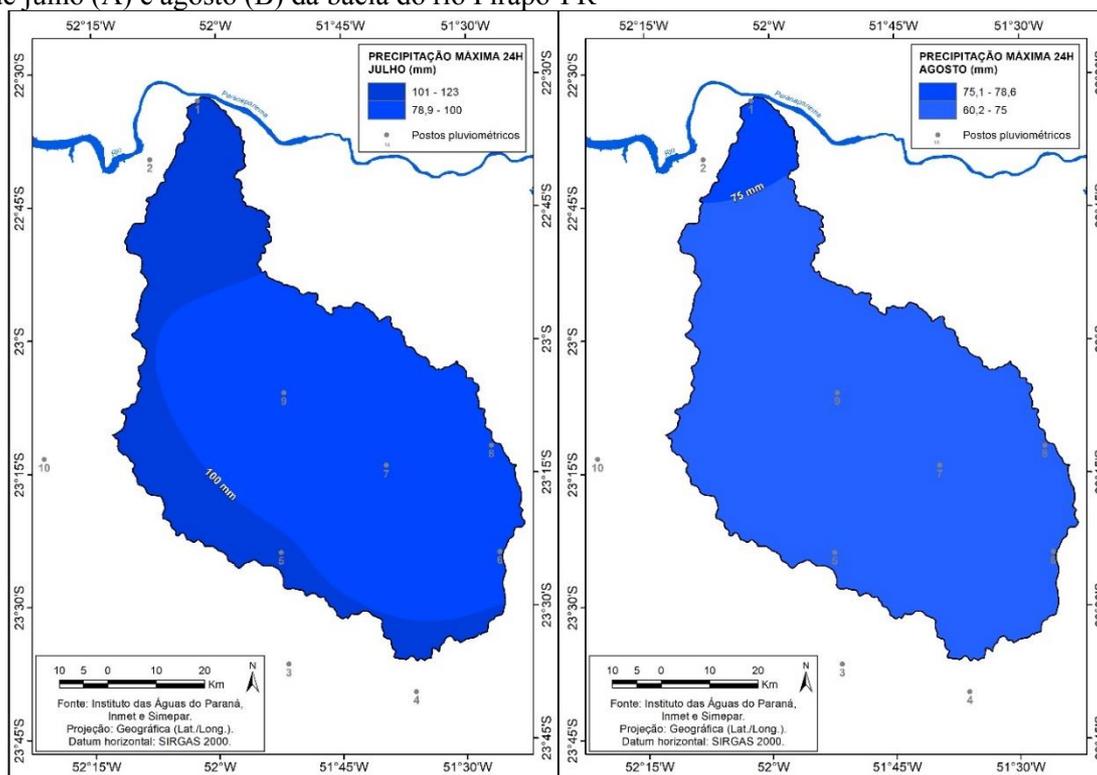
O mês de agosto (Figura 38 B) se destaca por apresentar os menores valores de precipitação máxima em 24 horas para todos os postos da bacia hidrográfica do rio Pirapó com média de 76,1 mm. Nota-se que a distribuição da precipitação máxima ocorre de forma homogênea em grande parte da bacia com valores inferiores a 75,0 mm, exceto ao norte, onde o posto 1 (Jardim Olinda) obteve 79,7 mm.

Observa-se que nos meses de inverno podem ocorrer chuvas intensas, mesmo que em menores proporções em relação aos meses da primavera e verão. Os resultados encontrados na presente pesquisa corroboram verificados por Terassi, Oliveira Júnior e Gois (2018) para a área de estudo. Tais autores verificaram através da técnica dos quantis que os valores correspondentes a 99% foram de 78,2 mm e 73,0 mm em 24 horas para os municípios de Maringá e Apucarana no mês de julho entre 1976 e 2015.

Terassi (2019) também atesta esta diminuição na bacia hidrográfica litorânea do estado do Paraná durante os meses de inverno. Ao investigar as chuvas diárias no período entre 1976 e 2015, concluiu-se que nos meses de julho e agosto houve apenas 1 evento de chuva acima de 90,8 mm diário.

De acordo com Silveira (2006) nos meses de julho e agosto as incursões da frente polar (FP) são rápidas e trazem como consequência a baixa pluviosidade. A autora verificou que nos meses de julho e agosto de 1996 o maior máximo diário registrado foi de 5,4 mm e 20,8 mm em 24 horas para o município de Maringá.

Figura 38 - Distribuição espacial da pluviosidade máxima mensal em 24 horas (mm) dos meses de julho (A) e agosto (B) da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

Observa-se em setembro novamente o aumento dos valores de pluviosidade para a área de estudo (Figura 39 A). Com média de 99,4 mm em 24 horas, verifica-se que as porções central e sul demonstram valores de pluviosidade máxima acima de 100,0 mm, com destaque para o posto 7 (Astorga), com maior valor máximo de 144,3 mm em relação aos demais postos da bacia. O setor norte apresentou os menores valores onde o posto 10 (Nova Esperança) demonstrou 78,2 mm de precipitação máxima em 24 horas.

A média da pluviosidade máxima em 24 horas do mês de outubro demonstra-se superior a setembro com 102,9 mm (Figura 39 B). Com exceção de um núcleo na porção central da bacia, onde se encontra o posto 9 (Santa Fé) que demonstrou o menor valor máximo de 92,4 mm diário, já os demais setores norte e sul apresentaram valores máximos superiores à média com destaque para o posto 8 (Rolândia) com 112,8 mm diário.

De acordo com Zanella (2006) as precipitações máximas em 24 horas possuem variabilidade quanto a sua intensidade e distribuição anual e mensal. Ao investigar as chuvas extremas acima de 60,0 mm diários, a autora concluiu que durante os meses de setembro e outubro houve o registro de 9 e 11 eventos em Curitiba, os quais provocaram impactos como alagamentos.

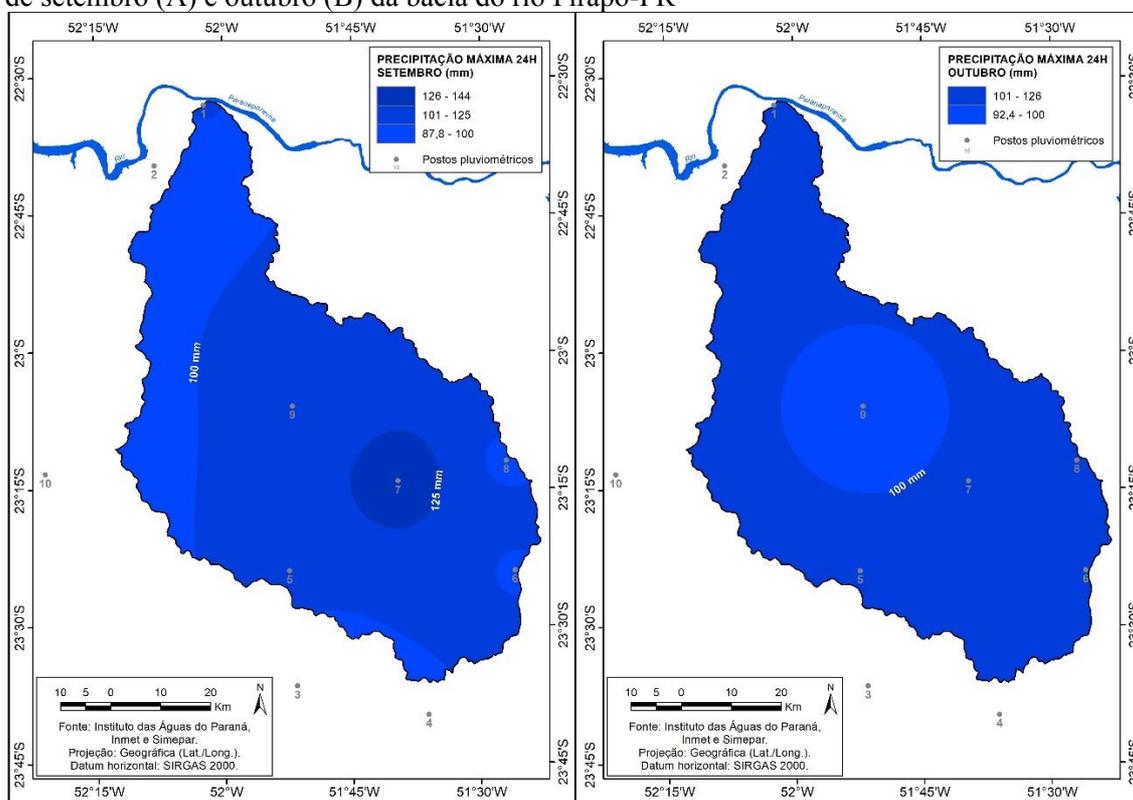
Monteiro e Zanella (2017) ao analisarem as chuvas máximas diárias dos municípios de Crato, Fortaleza e Sobral entre 1980 e 2017 verificaram que as chuvas diárias acima de 100,0 mm estão associadas com maiores números de atendimentos da Defesa Civil.

Para o município de Maringá, Mioto (2017) identificou 14 eventos de chuvas intensas durante o mês de outubro de 2009, ano de El Niño moderado. A autora considera que Maringá apresenta problemas de alagamentos, queda de árvores e processos erosivos ocasionados pela ocorrência destes eventos no município.

Verifica-se por meio das pesquisas apresentadas que, quanto maior a intensidade, menor é a frequência das chuvas intensas. Contudo, os problemas relacionados são comuns em todas as pesquisas.

Visando contribuir com a gestão pública urbana, Silveira e Sartori (2010) mapearam as áreas suscetíveis a inundações no município de São Sepé-RS. Através de pluviômetros instalados em vários setores da cidade entre 1980 e 2006, os autores verificaram que as áreas destinadas à ocupação residencial, associada à ausência de cobertura vegetal e impermeabilização do solo, ocorrem maiores inundações.

Figura 39 - Distribuição espacial da pluviosidade máxima mensal em 24 horas (mm) dos meses de setembro (A) e outubro (B) da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

Observa-se no mês de novembro que mesmo apresentando média superior aos meses anteriores, a ocorrência de máximos diários não obedece a um padrão de distribuição de aumento do baixo para o alto curso da bacia (Figura 40 A). A média para este mês é de 108,7 mm, onde as áreas ao norte e sudeste demonstram os maiores valores, com destaque para os postos 1 (Jardim Olinda) ao norte da área com 134,2 mm e os postos situados ao sul como 7 (Astorga) 129,2 mm e 8 (Rolândia) 133,6 mm. Contudo, o posto 9 (Santa Fé) na área central da bacia apresentou o menor valor de 78,3 mm de pluviosidade em 24 horas.

A distribuição da pluviosidade máxima diária em dezembro (Figura 40 B) apresentou uma distribuição inversa ao esperado, onde há maior concentração no baixo e médio curso da bacia. Embora dezembro apresente a terceira maior média com 126,0 mm em 24 horas, os postos 1 (Jardim Olinda) e 2 (Paranapoema) inseridos ao norte da bacia obtiveram os maiores valores de precipitação máxima em 24 horas com 175,6 mm e 167,0 mm, respectivamente. Já o posto 5 (Maringá) ao sul apresenta média de 93,5 mm.

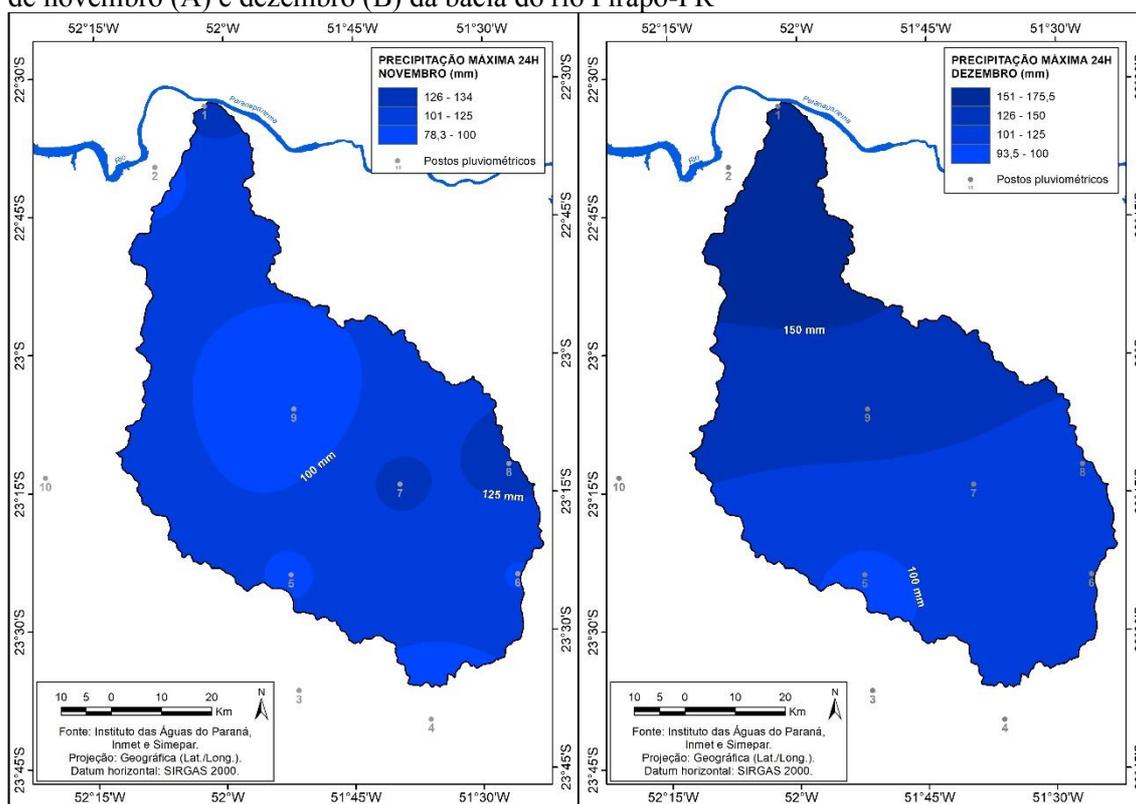
A ocorrência de máximos pluviométricos durante os meses do verão é esperada devido à intensificação dos sistemas tropicais na área de estudo, como aponta Terassi (2015). O autor relaciona que a porção ao sul da bacia apresenta maiores médias pluviométricas devido às cotas altimétricas mais elevadas. Contudo, ao investigar a precipitação intensa verifica-se que estas podem ocorrer independente da altimetria.

Terassi, Silveira e Graça (2016) associaram a erosividade com a ocorrência de chuvas intensas acima de 10,1 mm e 60,1 mm diários nos anos de 1976 a 2012 para a bacia do rio Pirapó. Os autores concluíram que o baixo curso da área apresentou maiores ocorrências de chuvas intensas e, conseqüentemente, mais erosivas nos meses de novembro e dezembro.

Ainda de acordo com os autores, a porção do alto curso da bacia apresenta maior média pluviométrica mensal, porém ocorrem chuvas menos intensas. Mioto (2017) evidenciou que nos meses de novembro e dezembro as chuvas superiores a 10,0 mm em 10 minutos foram superiores no município de Maringá onde a latitude é inferior em relação à de Apucarana.

Deffune, Klosowski e Silva (1995) ressaltam que nos meses de novembro e dezembro ocorreram 30 e 33 chuvas acima de 60,0 mm em uma hora no período de 1976 a 1994 na região de Maringá. Segundo os autores, os meses da primavera registram maiores valores de chuvas intensas que impactam a região.

Figura 40 - Distribuição espacial da pluviosidade máxima mensal em 24 horas (mm) dos meses de novembro (A) e dezembro (B) da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado por Carlos H. da Graça e Silvia Mioto (2018).

Ao analisar a pluviosidade máxima em 24 horas na escala mensal pode-se perceber que os meses de março, abril, maio, setembro e outubro possuem valores superiores a 100,0 mm, enquanto os meses de janeiro, fevereiro, junho, novembro e dezembro apresentaram valores superiores a 126,0 mm. Somente o mês de agosto obteve valores de precipitação inferior a 80,0 mm (Figura 41).

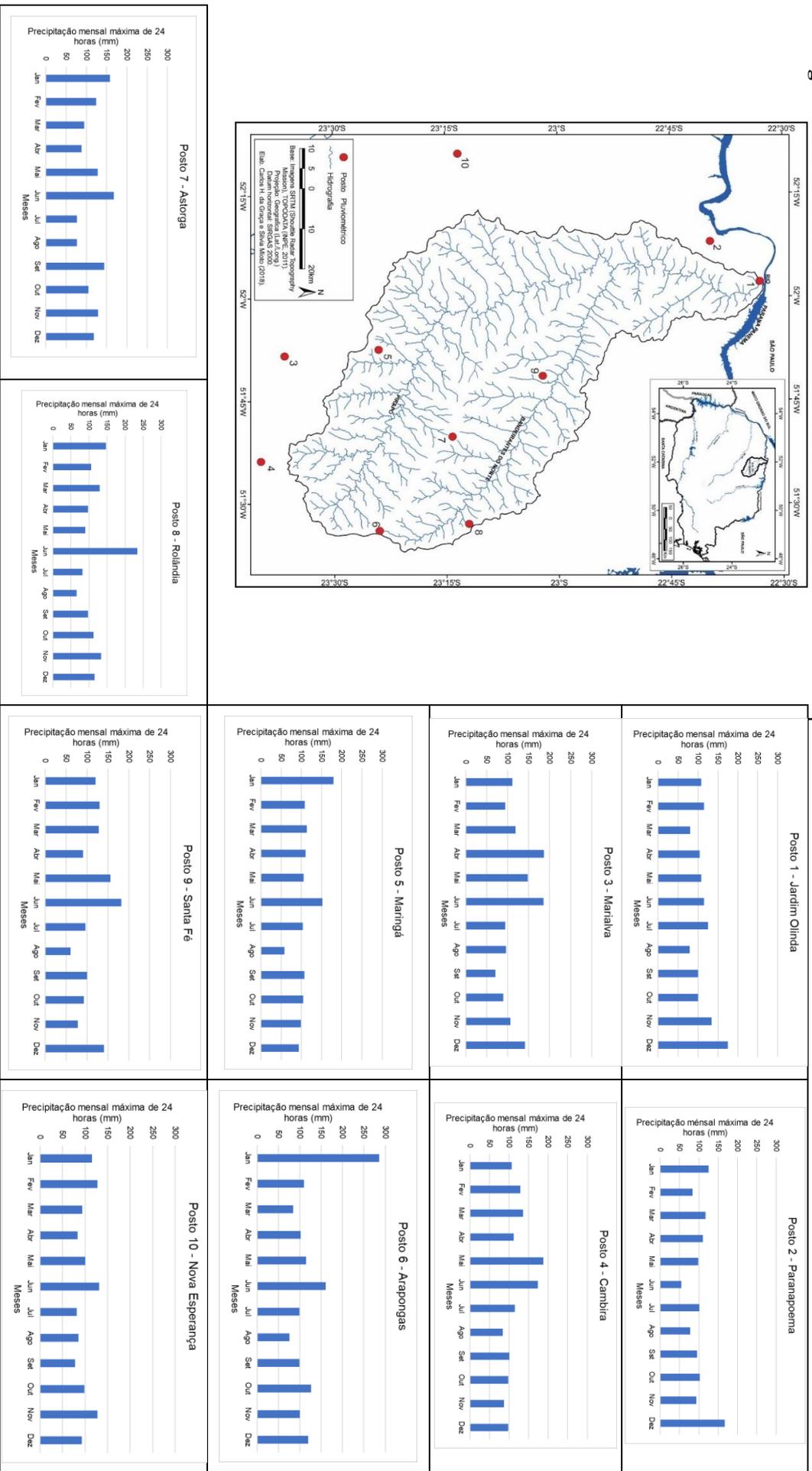
Os maiores valores de pluviosidade máxima em 24 horas, foram observados na maioria dos postos que compõem o médio e alto curso da bacia do rio Pirapó, destacando-se o posto 6 (Arapongas) e 3 (Marialva) com maiores valores de precipitação diária com mais de 285,5 mm e 186,0 mm. Nota-se ainda que os postos 1 (Jardim Olinda) e 2 (Paranapoema), inseridos no baixo curso da bacia, se destacaram com máximos diários significativos em alguns meses, principalmente janeiro e dezembro (Figura 41).

Ao estudar a intensidade da precipitação para o alto curso da bacia do rio Pirapó, com base em dados pluviográficos diários, Mioto (2017) constatou que os meses que compreendem o verão (janeiro, fevereiro e março) e a primavera (outubro, novembro e dezembro) apresentaram maiores casos de chuvas intensas, juntamente com o mês de junho.

É possível observar que os postos localizados no alto curso da área demonstram valores elevados de máximos diários nos meses de abril, maio e junho. Este resultado indica que este setor está condicionado a uma maior influência dos sistemas frontais e linhas de instabilidade (NIMER, 1989), já nos postos do baixo curso, há um destaque maior para os meses de janeiro e dezembro, denotando maior influência dos sistemas atmosféricos intertropicais (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Silveira (2006), Grimm (2009), Terassi (2015) e Terassi, Graça e Silveira (2016) também destacam que a porção mais ao sul da bacia é influenciada de modo mais expressivo pela atuação das frentes frias, enquanto a porção mais ao norte pelos sistemas atmosféricos tropicais. Esta característica apontada pela literatura é evidenciada pela ocorrência de eventos máximos diários no mês de junho e janeiro, meses com maiores valores médios da bacia.

Figura 41 - Pluviosidade máxima em 24 horas mensal da bacia do rio Pirapó-PR



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

5.4 TENDÊNCIA DE PLUVIOSIDADE DIÁRIA

5.4.1 Análise da tendência anual da pluviosidade total, número de dias com chuva e pluviosidade máxima em 24 horas

Com o intuito de verificar se ao longo da série histórica há indícios de possíveis tendências na pluviosidade (positivas ou negativas), no presente tópico os resultados referentes ao total pluviométrico, número de dias com chuva e pluviosidade máxima em 24 horas será estruturado a partir da escala de análise anual.

A aplicação do teste de tendência Mann-Kendall tem sido amplamente utilizada em pesquisas climatológicas por demonstrar possíveis mudanças no padrão dos elementos climáticos, principalmente a precipitação e a temperatura (BACK, 2001; SEVERO, 2008; PINHEIRO, 2016). A verificação do teste de tendência da pluviosidade ao longo da série é expressa por meio do coeficiente (tau).

Este coeficiente indica tanto a força quanto o sentido da tendência, o qual é representado pelo sinal positivo ou negativo, ou seja, se for negativo indica uma tendência decrescente, caso contrário há indícios de tendência crescente, ou seja, indica o aumento da pluviosidade. O valor (p) revela o valor de significância de até 5% do teste Mann-Kendall (MACHIWAL, 2012).

Os resultados obtidos pelo teste de tendência, referentes ao total pluviométrico são apresentados a partir da Tabela 3 e Figura 42. A princípio se questionou que o resultado do teste de tendência seria semelhante às características da distribuição e média da pluviosidade. No entanto, ao analisar os resultados da escala anual verificou-se que as tendências positivas e/ou negativas não obedecem a um padrão de distribuição pluviométrico, ou seja, os resultados são aleatórios.

Em relação ao total pluviométrico anual observa-se na Tabela 3 e Figura 42 que, nos postos da bacia do rio Pirapó-PR, embora haja variações entre os anos, não há uma tendência clara de aumento ou decréscimo para a maior parte dela, ou seja, os totais anuais pluviométricos mantiveram-se constantes, indicando que não houve mudança na quantidade e distribuição espacial das chuvas. Através do coeficiente (tau), observa-se que os postos 2 (Paranapoema), 3 (Marialva), 4 (Cambira), 6 (Arapongas) e 7 (Astorga) demonstraram indícios de decréscimo de precipitação, porém não significativo.

Tabela 3 - Resultado do teste de Mann-Kendall da série anual de 1980 a 2017 de precipitação total nos postos da bacia do rio Pirapó – PR

Número	Código	Posto	Z	tau	p	Spearman	Kendall
1	2252013	Jardim Olinda	0,943	0,107	0,352	0,139	0,107
2	2252019	Paranapoema	-0,193	-0,023	0,859	-0,043	-0,023
3	2351029	Marialva	-0,458	-0,053	0,657	-0,067	-0,053
4	2351043	Cambira	-0,355	-0,042	0,733	-0,018	-0,042
5	2351045	Maringá	0,817	0,092	0,421	0,107	0,092
6	2351048	Arapongas	-0,926	-0,108	0,361	-0,130	-0,108
7	2351051	Astorga	-0,390	-0,044	0,706	-0,076	-0,044
8	2351053	Rolândia	0,628	0,072	0,539	0,089	0,072
9	2351065	Santa Fé	1,229	0,141	0,224	0,220	0,141
10	2352039	Nova Esperança	0,616	0,070	0,546	0,107	0,070

* Valores em negrito indicam tendência significativa (valor $p < 0,05$).

Mesmo os resultados do teste de Mann-Kendall não indicando postos com tendência estatística significativa de 5% tanto positiva quanto negativa, ao analisar a linha de tendência (Figura 31), observa-se que os postos 1 (Jardim Olinda) e 2 (Paranapoema) localizados ao norte da bacia, assim como o posto 8 (Rolândia) ao sul e 9 (Santa Fé) na porção central demonstram um indício de aumento na precipitação total anual.

Os resultados averiguados pelo teste de tendência se assemelham aos encontrados por Montanher e Minaki (2020) para o município de Maringá. Os autores verificaram que entre os anos de 1980 e 2018, Maringá demonstrou tendência positiva de pluviosidade total anual, mas não significativa ao nível de 5%.

Resultados semelhantes também foram verificados por Minuzzi e Caramori (2011) em que, ao investigarem a precipitação diária de 21 estações meteorológicas entre 1945 e 2006 para o estado do Paraná, verificaram que 12 postos apresentaram tendência de acréscimo das chuvas ao nível de 5% e 10% de significância.

Esta divergência de resultados indica que o principal fator para resultados diversos não se deve somente ao uso de diversas técnicas estatísticas para a investigação da precipitação, mas as diferentes fontes de dados e sua consistência, pois os diversos tratamentos de preenchimento de possíveis falhas, induzem a diferentes interpretações, somadas à grande variabilidade deste elemento.

Back (2001), ao analisar a precipitação pluviométrica anual entre 1924 e 1998 em Urussanga-SC, observou que a existência de tendência positiva significativa para a área de estudo foi, de certa forma, influenciada pelos elevados valores totais de pluviosidade durante o trimestre de outubro-novembro-dezembro.

Denota-se a partir dos pressupostos dos pesquisadores citados, que a tendência de acréscimo na precipitação total anual, pode estar relacionada à ocorrência de períodos sazonais mais chuvosos, os quais podem interferir nos resultados anuais. Portanto, fica evidente que a dinâmica climática regional, as frentes frias e os sistemas tropicais podem influenciar na diminuição ou aumento da pluviosidade, bem como a quantidade de postos utilizados nas pesquisas, a qualidade dos dados registrados e o recorte da série histórica podem prejudicar a análise deste elemento climático.

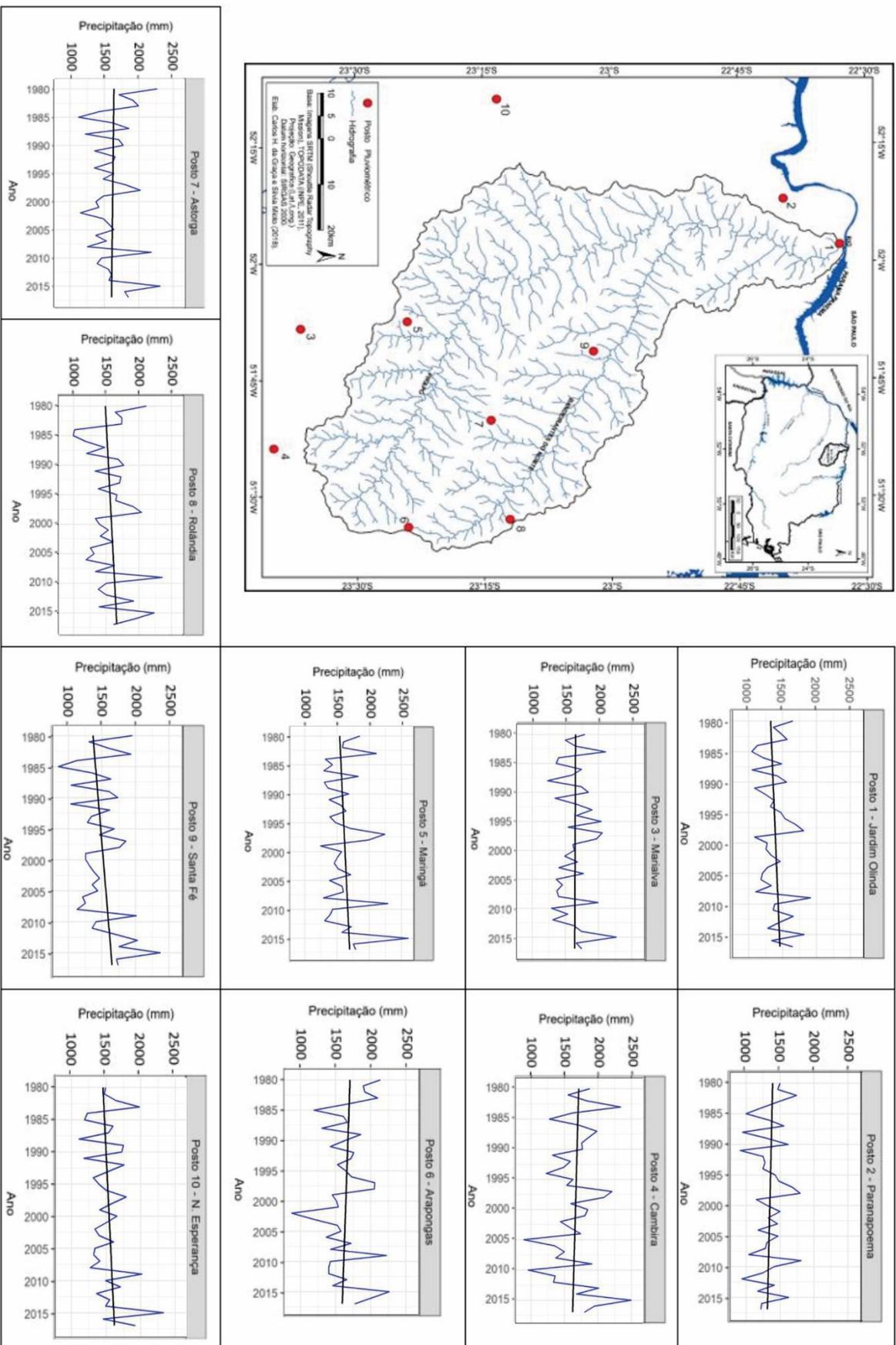
Em relação à divergência de resultados entre os postos na presente pesquisa, observa-se que vários trabalhos apresentam a mesma característica, como o de Pinheiro, Graciano e Severo (2013) em que identificaram tendência positiva ao nível de 5% de significância para 16 das 18 estações pluviométricas analisadas no período de 1938 a 2009 na região Sul do Brasil. As estações de Foz do Iguaçu-PR e Alfredo Wagner-SC não apresentaram significância estatística no estudo, evidenciando que a pluviosidade se manteve constante.

Pinheiro (2016,) ao utilizar o teste de tendência Mann-Kendall anual para a bacia hidrográfica do Alto rio Iguaçu entre 1980 e 2010, verificou que apenas o posto pluviométrico de Palmeira/Colônia apresentou tendência positiva, ou seja, de aumento de precipitação em relação aos demais 28 postos estudados. De acordo com a autora, a identificação dos anos de 1997 e 1998 com o aumento da pluviosidade estão relacionados à ocorrência de El Niño.

Sangiolo e Kayano (2010) ressaltam que a Oscilação Decenal do Pacífico (ODP) é um aspecto importante que pode influenciar os resultados dos testes de tendência em determinados períodos. Concluíram que no período de 1913 a 2006 não houve tendência significativa para a precipitação anual no estado do Rio Grande do Sul.

Os resultados de Sanches *et al.* (2016) confirmam os apontamentos dos autores citados. Estes pesquisadores observaram que o teste de tendência para o estado do Rio Grande do Sul entre 1957 e 2014 não demonstrou modificações no padrão da precipitação, sendo desta forma, resultados decorrentes da própria dinâmica da pluviosidade.

Figura 42 - Série anual e tendência da precipitação total nos postos da bacia do rio Pirapó – PR



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

A Tabela 4 e a Figura 43 apresentam os resultados da aplicação do teste de tendência Mann-Kendall para o número anual de dias com chuva. Diferentemente dos resultados observados da pluviosidade total anual constante, verifica-se por meio do coeficiente (tau) e valor (p) tendência significativa tanto no aumento quanto na diminuição do número de dias com chuva em alguns postos pluviométricos com ausência de um padrão de distribuição espacial.

O posto 1 (Jardim Olinda) que se encontra ao norte da bacia e os postos 3 (Marialva), 4 (Cambira) e 8 (Rolândia) localizados ao sul obtiveram um coeficiente (tau) positivo, que indica tendência de aumento do número de dias com chuva. Entretanto, através da análise do valor (p), é possível afirmar que somente no posto 4 (Cambira) apresentou tendência positiva significativa ao nível de 5%, para o qual o valor (tau) foi de 0,284 (Tabela 4 e Figura 43).

Em contrapartida, os postos 2 (Paranapoema) também inserido no setor norte da área, 6 (Arapongas), 7 (Astorga) e 9 (Santa Fé) nos setores central e sul apresentaram tendência negativa significativa do número de dias com chuva, ou seja, ocorreu a diminuição. Destes postos, verifica-se que o posto 9 (Santa Fé) na porção central obteve o resultado de tendência negativa mais expressivo com valor do coeficiente (tau) de -0,495. Nos demais postos, o número de dias com chuva se manteve constante ao longo do período analisado, ou seja, não foram significativos ao nível de 5% (Tabela 4 e Figura 43).

Tabela 4 - Resultado do teste de Mann-Kendall da série anual de número de dias com chuva nos postos da bacia do rio Pirapó – PR

Número	Código	Posto	Z	tau	p	Spearman	Kendall
1	2252013	Jardim Olinda	1,485	0,175	0,141	0,260	0,175
2	2252019	Paranapoema	-2,401	-0,301	0,017	-0,397	-0,301
3	2351029	Marialva	0,000	0,000	1,000	0,008	0,000
4	2351043	Cambira	2,330	0,284	0,021	0,432	0,284
5	2351045	Maringá	-1,319	-0,155	0,191	-0,206	-0,155
6	2351048	Arapongas	-2,321	-0,281	0,021	-0,336	-0,281
7	2351051	Astorga	-2,261	-0,267	0,025	-0,383	-0,267
8	2351053	Rolândia	0,503	0,060	0,624	0,082	0,060
9	2351065	Santa Fé	-4,153	-0,495	< 0,001	-0,672	-0,495
10	2352039	Nova Esperança	-1,230	-0,145	0,223	-0,189	-0,145

* Valores em negrito indicam tendência significativa (valor $p < 0,05$).

Minuzzi e Caramori (2011) evidenciaram que diversas localidades do Paraná entre 1945 e 2006 apresentaram tendência de aumento dos dias com chuva. De acordo com os

autores, os postos pluviométricos de Santa Isabel do Ivaí, no Noroeste e Londrina no Norte do estado utilizados no estudo não demonstraram valores positivos ou negativos significativos, o que nos leva a refletir que o aumento e diminuição dos dias com chuva pode ocorrer de forma distinta entre os postos pluviométricos.

Baldo (2018), ao investigar a pluviosidade diária entre 1976 e 2015 por meio do teste de tendência Mann-Kendall na bacia hidrográfica do rio Piquiri-PR, verificou que 12 dos 37 postos analisados apresentaram tendência de decréscimo anual dos dias com chuvas, ou seja, as chuvas estão mais concentradas nessa bacia.

Segundo Marengo (2009) a tendência de ocorrência de extremos não é evidenciada somente pelos elevados valores pluviométricos, mas através do prolongamento de períodos de dias sem chuva, sendo a agricultura, um dos setores econômicos mais prejudicada por déficit hídricos e processos erosivos, por exemplo. De acordo com o autor, as secas prolongadas de 2004 e 2005 contribuíram para a quebra na produção de soja no Paraná, segundo maior produtor a nível nacional.

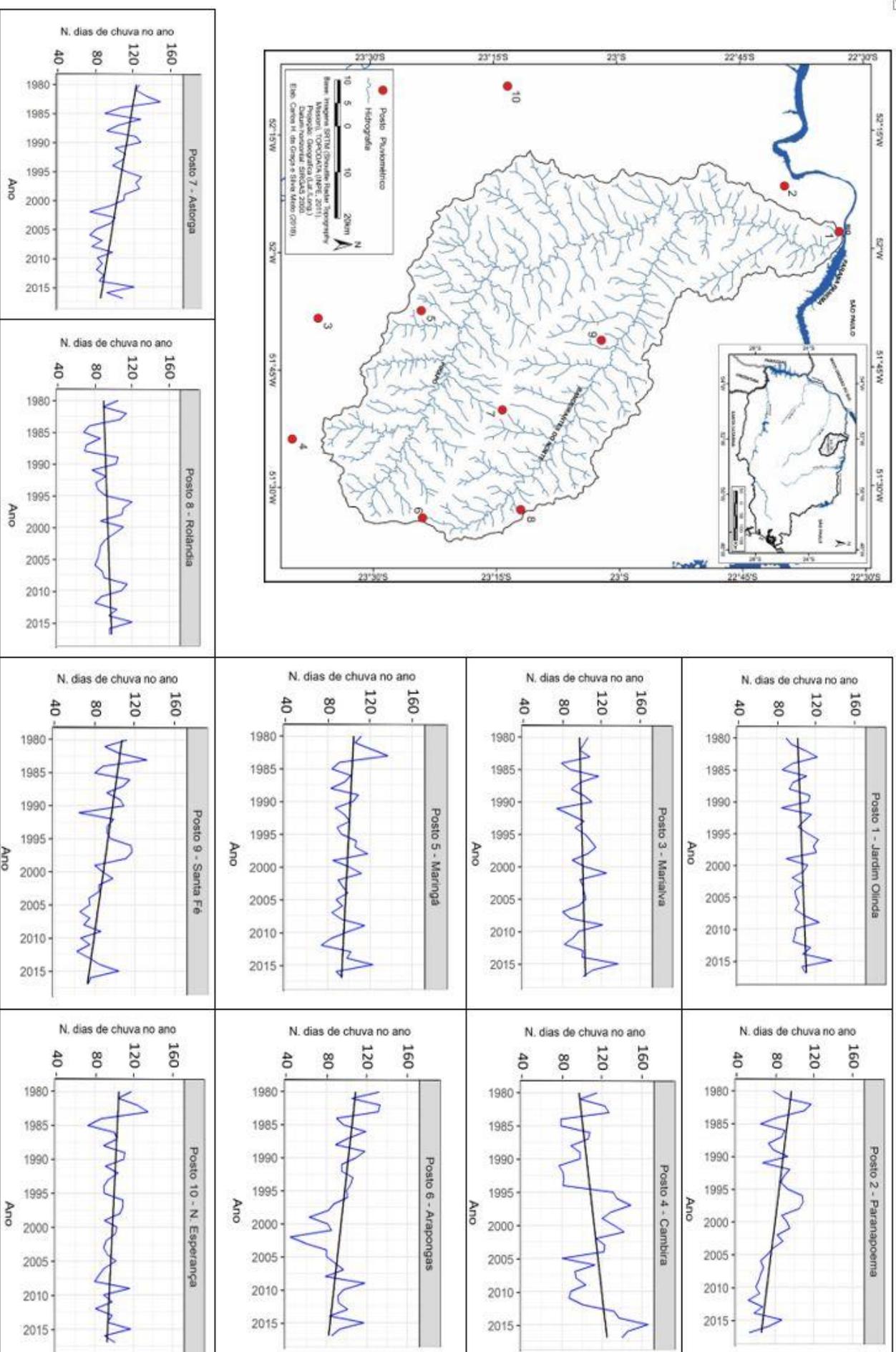
As culturas temporárias como a soja, o milho e a cana-de-açúcar lideram a produção agrária regional, sendo resultado da intensa mecanização do solo na área de estudo, conseqüentemente, uma região dependente das mudanças do clima. A concentração da pluviosidade afeta diretamente este setor, implicando em perdas econômicas e sociais, principalmente.

Hirakuri (2009) argumenta que a produção de soja no município de Marialva nos anos de 2008 e 2009 foi prejudicada pelo período de estiagem ocorrido nestes anos, resultando no aumento de 54,9% nos custos da produção em relação a períodos de condições climáticas normais. Atualmente a produção de soja neste município representa 26.500 (ha) de um total de 29.123 (ha) das culturas permanentes (IPARDES, 2020).

Assad *et al.* (2019) argumentam que a implementação do Plano ABC-EMBRAPA⁴ contribuiria para a minimização de impactos ambientais decorrentes de extremos climáticos, seja períodos de seca ou concentração de chuvas, bem como na diminuição da produção agrária no país. Desta forma, pode-se inferir que a tendência de redução dos dias com chuvas na área de estudo contribuiria para a redução dos impactos causadores de diminuição na produção agrária e, conseqüentemente, perdas econômicas e sociais.

⁴ Plano ABC-EMBRAPA (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono - ou Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura). Fonte: Assad et al. (2019).

Figura 43 - Série anual e tendência do número de dias com chuva nos postos da bacia do rio Pirapó – PR



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os resultados da aplicação do teste de tendência Mann-Kendall para a pluviosidade máxima em 24 horas (Tabela 5 e Figura 44) demonstram que dos 10 postos analisados apenas os postos 3 (Marialva), 4 (Cambira) localizados no setor sul e 10 (Nova Esperança) na porção central possuem tendência negativa da precipitação máxima ao longo dos anos com o valor (tau) de -0,101, -0,141 e -0,165, respectivamente. Entretanto, o valor (p) demonstra que nestes postos a tendência negativa não foi significativa ao nível de 5%.

Para os demais postos, o coeficiente (tau) foi positivo, entretanto, avaliando-se o valor (p) obtido pela aplicação do teste, as precipitações máximas anuais mantiveram-se constantes ao longo do período, uma vez que a tendência detectada não foi significativa. Observa-se que os postos 1 (Jardim Olinda) situado nas proximidades do rio Paranapanema ao norte da bacia, 6 (Arapongas) e 8 (Rolândia) localizados ao sul com menores valores de (p) poderiam refletir um aumento na precipitação máxima diária, porém este valor não indica uma tendência significativa de 5% no aumento da pluviosidade máxima em diária ao longo da série (Tabela 5 e Figura 46).

Tabela 5 - Resultado do teste de Mann-Kendall da série anual de precipitação máxima em 24 horas nos postos da bacia do rio Pirapó – PR

Número	Código	Posto	Z	tau	p	Spearman	Kendall
1	2252013	Jardim Olinda	1,760	0,200	0,080	0,277	0,200
2	2252019	Paranapoema	0,697	0,084	0,495	0,116	0,084
3	2351029	Marialva	-0,876	-0,101	0,388	-0,145	-0,101
4	2351043	Cambira	-1,193	-0,141	0,238	-0,211	-0,141
5	2351045	Maringá	0,566	0,064	0,580	0,128	0,064
6	2351048	Arapongas	1,880	0,219	0,062	0,339	0,219
7	2351051	Astorga	1,069	0,121	0,291	0,206	0,121
8	2351053	Rolândia	1,962	0,225	0,051	0,323	0,225
9	2351065	Santa Fé	1,321	0,152	0,191	0,244	0,152
10	2352039	Nova Esperança	-1,459	-0,165	0,148	-0,229	-0,165

* Valores em negrito indicam tendência significativa (valor $p < 0,05$).

Com base no relatório AR4 (IPCC, 2007), Pinheiro e Martin-Vide (2017) avaliaram as tendências de chuvas máximas diárias no município de Irati-PR entre 1980 e 2010 e concluíram que não houve tendência positiva e negativa para a área de estudo. Os pesquisadores ressaltam que os eventos de chuvas intensas são decorrentes da própria variabilidade climática.

Verifica-se que os resultados na escala anual do teste de tendência muitas vezes não identificam realmente se as precipitações máximas diárias são decorrentes das

mudanças climáticas globais. Em grande parte das pesquisas os resultados se mesclam com as características climáticas regionais, conforme aponta Pinheiro (2016).

Segundo Minuzzi e Caramori (2011), o aumento das precipitações máximas diárias pode ser ocasionado por mudanças no microclima, bem como na falha de registros dos postos ou estações pluviométricas. Conforme assinalado anteriormente em relação ao destaque do posto 1 (Jardim Olinda) ao norte da área, as chuvas em 24 horas podem ser reflexo do represamento do rio Paranapoema, localizado nas proximidades, que corrobora as considerações dos autores citados.

Sanches e Fisch (2005) identificaram que a represa de Tucuruí-PA alterou o regime de chuvas da região, onde os totais diários de precipitação superiores a 5 e 25 mm foram mais frequentes após 1972, ano da construção da barragem.

Outro aspecto importante que deve ser levado em consideração são as falhas nos dados utilizados, bem como os instrumentos meteorológicos. Os pluviômetros registram o total pluviométrico diário de um posto ou estação meteorológica, o qual não conseguimos mensurar a duração e a intensidade do valor registrado por este instrumento.

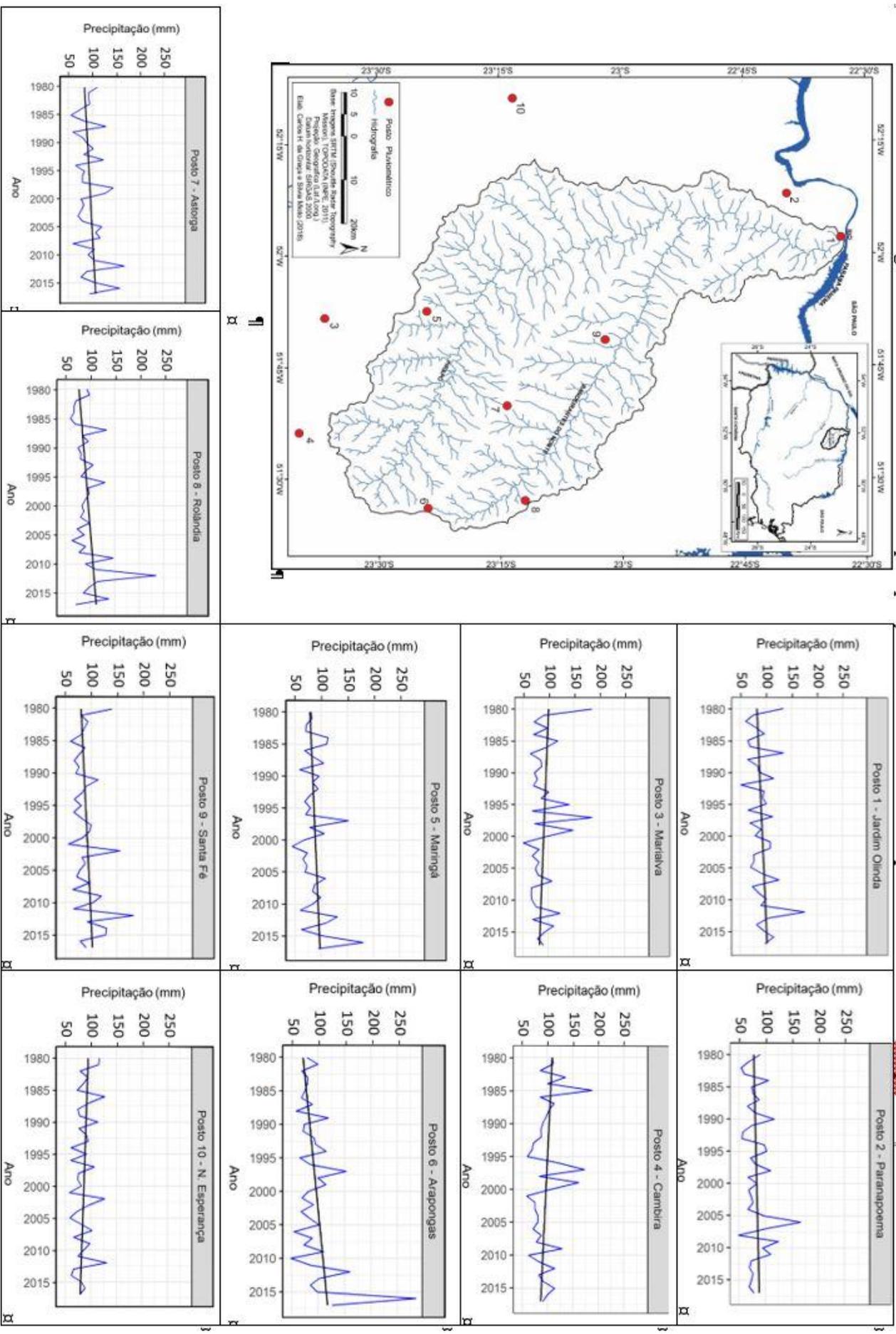
Diante disso, os registros pluviográficos são fundamentais para a identificação da duração de chuvas intensas. Mito (2017) identificou que ocorreram 84 e 63 eventos de chuvas intensas acima de 10,0 mm em 10 minutos no município de Maringá nos anos de 2009 e 2010. Na presente pesquisa, o teste de tendência indicou um valor (τ) positivo, porém não significativo para este município.

Segundo Santos, Lucio e Silva (2015), os resultados dos testes de tendência são variáveis de acordo com os diferentes períodos de duração, o que pode induzir à incertezas. Ao analisar as precipitações máximas diárias de 1983 a 2011 na Amazônia, os autores verificaram um contraste entre o norte e o sul da área, onde este último é prejudicado pelo desmatamento, com aumento do período seco e conseqüentemente perdas materiais.

Ao relacionar os resultados do teste de tendência para os valores anuais de precipitação total, número de dias com chuva e pluviosidade máxima em 24 horas, percebe-se que não há tendência de aumento ou diminuição ao nível de 5% de significância para o total pluviométrico anual. Contudo, houve tendências significativas do número de dias com chuva para vários postos pluviométricos e tendência mesmo que não significativa de aumento da precipitação máxima em 24 horas embora os postos não apresentem, um valor significativo desta variável.

Desta forma, pode-se denotar uma possível mudança no comportamento da precipitação, através da diminuição do número de dias com chuva e na precipitação máxima diária. Minuzzi e Caramori (2011) e Baldo (2018) consideram que as evidências de que as chuvas estão mais concentradas devido à relação entre manter-se o total pluviométrico e a diminuição dos dias com chuva.

Figura 44 - Série anual e tendência da precipitação máxima em 24 horas nos postos da bacia do rio Pirapó – PR



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

5.4.2 Análise da tendência mensal da pluviosidade total, número de dias com chuva e pluviosidade máxima em 24 horas

Além do cálculo das variáveis realizado na escala anual, também foi aplicada a versão do teste Mann-Kendall sazonal para avaliar as séries mensais da precipitação total, número de dias com chuva e precipitação máxima em 24 horas. O teste Mann-Kendall sazonal identifica a existência de tendência, por justamente, considerar o efeito da sazonalidade no comportamento da precipitação.

Pelo fato de o teste identificar somente os postos e não os meses com possíveis tendências, surgiu a necessidade de um maior detalhamento nas séries mensais de precipitação. Desta forma, a aplicação do teste Mann-Kendall na escala mensal, possibilitou visualizar em quais postos e meses houve tendências no total pluviométrico, número de dias com chuva e precipitação máxima diária.

Em relação ao total pluviométrico mensal, observa-se por meio da Tabela 6 que não há evidências suficientes de uma tendência significativa, seja de aumento ou decréscimo da pluviosidade para todos os postos avaliados. Ressalta-se que não se identifica o mês com tendência positiva ou negativa, mas somente o posto pluviométrico.

Observa-se através do valor (τ) que os postos 3 (Marialva), 4 (Cambira), 6 (Arapongas) e 7 (Astorga) localizados na porção ao sul da bacia demonstram tendência negativa da pluviosidade, porém, ao analisar o valor (p) percebe-se que esta tendência não é significativa, o mesmo ocorre para os demais postos. Sendo assim, afirma-se que os totais mensais pluviométricos não apresentam tendência positiva e negativa ao nível de 5% de significância no período de 1980 a 2017 (Tabela 6).

Sangiolo e Kayano (2010) identificaram tendência positiva de 2,26 na pluviosidade durante os meses de dezembro-janeiro-fevereiro no período de 93 anos (1913 a 2006) para o Rio Grande do Sul. Concluíram que a dinâmica climática durante o verão é responsável pelo aumento de chuvas no estado.

Salviano, Groppo e Pellegrino (2016) evidenciaram tendência negativa significativa das chuvas no Paraná somente nos meses de março e junho no período de 1961 a 2011. Os demais meses apresentaram tendência não significativa tanto para o aumento quanto para a diminuição da precipitação.

Tabela 6 - Resultado do teste de Mann-Kendall Sazonal da precipitação total mensal nos postos da bacia do rio Pirapó – PR

Número	Código	Posto	Z	tau	p	Spearman	Kendall
1	2252013	Jardim Olinda	0,904	0,030	0,366	0,028	0,018
2	2252019	Paranapoema	0,089	0,003	0,929	-0,008	-0,005
3	2351029	Marialva	-0,087	-0,003	0,930	-0,002	-0,001
4	2351043	Cambira	-0,343	-0,011	0,732	-0,011	-0,007
5	2351045	Maringá	1,114	0,036	0,265	0,037	0,026
6	2351048	Arapongas	-0,633	-0,021	0,527	-0,032	-0,022
7	2351051	Astorga	-0,178	-0,006	0,859	-0,017	-0,011
8	2351053	Rolândia	1,569	0,052	0,117	0,039	0,026
9	2351065	Santa Fé	1,774	0,058	0,076	0,066	0,044
10	2352039	Nova Esperança	1,118	0,037	0,264	0,047	0,031

* Valores em negrito indicam tendência significativa (valor $p < 0,05$).

Ao analisar separadamente as séries mensais do total pluviométrico, foi possível não só identificar o mês com tendência, mas também o posto pluviométrico. Vê-se na Tabela 7 e na Figura 47 que no trimestre de janeiro-fevereiro-março apenas o posto 2 (Paranapoema) inserido no setor norte da bacia apresentou tendência negativa significativa ao nível de 5% de pluviosidade total em março com valor (tau) de -0,286.

Neste trimestre observa-se que o mês de março se destaca com maior número de postos com tendência negativa, mesmo que não significativa, seguido por janeiro onde o posto 10 (Nova Esperança) obteve tendência negativa, porém não significativa. Em fevereiro todos os postos apresentaram tendência positiva, porém, não significativa a 5%.

Souza e Silveira (2016) ao investigarem o balanço hídrico sazonal da área correspondente à bacia do rio Pirapó entre 1976 e 2014, verificaram que a porção ao norte da bacia onde se localiza o posto 2 (Paranapoema) apresentou os maiores valores de déficits hídricos em todas as estações do ano, inclusive nos meses do verão.

O posto 3 (Marialva) localizado ao sul da bacia hidrográfica foi o único que obteve resultado de decréscimo do total pluviométrico ao nível de 5% de significância durante o mês de abril com valor (tau) de -0,249. Observa-se que neste trimestre de abril-maio-junho, grande parte dos postos da área de estudo apresentam valores negativos de tendência mesmo que não significativos em abril e junho. Isso não foi verificado para o mês de maio, em que apenas o posto 4 (Cambira) ao sul apresentou tendência de diminuição da precipitação, porém não significativa (Tabela 7 e Figura 45).

A única tendência positiva e significativa da pluviosidade mensal verificada no trimestre julho-agosto-setembro ocorreu no posto 10 (Nova Esperança) inserido no médio

curso da bacia durante julho com valor (tau) de 0,270. Em agosto, nenhum posto demonstrou tendência significativa negativa de precipitação, mas foi marcado por maior parte de postos com tendência positiva não significativa, e o contrário, foi observado em setembro, com predomínio de tendências negativas. O posto 2 (Paranapoema) foi a única exceção no mês de setembro apresentando tendência positiva, porém não significativa (Tabela 7 e Figura 45).

No trimestre outubro-novembro-dezembro nota-se uma característica semelhante ao trimestre anterior, onde os meses de outubro e dezembro se destacam em maior parte dos postos por apresentar tendência positiva não significativa, exceto o posto 1 (Jardim Olinda). Observa-se que dezembro o posto 6 (Arapongas) registrou tendência negativa significativa com valor (tau) de -0,252 e 8 (Rolândia) tendência positiva, mas não significativa ao nível de 5% (Tabela 7 e Figura 45).

Cera e Ferraz (2015) verificaram que a porção oeste do estado do Rio Grande do Sul apresentou tendência de diminuição da precipitação durante os meses do verão. Segundo os autores, a agricultura é a mais prejudicada pelo prolongamento do período seco ao longo do ano.

Como a área da bacia do rio Pirapó é caracterizada pelo predomínio das atividades agrárias, pode-se inferir que as diferentes culturas e o uso do solo sofram consequências negativas de déficit hídrico e excesso de chuvas em diferentes períodos do ano, como apontam Caramori *et al.* (2001).

Oliveira e Borrozzino (2018) evidenciam que grande parte dos meses do ano demonstraram resultados não significativos de tendência na precipitação em várias localidades do Paraná nos anos de 1972 a 2017. Apenas o município de Bandeirantes apresentou tendência negativa significativa no mês de dezembro, enquanto Londrina obteve tendência positiva significativa no mês de julho.

Brigatti e Sant'Anna Neto (2005) ao analisarem a tendência da pluviosidade no extremo oeste paulista nos anos de 1971 a 1999, verificaram que houve a redução da precipitação, porém com concentração nos meses de outubro a março. Segundo os autores, a construção de barragens para a geração de energia elétrica, a prática agrícola com diferentes culturas e a pecuária podem tanto influenciar a distribuição e gênese das chuvas, quanto sofrer impactos negativos significativos de sua diminuição.

Tabela 7 - Resultado do teste de Mann-Kendall da precipitação total mensal nos postos da bacia do rio Pirapó – PR

Posto	Mês											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1 Jardim Olinda	0,118	0,141	0,020	-0,034	0,033	-0,016	0,166	-0,017	-0,018	0,110	-0,067	-0,081
2 Paranapoema	0,098	0,081	-0,286	0,030	0,055	-0,083	0,153	-0,004	0,051	0,064	0,027	-0,150
3 Marialva	0,081	0,031	-0,064	-0,249	0,030	-0,030	0,157	-0,001	-0,030	0,048	0,074	-0,078
4 Cambira	0,166	0,004	-0,212	-0,211	-0,051	0,060	0,179	0,073	-0,132	0,048	0,077	-0,126
5 Maringá	0,124	0,158	0,013	-0,141	0,016	-0,018	0,181	0,063	-0,055	0,081	0,047	-0,030
6 Arapongas	0,075	0,055	-0,175	-0,170	0,021	-0,050	0,164	0,071	-0,063	0,084	-0,024	-0,252
7 Astorga	0,044	0,098	-0,129	-0,201	0,057	-0,038	0,117	0,064	-0,118	0,055	0,044	-0,061
8 Rolândia	0,121	0,070	0,033	-0,107	0,084	-0,021	0,215	0,092	-0,030	0,100	0,013	0,057
9 Santa Fé	0,081	0,215	-0,068	-0,073	0,054	-0,027	0,216	0,052	-0,017	0,101	0,206	-0,044
10 Nova Esperança	-0,007	0,164	0,001	-0,138	0,041	-0,036	0,270	0,085	-0,068	0,030	0,115	-0,019

* Valores em negrito indicam tendência significativa (valor $p < 0,05$).

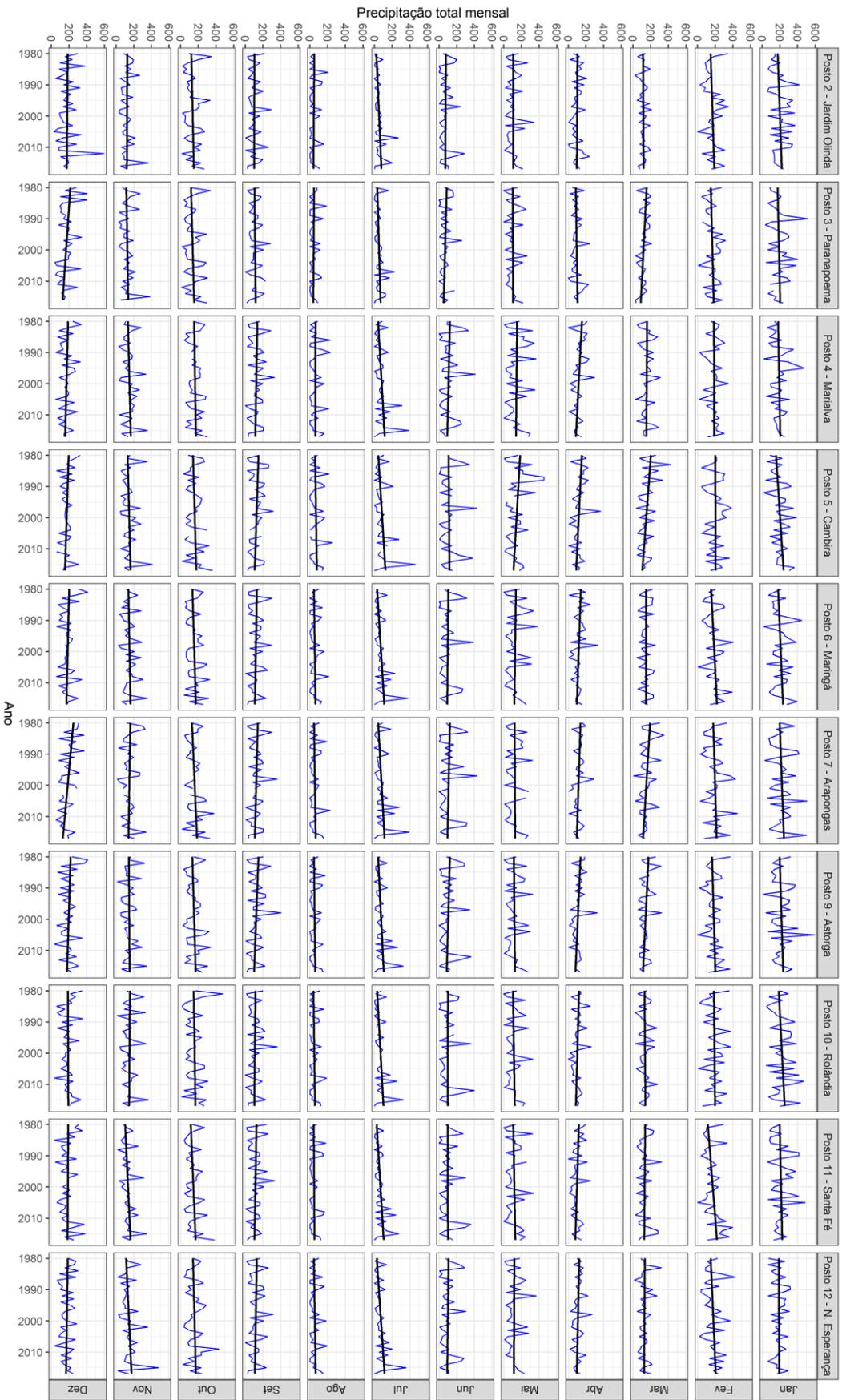


Figura 45 - Tendência para a precipitação total mensal nos postos da bacia do rio Pirapó – PR

Com relação aos resultados referentes ao número de dias com chuva (Tabela 8), constata-se que o setor norte onde está o posto 2 (Paranapoema), central e sul em que se encontram os postos 4 (Cambira), 5 (Maringá), 6 (Arapongas), 7 (Astorga), 9 (Santa Fé) e 10 (Nova Esperança) apresentaram tendências negativas significativas ao nível 5%, ou seja, apresentaram uma tendência de decréscimo dos dias com chuva.

Este resultado também foi verificado na escala anual para os mesmos postos, exceto o posto 5 (Maringá), apresentando uma tendência de decréscimo dos dias com chuva considerada não significativa, assim como o posto 10 (Nova Esperança).

Tabela 8 - Resultado do teste de Mann-Kendall Sazonal do número de dias com chuva nos postos da bacia do rio Pirapó – PR

Número	Código	Posto	Z	tau	p	Spearman	Kendall
1	2252013	Jardim Olinda	1,375	0,046	0,169	0,036	0,026
2	2252019	Paranapoema	-4,101	-0,140	< 0,001	-0,177	-0,122
3	2351029	Marialva	0,345	0,012	0,730	0,027	0,019
4	2351043	Cambira	3,687	0,126	< 0,001	0,140	0,095
5	2351045	Maringá	-1,958	-0,066	0,050	-0,067	-0,047
6	2351048	Arapongas	-3,531	-0,120	< 0,001	-0,133	-0,093
7	2351051	Astorga	-5,513	-0,187	< 0,001	-0,200	-0,137
8	2351053	Rolândia	1,206	0,041	0,228	0,044	0,030
9	2351065	Santa Fé	-5,243	-0,178	< 0,001	-0,194	-0,134
10	2352039	Nova Esperança	-2,176	-0,074	0,030	-0,070	-0,049

* Valores em negrito indicam tendência significativa (valor $p < 0,05$).

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 9 e Figura 46, observa-se que o número de postos com tendência negativa dos dias com chuvas é maior entre janeiro e março. O mês de janeiro apresenta apenas os postos 3 (Marialva), 4 (Cambira) e 8 (Rolândia) com tendência de aumento do número de dias com chuva, onde somente o posto 4 (Cambira) demonstra resultado significativo ao nível de 5% com valor (tau) de 0,329.

Este mesmo posto, 4 (Cambira) apresenta tendência positiva durante fevereiro, mas não significativa. Isto ocorre em relação ao resultado de tendência negativa, em que todos os demais postos demonstram este resultado, contudo não é significativo ao nível de 5%. Neste primeiro trimestre, março se destacou por demonstrar apenas um posto com tendência positiva não significativa e os postos 2 (Paranapoema), 6 (Arapongas), 7 (Astorga), 9 (Santa Fé) e 10 (Nova Esperança) com tendência negativa com 5% de significância (Tabela 9 e Figura 46).

Durante o trimestre abril-maio-junho, verifica-se que apenas o mês de abril apresenta postos com tendência negativa e significativa, sendo os postos 6 (Arapongas), 7 (Astorga) e 9 (Santa fé), com valor (tau) de -0,307, -0,247 e -0,246, respectivamente. É possível observar que os resultados negativos se sobressaem em relação aos positivos, porém com exceção dos postos citados, os resultados não são significativos ao nível de 5% (Tabela 9 e Figura 46).

Os resultados de tendência negativa significativa dos dias com chuva no trimestre julho-agosto-setembro são verificados apenas nos postos 7 (Astorga) e 9 (Santa Fé) na porção sul e central da área durante setembro apresentando o valor (tau) de -0,275 e -0,307. O mês de julho foi marcado por predomínio de tendências positivas, e o contrário em agosto com tendências negativas, porém não significativas a 5% em grande parte dos postos pluviométricos (Tabela 9 e Figura 46).

Silva *et al.* (2015) por sua vez, indicam que a tendência de diminuição dos dias com chuva apresenta-se de forma aleatória em diferentes localidades do estado do Paraná, e que esta tendência não ocorre de forma contínua, ou seja, demonstram extremos em determinados anos e meses. Os autores verificaram que na estação de Planalto localizado na região sudoeste do Paraná, durante os meses de julho e agosto ocorreram 40 e 38 dias sem precipitação no período de 1976 a 2010.

Costa *et al.* (2009) evidenciaram que entre 1977 e 2008 nas estações de Cambará e Joaquim Távora no norte do Paraná, registraram 68 e 52 eventos de períodos superiores a 20 dias sem chuva no estado. De acordo com os autores, os eventos de longos períodos de estiagem ocorrem com maior frequência durante os meses de junho-julho-agosto, também apontados por Terassi *et al.* (2018).

No último trimestre apenas o mês de novembro aparece com postos de tendência positiva significativa desta variável, sendo 4 (Cambira) e 8 (Rolândia) com valor (tau) de 0,251 e 0,248. Em dezembro houve o registro de tendências negativas significativas para os postos 7 (Astorga) e 9 (Santa Fé), onde o valor (tau) é de -0,256 e -0,347. Nota-se em outubro que houve postos com tendências de aumento e decréscimo dos dias com chuva, mas todas não significativas (Tabela 9 e Figura 46).

Os resultados referentes aos meses que compreendem o verão estão de acordo com Minuzzi e Caramori (2011), os quais apontam maior número de postos no estado do Paraná com tendência de diminuição dos dias com chuva nos anos de 1945 a 2005. Além

disso, as discussões de Obregón e Marengo (2007) e Marengo (2006) indicam um aumento nos períodos de estiagem na região Sul do Brasil desde 1950.

Silva e Guetter (2003) assinalam que o estado do Paraná apresenta indícios de modificação hidrológica e temperatura principalmente. Segundo os autores, entre 1938 a 1995 o município de União da Vitória demonstrou diminuição do período úmido. Os resultados de Minuzzi e Lopes (2014) para os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, evidenciaram que entre os anos de 1930 e 1996 somente 2 dos 32 postos pluviométricos utilizados na pesquisa demonstraram tendência de decréscimo no número de dias com chuva nos meses do verão e inverno.

Ressalta-se que os resultados referentes aos dias úmidos ou com chuva diferem entre os postos pluviométricos, por justamente considerar as interações entre a dinâmica climática regional e o processo de ocupação e utilização do espaço pelo homem. Somado a estes fatores, há que se levar em conta, que as inconsistências de dados utilizados e a metodologia aplicada, podem interferir nas conclusões e entendimento sobre as mudanças no padrão de distribuição e frequência temporal das chuvas.

Tabela 9 - Resultado do teste de Mann-Kendall do número de dias com chuva mensal nos postos da bacia do rio Pirapó – PR

Posto	Mês											
	Jan	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1 Jardim Olinda	0,148	0,097	-0,015	-0,049	0,004	0,112	0,113	-0,054	-0,062	0,142	0,131	-0,010
2 Paranapoema	-0,042	-0,192	-0,255	-0,199	-0,162	-0,050	-0,035	-0,090	-0,220	-0,117	-0,136	-0,181
3 Marialva	0,169	-0,001	-0,009	-0,012	-0,001	0,010	0,117	-0,018	-0,047	0,013	-0,007	-0,071
4 Cambira	0,329	0,147	-0,041	0,099	0,117	0,162	0,183	0,030	-0,036	0,205	0,251	0,048
5 Maringá	-0,062	-0,087	-0,093	-0,081	-0,163	-0,003	0,063	-0,072	-0,179	-0,056	-0,018	-0,044
6 Arapongas	-0,001	-0,176	-0,259	-0,307	-0,108	-0,052	0,056	-0,120	-0,141	-0,113	-0,024	-0,203
7 Astorga	-0,136	-0,219	-0,263	-0,247	-0,112	-0,148	-0,156	-0,136	-0,275	-0,123	-0,163	-0,256
8 Rolândia	0,086	-0,056	0,027	-0,070	-0,013	0,024	0,070	0,006	0,045	0,119	0,248	0,006
9 Santa Fé	-0,174	-0,165	-0,373	-0,246	-0,106	-0,088	-0,009	-0,124	-0,307	-0,080	-0,106	-0,347
10 Nova Esperança	-0,043	-0,135	-0,257	-0,057	-0,092	-0,063	0,069	-0,084	-0,181	-0,064	0,087	-0,067

* Valores em negrito indicam tendência significativa (valor $p < 0,05$).

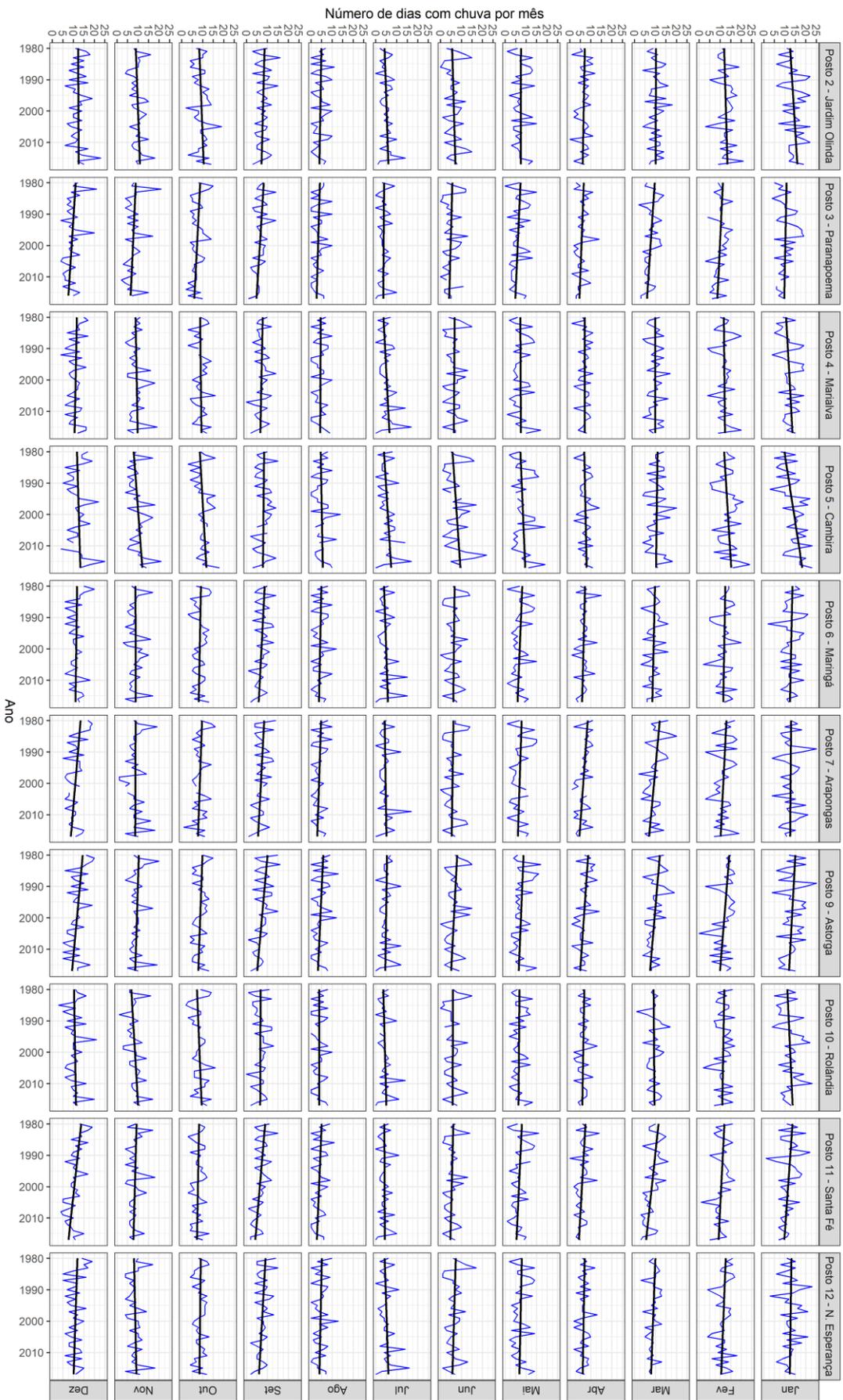


Figura 46 - Série e tendência do número de dias com chuva por mês nos postos da bacia do rio Pirapó – PR

A Tabela 10 demonstra os resultados do teste de tendência para as precipitações máximas em 24 horas para a área de estudo. Considerando o efeito da sazonalidade nas séries mensais, verifica-se tendência de aumento da pluviosidade máxima, ou seja, os valores de (τ) positivos indicam um possível aumento destas precipitações, porém, por meio do valor (p), estes resultados não demonstraram significância ao nível de 5%.

Os postos 2 (Paranapoema) e 9 (Santa Fé) apresentam os valores de (τ) mais elevados, com 0,072 e 0,070 (Tabela 10). Através desta característica, pode-se inferir a concentração da pluviosidade máxima diária, o que se verifica também pelo decréscimo dos dias com chuva nestas localidades.

Ressalta-se que diante do padrão de distribuição da precipitação, que a ocorrência de chuvas significativas e com um período menor de duração estão associadas ao clima regional e local, em que apontam Minuzzi e Caramori (2011) e Pinheiro e Martin-Vide (2017).

Tabela 10 - Resultado do teste de Mann-Kendall Sazonal da precipitação máxima em 24 horas nos postos da bacia do rio Pirapó – PR

Número	Código	Posto	Z	tau	p	Spearman	Kendall
1	2252013	Jardim Olinda	1,169	0,038	0,242	0,050	0,033
2	2252019	Paranapoema	2,171	0,072	0,030	0,075	0,050
3	2351029	Marialva	0,357	0,012	0,721	0,019	0,012
4	2351043	Cambira	0,171	0,006	0,864	0,013	0,009
5	2351045	Maringá	1,078	0,035	0,281	0,039	0,027
6	2351048	Arapongas	0,374	0,012	0,709	0,005	0,004
7	2351051	Astorga	1,086	0,036	0,278	0,030	0,021
8	2351053	Rolândia	1,774	0,058	0,076	0,075	0,051
9	2351065	Santa Fé	2,149	0,070	0,032	0,094	0,063
10	2352039	Nova Esperança	0,022	0,001	0,983	0,011	0,007

* Valores em negrito indicam tendência significativa (valor $p < 0,05$).

Ao analisar a precipitação máxima mensal em 24 horas, observa-se que os resultados indicam o predomínio de tendências positivas, diferentemente dos observados para o número de dias com chuva.

Por meio da Tabela 11 e Figura 49, é possível constatar que os resultados da aplicação do teste não paramétrico de Mann-Kendall à precipitação máxima mensal que dos 10 postos da bacia do rio Pirapó, 5 apresentaram uma tendência significativa da precipitação máxima ao longo dos anos em ao menos um mês, ao nível de 5% de significância.

No trimestre janeiro-fevereiro-março, observa-se o predomínio do acréscimo da pluviosidade máxima, onde o posto 9 (Santa Fé) representa um aumento significativo da precipitação máxima em fevereiro com valor (tau) de 0,238 e o posto 6 (Arapongas) com diminuição das chuvas em março, cujo valor (tau) corresponde a -0,275 (Tabela 11 e Figura 49).

Pinheiro, Graciano e Severo (2015) também identificaram que apenas a estação de Foz do Iguaçu entre as 18 analisadas apresentou tendência negativa de precipitação no mês de janeiro em toda a região Sul do Brasil no período de 1944 a 2006. Os estudos de Sangiolo e Kayano (2010) verificaram que entre 1914 e 2006 os meses de dezembro-janeiro-fevereiro demonstraram tendência positiva e significativa a 5% com valor (tau) de 2,26 nas 6 estações meteorológicas do Rio Grande do Sul utilizadas na pesquisa.

O trimestre abril-maio-junho demonstra uma tendência de diminuição dos máximos diários, principalmente no mês de junho, onde todos os postos apresentam resultados negativos e não significativos (Tabela 11 e Figura 47). O norte do Paraná durante as estações do outono e inverno apresentam os valores menos expressivos de precipitação média (NIMER, 1989; GRIMM, 2009), o que pode denotar ser um período em que os valores negativos de tendência são esperados.

Entretanto, ao observar os resultados para o trimestre julho-agosto-setembro verifica-se que julho se contrapõe ao padrão de variabilidade do período demonstrando tendência positiva para todos os postos e estatisticamente significativa apenas para o posto 10 (Nova Esperança). O mesmo se observa em agosto, onde os resultados são de aumento da pluviosidade, e setembro com o predomínio de tendência de diminuição, ambos sem significância de 5% (Tabela 11 e Figura 47).

Diante disto, pode-se evidenciar que os eventos de chuvas intensas podem ocorrer mesmo em meses que apresentam períodos de estiagem mais marcados, como os meses de junho-julho-agosto, os quais foi observado por Mioto (2017) ao analisar tais eventos a partir de dados pluviográficos para a bacia do rio Pirapó. Sangiolo e Kayano (2010) confirmam esta observação, onde o trimestre junho-julho-agosto para todas as estações meteorológicas do Rio Grande do Sul apresentaram tendência positiva com valor (tau) de 0,40, mesmo sendo o menor valor para a área de estudo.

No último trimestre não foi verificada tendência significativa de aumento da precipitação embora os valores em grande parte dos postos são positivos. O posto 10

(Nova Esperança) na porção central da bacia é o único por apresentar tendência negativa e não significativa da pluviosidade máxima diária no mês de outubro. Nota-se uma tendência de aumento expressivo de outubro a dezembro nos postos analisados com tendência negativa para a área de estudo (Tabela 11 e Figura 47).

Embora haja o predomínio de tendências positivas, ou seja, de aumento da precipitação máxima em 24 horas para a área de estudo, alguns postos apresentam características contrárias, como o posto 6 (Arapongas). Esta característica está de acordo com os apontamentos e Minuzzi e Caramori (2011) que evidenciaram tendência de aumento das chuvas sazonais no Paraná, porém, ao aprofundarem seus estudos, notaram que somente os postos de Adrianópolis e Rio Negro apresentaram tendência de aumento em todas as estações do ano entre 1945 e 2006.

Armond (2018) ao empregar o teste de tendência para a precipitação no estado do Rio de Janeiro, verificou que dos 124 postos e estações utilizados, apenas 10 apresentaram tendência positiva, e apenas 7 tendências negativas, sendo os demais não significativos. A autora destaca que as causas desses fenômenos podem ser atribuídas a condicionantes ambientais como expansão dos padrões de urbanização nessas áreas, desmatamento, alterações em grandes cursos d'água, expansão de cultivos agrícolas, entre outros.

Costa *et al.* (2015) ao investigarem as tendências de precipitação intensa em períodos úmidos e pouco úmidos na região semiárida do nordeste brasileiro, verificaram o aumento destes eventos ao nível de 5% de significância nos anos de 1961 a 2011. Segundo os autores, o aumento da ocorrência no número de eventos intensos está relacionado com a influência do fenômeno El Niño na região.

Tabela 11 - Resultado do teste de Mann-Kendall da precipitação máxima em 24 horas mensal nos postos da bacia do rio Pirapó – PR

Posto	Mês											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1 Jardim Olinda	0,074	0,212	0,016	0,034	0,016	-0,033	0,071	0,020	-0,024	0,175	-0,014	-0,088
2 Paranapoema	0,111	0,098	-0,168	0,121	0,221	-0,062	0,151	0,046	0,042	0,172	0,215	-0,095
3 Marialva	0,100	-0,091	-0,053	-0,065	0,071	-0,028	0,157	0,025	-0,044	0,105	-0,021	-0,009
4 Cambira	0,154	-0,044	0,030	-0,164	-0,029	-0,017	0,095	0,124	-0,075	0,105	0,018	-0,122
5 Maringá	0,129	0,130	0,006	-0,085	-0,028	-0,027	0,195	0,075	-0,070	0,111	-0,024	0,013
6 Arapongas	0,070	0,141	-0,275	0,021	0,039	-0,064	0,131	0,165	-0,042	0,069	0,059	-0,170
7 Astorga	0,124	0,208	-0,215	-0,030	0,090	-0,081	0,110	0,172	-0,071	0,075	0,088	-0,041
8 Rolândia	0,108	-0,057	0,094	0,013	0,132	-0,056	0,176	0,186	-0,033	0,036	-0,027	0,137
9 Santa Fé	0,128	0,238	0,006	0,006	0,075	-0,116	0,202	0,130	0,020	0,031	0,164	-0,038
10 Nova Esperança	-0,037	0,102	-0,070	-0,155	-0,009	-0,075	0,246	0,138	-0,124	-0,013	0,056	-0,050

* Valores em negrito indicam tendência significativa (valor $p < 0,05$).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados referentes à precipitação média anual e o número de dias com chuva anual demonstraram um padrão de distribuição semelhante, com o aumento do baixo para o alto curso da bacia. As médias anuais de precipitação total variaram entre 1.352,0 mm a 1.664,0 mm, enquanto as médias do número de dias com chuva oscilaram entre 53 e 112 dias.

Na análise da escala sazonal foi possível observar que as estações da primavera e verão concentram os maiores valores médios de precipitação e do número de dias de chuva, apresentando valores inferiores no baixo curso e valores mais elevados no médio e alto curso da bacia, o que está em consonância com a dinâmica atmosférica regional para a área de estudo.

Observou-se na escala mensal que os meses de setembro a março se destacaram com maiores valores de precipitação média, além dos meses de maio e junho nos postos que compõem o médio e alto curso. Em relação ao número de dias de chuva é possível perceber uma distribuição semelhante à precipitação média, onde os meses de setembro a março demonstram os maiores valores médios.

Com relação ao painel espaço-temporal do número de dias de chuva anual, notou-se que as classes 84 a 96 e 97 a 109 dias foram mais frequentes em grande parte dos postos, sendo consideradas habituais na área de estudo. Conclui-se que as classes superiores a 123 dias com chuva são menos frequentes e se concentram nos postos inseridos no alto curso da bacia do rio Pirapó.

Quanto à precipitação máxima em 24 horas anual, observou-se um padrão de distribuição diferente em comparação com a precipitação média e o número de dias com chuva. Embora os postos que compõem o médio e alto curso apresentem valores médios entre 75 e 90 mm, postos com menores altitudes, como 2 (Jardim Olinda) e 3 (Paranapoema) demonstraram valores elevados, denotando que os máximos em 24 horas ocorrem independente da altitude da área de estudo.

Quanto à concentração dos valores médios sazonais da pluviosidade máxima diária, a sua distribuição espacial ocorre no sentido do baixo para o alto curso da área, estando de acordo com as características obtidas para a precipitação média e do número de dias com chuva. Entretanto, observa-se que a frequência destes máximos ocorre

principalmente nas estações do verão e outono, sendo distinto da maior frequência no verão e primavera da pluviosidade média e dos dias com chuva.

A maior frequência mensal das chuvas máximas diárias analisadas ocorreu nos meses de junho e janeiro, enquanto julho e agosto foram os únicos meses que não demonstraram valores significativos em todos os postos da bacia. Outra característica relevante é que não há um padrão de distribuição dos máximos diários semelhante à pluviosidade média, mas a sua ocorrência é ocasional nos vários postos da bacia, esteja este localizado no baixo, médio ou alto curso.

Com relação às tendências dos totais pluviométricos anuais, os resultados não mostraram tendência estatisticamente significativa ao nível de 5% para os postos da área de estudo, mas apenas indícios de decréscimo, e em grande parte nos postos localizados no sul da bacia. Contudo, para o número de dias com chuva, dos 10 postos analisados, 5 postos apresentaram tendência positiva, porém 5 postos demonstraram tendência negativa significativa, onde o posto 9 (Santa Fé) o valor (tau) foi o mais expressivo.

Quanto à pluviosidade máxima em 24 horas, o teste revelou tendência negativa para 3 postos: posto 3 (Marialva), 4 (Cambira) e 10 (Nova Esperança), e a tendência positiva nos demais. É perceptível que o resultado negativo e positivo de tendência não foi significativo a 5% para a pluviosidade máxima diária.

A aplicação do teste de tendência na escala mensal possibilitou um maior detalhamento na análise do comportamento do total pluviométrico, onde os meses de março, abril e dezembro demonstraram tendência negativa significativa em 3 postos: posto 2 (Paranapoema), 3 (Marialva) e 6 (Arapongas). Observa-se o predomínio de tendência positiva nos meses observados, e a única tendência significativa foi verificada no mês julho, no posto 10 (Nova Esperança).

A constatação de tendência negativa significativa nos meses de março e abril, juntamente com os meses de janeiro, setembro, novembro e dezembro, permite concluir que a redução dos dias com chuva pode impactar negativamente os recursos hídricos e a agricultura da área de estudo. Não foi verificada tendência positiva significativa em nenhum mês nos postos analisados.

No que se refere à pluviosidade máxima diária, o teste Mann-Kendall indicou predomínio de tendência positiva ao longo dos meses, apenas os postos 9 (Santa Fé) e 10 (Nova Esperança) apresentaram uma tendência significativa ao nível de 5% nos meses de fevereiro e julho. A única tendência negativa que se mostrou significativa é referente ao posto 6 (Arapongas) no mês de março.

Considerando que nos postos analisados, os valores de pluviosidade total anual se mantiveram, conclui-se que não é possível afirmar a hipótese de mudança no padrão da precipitação na bacia do rio Pirapó. Esta, por sua vez, está relacionada com a dinâmica de fenômenos atmosféricos globais, como El Niño e La Niña, além da própria característica climática regional e local, atrelada ao uso do solo e as transformações da paisagem.

Porém, entende-se que a redução do número de dias com chuva indica, de certa forma, uma modificação na frequência e distribuição da pluviosidade e, em especial, uma concentração de chuvas máximas diárias. Contudo, considera-se pertinente o avanço de estudos destes eventos em escala diária, que possibilitam maior detalhamento das características de frequência e distribuição.

O ideal seria que a área de estudo tivesse mais postos pluviométricos espacializados e com séries de dados mais longas, principalmente para o estudo de tendência. A existência de falhas e erros de observação, além de prejudicar os resultados de pesquisas, comprometem a compreensão da variabilidade pluviométrica, principalmente a investigação de tendências e de eventos significativos de pluviosidade.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER *et al.* Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**, v. 111, p. 3-22, 2006.

ALMEIDA, B. M.; VIEIRA, J. J.; DUARTE, S. N.; FRIZZONE, J. A.; ARRARES, F. D.; PERBONE, A. Análise de tendência temporal da precipitação diária máxima no estado de São Paulo. **Water Resources and Irrigation Management**, Campina Grande, v. 3, p. 1-12, 2015.

ÁLVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J.L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMARAL, Lia Martins Costa. **Análise de Complexos Convectivos ocorridos na Região Sul da América do Sul durante o período de 2005 a 2010**. 204 f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2014.

AMBOS, S. H.; MELLO, R. S. P.; SILVA, A. N.; BINKOWSKI, P. Mudanças climáticas e seus efeitos no Litoral Médio do Rio Grande do Sul. **Revista Eletrônica Científica UERGS**, Porto Alegre, v. 3, n. 4, p. 683-693, 2017.

AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P.; MARENGO, J. A.; PISNITCHENCO, I.; NUNES, L. A.; FERNANDEZ, J. P. R. **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o século XXI**: projeções de clima usando três modelos regionais: relatório 3. Brasília: MMA, 2007.

ANDRADE, Carlos Antonio. **Análise comparativa dos elementos climáticos: temperatura e pluviosidade para os municípios de Maringá e Apucarana-PR**. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

ANDRADE, Kelen Martins. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. 187 f. Dissertação (Mestrado) -Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Meteorologia, São José dos Campos, 2005.

ANDRIUCCI, L. R.; SANT'ANNA NETO, J. L.; FERREIRA, M. E. C. Análise da variabilidade e tendência das chuvas e a descrição da produção agrícola na bacia do rio Pirapó - PR. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 20, n. 2, p. 41-57, 2002.

ANJOS, I. B.; MARTINS, M. L. O. F.; NERY, J. T. Estudo da precipitação pluviométrica e balanço hídrico em Maringá. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 19, n. 1, p. 115-128, 2001.

ANJOS, I. B.; NERY, J. T. Variáveis meteorológicas associadas ao rendimento de grãos no Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 133-144, 2005.

ARMOND, Núbia Beray. **Dinâmica climática, excepcionalidades e vulnerabilidade: contribuições para uma classificação geográfica do clima do estado do Rio de Janeiro**. 170 f. Tese (Doutorado)-Programa de Pós-Graduação em Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2018.

ASSAD, E. D.; COSTA, L. C.; MARTINS, S. C.; CALMON, M.; FELTRAN-BARBIERI, R.; CAMPANILI, M.; NOBRE, C. A. **Papel do Plano ABC e do planaveg na adaptação da agricultura e da pecuária às mudanças climáticas**. São Paulo, WRI Brasil, 2019, 46 p.

ASSAD, E.; PINTO, H. S. **Aquecimento Global e a Nova Geografia da produção agrícola no Brasil**. EMBRAPA-CEPAGRI, São Paulo, 2008, 82 p.

BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001.

BACK, A. J.; BRUNA, E. D.; VIEIRA, H. J. Tendências climáticas e produção de uva na região dos Vales da Uva Goethe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 4, p. 497-504, 2012.

BALDO, M. C.; DZIUBATE, E. R.; GALIANI, D. L. A. Variabilidade da pluviosidade temporal e espacial na bacia do rio Pirapó-PR. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 2, n. 5, p. 1159-1172, 2012.

BALDO, M. C.; MARTINS, M. L. O. F.; NERY, J. T. Análise da estrutura da precipitação pluviométrica na região sul do Brasil. **Boletim de Geografia**, Maringá, n. 1, p. 71-98, 2001.

BALDO, Maria Cleide. **Análise da pluviosidade diária na bacia do rio Piquiri – PR**. 2018. 64f. Relatório (Pós-Doutorado)-Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual “Júlio Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2018.

BALDO, Maria Cleide. **Variabilidade pluviométrica e dinâmica atmosférica na bacia hidrográfica do rio Ivaí-PR**. Presidente Prudente. 172 f. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2006.

BARBIERI, Paulo Ricardo Bardou. **Caracterização da estação chuvosa nas regiões Sul e Sudeste do Brasil associado com a circulação atmosférica**. São José dos Campos. 124f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2007.

BEREZUK, A. G.; GARCIA, M. R. Estudo de tendências do ritmo pluviométrico da bacia hidrográfica do rio Pardo-MS. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 9, p. 7-20, 2011.

BEREZUK, A. G.; SANT'ANNA NETO, J. L. Eventos climáticos extremos no oeste paulista e norte do Paraná, nos anos 1997, 1998 e 2001. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 2, p. 9-22, dez. 2006.

BEREZUK, André Geraldo. **Análise das adversidades climáticas no oeste paulista e norte do Paraná**. Presidente Prudente, 2007, 379p. Tese (Doutorado)-Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual "Júlio Mesquita Filho".

BOIN, Marcos Norberto. **Chuvas e erosões no oeste paulista: uma análise climatológica aplicada**. 2000. 281 f. Tese (Doutorado)-Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, 2000.

BOOIJ, M. J. Extreme daily precipitation in western europe with climate change at appropriate spatial scales. **International Journal of Climatology**, v. 22, p. 69-85, 2002.

BORSATO, V. A. As chuvas de janeiro de 2010 em Maringá-PR e a dinâmica dos sistemas atmosféricos. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS, 16., **Anais...** Porto Alegre: 2010. 1 CD-ROM.

BRASIL. **Grupo de trabalho impactos das mudanças climáticas no Brasil e o papel do Conama na adoção de medidas de adaptação**. MMA, 2008, 36 p.

BRIGATTI, N.; SANT'ANNA NETO, J. L. Variabilidade e tendência das chuvas no extremo oeste paulista no período de 1971 a 1999: problemas e perspectivas. **Revista Geografia em Atos**, Presidente Prudente, v. 1, n. 5, p. 1-16, 2005.

BRITO, A. L.; VEIGA, J. A. P.; YOSHIDA, M. C. Extreme rainfall events over the Amazon basin produce significant quantities of rain relative to the rainfall climatology. **Atmospheric and Climate Sciences**, v. 4, p. 179-191, 2014.

BURN, D. H.; ELNUR, M. A. H. Detection of hydrologic trends and variability. **Journal of Hydrology**, v. 255, p. 107-122, 2002.

CALDANA, N. F. S.; NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H. Precipitações de granizo e os impactos na Mesorregião Sudoeste Paranaense, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 12, n. 04, p. 1327-1339, 2019.

CAMPOS, C. R. J.; RASERA, G. Análise sazonal dos SCM que geraram eventos severos no Rio Grande do Sul entre 2004 e 2008. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 481-491, set - dez. 2014.

CARAMORI, P. H.; CAVIGLIONE, J. H.; WREGE, M. S.; GONÇALVES, S. L.; FARIA, R. T.; ANDROCIOLI FILHO, A.; SERA, T.; CHAVES, J. C. D.; KOGUISHI, M. S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de café (*Coffea arabica* L.) no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 486-494, 2001.

CARVALHO, J. R. P.; ASSAD, E. D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 377-384, 2005.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Extreme Precipitation Events in Southeastern South America and Large-Scale Convective Patterns in the South Atlantic Convergence Zone. **American Meteorological Society**, v. 15, p. 2377-2394, 2002.

CASAVECCHIA, B. H.; EDUARDO MORGAN ULIANA, E. M.; SOUZA, A. P.; LISBOA, L.; SOUSA JUNIOR, M. F. Tendências em séries históricas de precipitação na região amazônica de Mato Grosso. **Revista de Ciências Agroambientais**, Cuiabá, v. 14, n. 2, 2016.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. Frentes frias sobre o Brasil. In: _____. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 135-146.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. CD-ROM.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. Disponível em: <[http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes.formulario.logic](http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes/formulario.logic)>. Acesso em: 05 jan. 2019.

CERA, J. C.; FERRAZ, S. E. T. Variações climáticas na precipitação no sul do Brasil no clima presente e futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 81-88, 2015.

CHIERICE, R. A. F.; LANDIM, P. M. B. Variabilidade espacial e temporal de precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu. São Paulo, **Geociências**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 157-171, 2014.

CLIMANÁLISE. **Boletim de monitoramento e análise climática**. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0109.shtml>>. Acesso em: 10 set. 2018.

CLIMANÁLISE. **Boletim de monitoramento e análise climática**. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0414.shtml>>. Acesso em: 14 set. 2019.

CLIMANÁLISE. **Boletim de monitoramento e análise climática**. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0109.shtml>>. Acesso em: 10 set. 2020.

CORREIA, J. L.; STEINKE, R. **Colonização do Norte do Paraná (1925-1960):** apontamentos acerca de seu estudo e da produção de um material didático. Secretaria de Educação do Estado do Paraná. 2008.

COSTA, A. B. F.; MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; ATAIDE, L. T.; YADA, I. F. U. Análise climatológica de dias consecutivos sem chuva no Estado do Paraná. *In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA, 3., Anais...* Canela, 2009, 1 CD-ROM.

COSTA, M. S.; LIMA, K. C.; ANDRADE, M. M.; GONÇALVES, W. A. Tendências observadas em extremos de precipitação sobre a região Semiárida do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, n. 05, p. 1321-1334, 2015.

COTTA, H. H. A.; CORREA, W. S. C.; ALBUQUERQUE, T. T. A. Aplicação da distribuição de gumbel para valores extremos de precipitação no município de Vitória-ES. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 19, p. 203-2017, 2016.

CRUCIANI, D. E.; MACHADO, R. E.; SENTELHAS, P. C. Paulo C. Modelos da distribuição temporal de chuvas intensas em Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 76-82, 2002.

DEFFUNE, G.; KLOSOWSKI, E. S.; SILVA, S. M. Concentração e intensidade pluviométrica de Maringá, 1976-1994. **UNIMAR**, Maringá, v. 17, n. 3, p. 489-499, 1995.

DJEBOU, D. C. S.; SINGH, V. P. Impact of climate change on precipitation patterns: a comparative approach. **International Journal of Climatology**, v. 36, p. 3588-3606, 2016.

DZIUBATE, Elielton Rocha. **Análise da distribuição espacial e temporal da pluviosidade na bacia do rio Pirapó-PR**. 71f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)-Coordenação de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

EDWARDS, P. N. **A vast machine: computer models, climate data, and the politics of global warming**. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Londrina: SNLCS/SUDESUL/IAPAR, Tomo I e II, 1974, 791p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Mapa de solos do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos: EMBRAPA: Solos e Florestas, ISSN 1517-2627, 2007. 95p.

ESCOBAR, G. C. J.; SELUCHI, M. E.; ANDRADE, K. Classificação sinótica de frentes frias associadas a chuvas extremas no leste de Santa Catarina-SC. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 31, p. 649-661, 2016.

FAJARDO, S. Complexo agroindustrial, modernização da agricultura e a participação das cooperativas agropecuárias no Estado do Paraná. **Caminhos da Geografia** (UFU), Uberlândia, v. 09, n. 27, p. 31-44, 2008.

FARIAS, R. F. L.; ALVES, K. M. A. S.; NÓBREGA, R. S. Climatologia de ocorrência de eventos extremos de precipitação na mesorregião do sertão pernambucano. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 1, n. 5, p. 930-941, 2012.

FERREIRA, D. H. L.; PENEREIRO, J. C.; FONTOLAN, M. R. Análises estatísticas de tendências das séries hidro-climáticas e de ações antrópicas ao longo das sub-bacias do rio Tietê. **Revista Holos**, Natal, v. 2, p. 49-68, 2015.

FERREIRA, Danielle Barros. **Relações entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões sul e sudeste do Brasil**. 2006. 125. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de pesquisas Espaciais-INPE, São José dos Campos, 2006.

FERREIRA, L. G. B.; CARAMORI, P. H.; MORAIS, H.; NISTSCHKE, P. R.; COSTA, A. B. F. **O Fenômeno El Niño De 2015/2016 e seus Impactos nas Chuvas do Paraná**. Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/agrometeorologia/2017-01-09-boletim-enos.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2019.

FERREIRA, V.; ANABOR, V. Climatologia de sistemas convectivos de mesoescala ocorridos sobre a América do Sul no período de 2005 a 2006. **Revista Ciência e Natura**, Santa Maria, n. 37, p. 17-21, 2015.

FONTÃO, P. A.; ZAVATTINI, J. A. Variabilidade das chuvas anuais na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e no Sistema Cantareira: classificação e frequência dos anos-padrão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Fortaleza, v. 12, n. 02, p. 457-469, 2019.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; WREGE, M. S.; CHAVES NETO, A. Análise da pluviometria para definição de zonas homogêneas no estado do Paraná. **Revista Ra´e Ga**, Curitiba, v. 23, p. 555-572, 2011.

GALVANI, E.; PEREIRA, A. R.; KLOSOWSKI, E. S. Relações entre o índice de oscilação sul (IOS) e o total mensal de chuva em Maringá-Pr. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 20, n. 4, p. 531-535, 1998.

GAN, M. A.; SANTOS, L. F.; LIMA, J. R. A.; SILVA, A. B. Monção da América do Sul. **Revista Climanalise**, São José dos Campos, v. 1, p. 1-6, 2016.

GARCIA, Sâmia Regina. **Variabilidade do sistema de monção da América do Sul: relações com a Oscilação Decadal do Pacífico**. 142 f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2006.

GASPAROTTO, F. K.; CARAMORI, P. H.; VASCONCELLOS, M. E. C. Análise de tendência de variáveis climáticas térmicas e hídricas para o estado do Paraná. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA*, 14., **Anais...** Campinas, 2005, 1 CD-ROM.

GITHUI, F.; GITAU, W.; FRANCIS, M.; BAUWENSA, W. Climate change impact on SWAT simulated streamflow in western Kenya. **International Journal of Climatology**, v. 29, p. 1823-1834, 2009.

GOLDEN GATE WEATHER SERVICE. **El Niño e La Niña anos e intensidades**. 2020. Disponível em: <<https://ggweather.com/enso/oni.htm>>. Acesso em: 19 mar. 2020.

GONÇALVES, N. M. S. Impactos pluviais e desorganização do espaço urbano em Salvador. *In: MENDONÇA, F.; MONTEIRO, C. A. F. M (Org.). Clima urbano*. 2 ed. São Paulo, Contexto, p. 69-91, 2015.

GRIMM, A. G.; PSCHIEDT, E. I. Padrões atmosféricos associados a eventos severos de chuva na primavera durante El Niño, La Niña e anos neutros. *In: CONGRESSO DA FEDERAÇÃO LATINO-AMERICANA E IBÉRICA DE SOCIEDADES DE METEOROLOGIA*, 9.; *CONGRESSO ARGENTINO DE METEOROLOGIA*, 8., **Anais...** Buenos Aires, 2001, 1 CD-ROM.

GRIMM, A. M. Clima da região sul do Brasil. *In: CAVALCANTI, I. F. A; FERREIRA, N. J; SILVA, M, G, A, J; DIAS, M. A. F. S (Org.). Tempo e clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 259-274.

GRIMM, A.M.; BARROS, V.R.; DOYLE, M.E. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v. 13, n. 1, p. 35-58, 2000.

GRIMM, Alice M. Verificação de variações climáticas na área do lago de Itaipu. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, 5., **Anais...** Rio de Janeiro, 1988, 1 CD-ROM.

GROISMAN, P. Y.; KNIGHT, R. W.; EASTERLING, D. R.; KARL, T. R.; HEGERL, G. C.; RAZUVAEV, V. N. Trends in Intense Precipitation in the Climate Record. **Journal of Climate**, v. 18, p. 1326-1350, 2005.

GUIMARÃES, S. O.; COSTA, A. A.; VASCONCELOS JÚNIOR, F. C.; SILVA, E. M.; SALES, D. C.; ARAÚJO JÚNIOR, L. M.; SOUZA, S. G. Projeções de Mudanças Climáticas sobre o Nordeste Brasileiro dos Modelos do CMIP5 e do CORDEX. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 31, n. 3, 337-365, 2016.

HAYLOCK *et al.* Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate**, v. 19, p. 1490-1512, 2006.

HESS, T. M.; STEPHENS, W.; MARYAH, U. M. Rainfall trends in the North East Arid Zone of Nigeria 1961-1990. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 74, n. 1, p. 87-97, 1995.

HEWITSON, B. C.; CRANE, R. G. Consensus Between gcm climate change projections with empirical downscaling: precipitation downscaling over South Africa. **International Journal of Climatology**, v. 26, p. 1315-1337, 2006.

HIRAKURI, M. H. **Análise econômica do impacto da estiagem na produção de soja no estado do Paraná, safra 2008/09**. 2009. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/>>. Acesso em: 23 set. 2020.

HIROTA, M.; OYAMA, M. D.; NOBRE, C. Concurrent climate impacts of tropical South America land-cover change. **Atmospheric Science Letters**, v. 12, p. 261-267, 2011.

HIRSCH, R. M.; ALEXANDER, R. B.; SMITH, R. A. Selection of methods for the detection and estimation of trends in water quality. **Water Resources Research**, v. 27, n. 5, p. 803-813, 1991.

HIRSCH, R. M.; SLACK, J. R.; SMITH, R. A. Techniques for trend assessment for monthly water quality data, **Water Resources Research** 18, p. 107-121, 1982.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Boletim Técnico**. Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/agrometeorologia/2017_08_BOLETIM_EN_OS.pdf>. Acesso em: 30 set. 2018.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do Paraná**. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=863>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default_uf.shtm>. Acesso em: 20 mar. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. IBGE, 2020, 148p.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEODÉSIA. **Produtos Cartográficos**. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=47>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL.
Cadernos Municipais 2013. Disponível em:
 <http://www.ipardes.gov.br/index.php?pg_conteudo=1&cod_conteudo=30>. Acesso em: 10 mar. 2018.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL.
Cadernos Estatísticos Municipais 2020. Disponível em:
 <<http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=86700&btOk=ok>>. Acesso em: 16 jun. 2020.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL.
Leituras regionais: Mesorregião Geográfica Norte Central. Curitiba, BRDE, 2004, 146p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Field, C. B., V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K. J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (Ed.) Available from Cambridge University Press, The Edinburgh Building, Shaftesbury Road, Cambridge CB2-8RU ENGLAND, 582 p., 2012.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Summary for Policymakers**. In: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C.v on Stechow (Ed.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2011.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (Ed.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

JABUR, I. C.; SANTOS, M. L. Revisão estratigráfica da formação Caiuá. **Boletim de Geografia**, Maringá, n. 2, p. 91-106, jan. 1984.

JORGE, Felipe Vanhoni. **Fachada Atlântica Sul do Brasil**: dinâmica e tendências climáticas regionais no contexto das mudanças globais. Curitiba, 179 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Curso de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Paraná, 2009.

KENDALL, M. G. **Rank correlation Methods**. 4. ed. Londres, Charles Griffin, 1975.

KÖPPEN, W. Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf. **Petermanns Mitt**, v. 64, p. 193-203, 1918.

KRÜGER, C. M.; KAVISKI, E.; MÜLLER, I. I. Modelagem estatística da precipitação diária no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 87-94, 1998.

LACERDA, F. F.; NOBRE, P.; SOBRAL, M. C. M.; LOPES, G. M. B.; ASSAD, E. D. Tendência do clima do semiárido frente às perspectivas das mudanças climáticas globais; o caso de Araripina, Pernambuco. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 31, p. 132-141, 2016.

LEBEL, T.; ALI, A. Recent trends in the Central and Western Sahel rainfall regime (1990-2007). **Journal of Hydrology**, 2009.

LIEBMANN, B.; VERA, C. S.; CARVALHO, L. M. V.; CAMILLONI, I. A.; HOERLING, M. P.; ALLURED, D.; BARROS, V. R.; BAEZ, J.; BIDEGAIN, M. An Observed Trend in Central South American Precipitation. **Journal of Climate**, v. 15, p. 4357-4367, 2004.

LIMA, A. M.; ROCHA, J. R. R.; MARIANO, Z. F.; CABRAL, J. B. P. Intensidade das chuvas na bacia de Gaçu-GO. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 2, n. 5, p. 1089-1097, 2012.

LIMA, Jeane Rafaela Araújo. Variabilidade Interanual da Circulação de Monção da América do Sul. 174 f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2015.

LIMBERGER, L.; PITTON, S. E. C. Mudanças climáticas globais e alterações climáticas: a participação dos grandes reservatórios de usinas hidrelétricas. **Revista Pleiade**, Foz do Iguaçu, v. 2, n. 2, p. 123-133, 2008.

LIMBERGER, Leila. **O clima do oeste do Paraná**: análises da presença do lago de itapu. 149 f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.

LIU, X.; DAI, X.; ZHONG, Y.; LI, J.; WANG, P. Analysis of changes in the relationship between precipitation and streamflow in the Yiluo River, China. **Theoretical and Applied Climatology**, Vienna, v. 114, n. 1-2, p. 183-191, 2013.

LUCENA, A. F. P.; SCHAEFFER, R.; SZKLO, A. S.; DUTRA, R. M. The vulnerability of wind power to climate change in Brazil. **Global Environmental Change**, v. 35, p. 904-912, 2010.

MACHIWAL, D.; Jha, M. K. **Hydrologic time series analysis: theory and practice**. Springer, Dordrecht, Capital Publishing Company, New Delhi, 2012.

MANN, H. B. Non-parametric tests against trend. **Econometria**, v. 13, p. 245-259, 1945.

MARENGO, A. J.; JONES, R.; ALVES, L. M.; VALVERDEA, M. C. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, v. 29, p. 2241-2255, 2009.

MARENGO, J. A. Águas e mudanças climáticas. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 83-96, 2008.

MARENGO, J. A. **Caracterização do clima no século XX e cenários climáticos no Brasil e na América do Sul para o século XXI derivados dos modelos globais de clima do IPCC**. Relatório nº 1, MMA, Brasília, 2007, 185 p.

MARENGO, J. A. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade**. 2. ed. Brasília: MMA, 2007, 102 p.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos extremos no Brasil. *In*: KLAVIN, I. **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. Rio de Janeiro: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, 2009, p. 6.

MARENGO, J. A. On the hydrological cycle of the amazon basin: A historical review and current state-of-the-art. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 21, n. 3, p. 1-19, 2006.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; ELDER A. BESERRA, E.; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. *In*: MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O. (Org.). **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011, p. 383-416.

MARTINS, Vinicius Mateus Silveira. **Análise do excedente e deficiência hídrica para o período de 1962 a 2008 no município de Apucarana – PR**. Maringá, 2009, 48p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Geografia). Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Estadual de Maringá.

MENDONÇA, F. A; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Clima: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.207p.

MENDONÇA, F. Aquecimento global e suas manifestações regionais e locais: alguns indicadores da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 2, p. 71-86, 2006.

MINEROPAR. **Atlas geológico do estado do Paraná**. Minerais do Paraná. Curitiba. 2001.125p. CD ROM.

MINUZZI, R. B. Aplicação da cadeia de markov para previsão mensal de chuva em Santa Catarina durante o El Niño Oscilação Sul. **Revista Geosul**, Florianópolis, v. 32, n. 64, p. 126-136, 2017.

MINUZZI, R. B.; CARAMORI, P. H. Variabilidade climática sazonal e anual da chuva e veranicos no estado do Paraná. **Revista Ceres**, São Paulo, v. 58, n. 5, p. 593-602, 2011.

MINUZZI, R. B.; LOPEZ, F. Z. Variabilidade de índices de chuva nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 3, p. 697-706, 2014.

MIOTO, Silvia. **Intensidade pluviométrica no alto curso do rio Pirapó-PR: uma comparação entre duas propostas metodológicas**. 2017. 138f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2017.

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**, São Paulo, v. 39, p. 138-153, 2020.

MONTEBELLER, C. A.; CARVALHO, D. F.; VIEIRA, S. R.; FRANCO, E.M. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no estado do Rio de Janeiro. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 426-435, 2007.

MONTEIRO, A. Riscos climáticos: hazards, âleas, episódios extremos. *In: Climatologia urbana e regional: questões teóricas e estudos de casos*. 1 ed. São Paulo: Outras Expressões, 2013, p. 161.

MONTEIRO, Carlos Augusto. **“A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil”**. *In: Série Teses e Monografias*, n. 1. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, 1969.

MONTEIRO, J. B.; ZANELLA, M. E. A metodologia dos máximos de precipitação aplicada ao estudo de eventos extremos diários nos municípios de Crato, Fortaleza e Sobral-CE. **GeoTextos**, Salvador, v. 13, n. 2, p. 135-159, 2017.

MONTEIRO, Jander Barbosa. **Desastres naturais no estado do Ceará: uma análise de episódios pluviométricos extremos**. 2016. 257p. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

MOREIRA, J. G. do V.; NAGHETTINI, M. Detecção de tendências monotônicas temporais e relação com erros dos tipos I e II: estudo de caso em séries de precipitações diárias máximas anuais do estado do Acre. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 31, n. 4, p. 394-402, 2016.

MORO, D. A. Aspectos geográficos da modernização agrícola no norte do Paraná. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 13, n. 1, p. 79-93, 1995.

MORO, D. A. **Maringá espaço e Tempo**: Ensaio de Geografia Urbana. Maringá - PR: Programa de Pós-Graduação em Geografia - UEM, 2003. 238p.

MORO, D. A. O êxodo rural e o crescimento da cidade de Maringá no período de 1970 a 1980. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 6, n. 1, p. 19-31, 1988.

MURPHY, B. F.; TIMBAL, B. A review of recent climate variability and climate change in southeastern Australia. **International Journal of Climatology**, v. 28, p. 859-879, 2008.

NASCIMENTO JÚNIOR, L.; SANTA'ANNA NETO, J. L. Contribuição aos estudos da precipitação no Estado do Paraná: a oscilação decadal do pacífico – ODP. **Revista Ra'e Ga**, Curitiba, v. 35, p. 314 - 343, 2015.

NASCIMENTO JÚNIOR, Lindberg. **As chuvas no Paraná**: variabilidade, teleconexões, e impactos de eventos extremos. 162 f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2013.

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.; BALDO, M. C.; KLOSOWSKI, E. S. Aplicação do coeficiente de variação na precipitação pluviométrica no estado do Paraná. **UNIMAR**, Maringá, n. 19, p. 1125-1131, 1997.

NERY, J. T.; MARTINS, M. L. O. F.; ROSEGHINI, W. F. F. Variabilidade da precipitação pluvial e disponibilidade hídrica na região Noroeste do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 289-297, 2004.

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

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1989, 422 p.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas climático do Estado do Paraná**. Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR). Londrina, 2019, 216 p.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país. **Revista Parcerias Estratégicas**, Brasília, n. 12, p. 239-258, 2001.

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Cenários de mudança climática para a América do Sul para o final do século 21. **Revista Parcerias Estratégicas**, Brasília, n. 27, p. 19-42, 2008.

NÓBREGA, J. N.; SANTOS, C. A. C.; GOMES, O. M.; BERGSON G. BEZERRA, B. G.; BRITO, J. I. B. Eventos extremos de precipitação nas mesorregiões da Paraíba e suas relações com a tsm dos oceanos tropicais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 29, n. 2, 197-208, 2014.

NUNES, A. A.; PINTO, E. J. A.; BAPTISTA, M. B. Análise de tendência para eventos extremos de precipitação na região metropolitana de Belo Horizonte. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., **Anais...** Brasília, 2015, 1 CD-ROM.

OBREGÓN, G. O.; MARENGO, J. A. **Caracterização do clima no Século XX no Brasil**: tendências de chuvas e temperaturas médias e extremas. São Paulo, CPTEC/INPE, 2007.

OLIVEIRA, A. D.; COSTA J. M. N.; LEITE, R. A.; SOARES, P. C.; SOARES A. A. Probabilidade de chuvas e estimativas de épocas de semeadura para cultivares de arroz de sequeiro, em diferentes regiões do Estado de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 295-309, 2000.

OLIVEIRA, D.; BORROZZINO, E. Sazonalidade das tendências de temperatura do ar e precipitação pluvial no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agroclimatologia**, Passo Fundo, v. 26, n. 1, p. 139-144, 2018.

OLIVEIRA, D.; CARAMORI, P. H.; GRODZKI, L. **Mudanças globais do clima: IAPAR e SEAB em busca de soluções**. Instituto Agrônômico do Paraná-IAPAR, Documento 29, 2007, 22 p.

OLIVEIRA, P. T.; SANTOS E SILVA, C. M.; LIMA, K. C. Linear trend of occurrence and intensity of heavy rainfall events on Northeast Brazil. **Atmospheric Science Letters**, v. 15, p. 172-177, 2014.

OLIVEIRA, P. T.; SANTOS E SILVA, C. M.; LIMA, K. C. Trend of rain in Northeast Brazil, *In*: Martín, O. E.; Roberts, T. M. **Rainfall**: behavior, forecasting and distribution. New York, USA. Nova Science Publishers, 2012.

PADIS, P. C. **Formação de uma economia periférica**: o caso do Paraná. São Paulo: Hucitec, 1981.

PBMC, 2014: **Base científica das mudanças climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Ambrizzi, T., Araujo, M. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 464 p.

PEDRON, I. T.; MARIANI, K. L.; FARIAS, J. L. R.; ROSSETTO, A. Comportamento do clima de Palotina/PR de 1973 a 2010. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 12, p. 411-419, 2013.

PENEREIRO, J. C.; FERREIRA, D. H. L.; GARCIA, V. F. V. Caracterização estatística de tendências climáticas em séries anuais de temperatura média e precipitação para as capitais estaduais do Brasil. **Revista GEINTEC**, São Cristóvão, v. 3, n. 4, p. 01-15, 2012.

PEREIRA, H. R.; REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T. Características da atmosfera austral durante o El Niño de 2015/2016. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 293-310, 2017.

PEREIRA, L. M. P.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; SILVA, D. A. B.; CAVIGLIONE, J. H. Determinação do início e término da estação chuvosa no estado do Paraná. **Revista Geografar**, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 01-12, 2008.

PEREIRA, Emerson Ricardo Rodrigues. **Índices pluviométricos na análise da intensidade e variabilidade regional das chuvas no Nordeste do Brasil**. 2014. 102 p. Tese (Doutorado em Meteorologia)– Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

PINHEIRO, A.; GRACIANO, R. L. G.; SEVERO, D. L. Tendência das séries temporais de precipitação da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 281-290, 2013.

PINHEIRO, G. M.; MARTIN-VIDE, J. A. Análise das Tendências Pluviométricas no Município de Irati/PR. *In*: SIMPOSIÓ BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 17., **Anais eletrônicos...** Campinas: 2017. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/rdg/issue/view/9752>>. Acesso em: 26 jan. 2019.

PINHEIRO, Gabriela Marques. **Variabilidade tempo-espacial da pluviosidade na bacia do alto Iguaçu**. 2016. 274f. Tese (Doutorado)-Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; ZULLO, J. R.; BRUNINI, O.; EVAN-GELISTA, B. A. Impacto do Aumento da temperatura no zoneamento climático do café nos Estados de São Paulo e Goiás. Avaliação dos cenários do IPCC. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., **Anais...** Fortaleza, 2001, 1CD-ROM.

PLOSZAI, Robinson. **Análise de tendências no regime de chuvas em Curitiba usando cenários de modelos climáticos regionais**. 2014. 161 f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

- POGORZELSKI, Vanucia Schumacher. **Índices de monção de verão para o hemisfério sul simulados pelos modelos do CMIP**. 2015. 79 f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.
- PRIETO, R. B.; TEIXEIRA, M. S. Análisis sinóptico de un evento extremo y persistente de lluvia sobre el estado de Río Grande do Sul, em mayo de 2004. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 1110-1115, 2016.
- PUMO, D.; CARACCILO, D.; VIOLA, F.; NOTO, L. V. Climate change effects on the hydrological regime of small non-perennial river basins. **Science of the Total Environment**, v. 542, p. 76-92, 2016.
- QUADRO, M. F. L.; SILVA DIAS, M. A. F.; HERDIES, D. L.; GONCALVES, L. G. G. Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 287-294, 2012.
- QUEIROZ, Marise Aparecida. **Avaliação de tendências em séries de precipitação diária máxima anual na faixa central do estado de Minas Gerais**. 2013. 202 f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
- R Development Core Team., R: a language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**: Vienna, Austria, 2015. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 12 out. 2019.
- REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.
- REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. **Terra e Didática**, Campinas, v. 8, p. 34-50, 2012.
- REBOITA, M. S.; MARIETTO, D. M. G.; SOUZA, A.; BARBOSA, M. Caracterização atmosférica quando da ocorrência de eventos extremos de chuva na região sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 21, p. 20-37, 2017.
- REIS, E. A.; REIS, I. A. Análise Descritiva de Dados. **Relatório Técnico do Departamento de Estatística da UFMG**. Disponível em: <<http://www.est.ufmg.br/portal/arquivos/rts/rte0202.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2021.
- RIBEIRO, A. G. Caracterização termo-pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 5, n. 1, p. 90-135, 1987.

RICCE, W. S.; CARAMORI, P. H.; MORAIS, H.; SILVA, D. A. B.; ATAÍDE, L. T. Análise de tendências na temperatura e precipitação em Londrina, estado do Paraná. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA*, 15., **Anais...** Belo Horizonte, 2009, 1 CD-ROM.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 75 -92, 2002.

ROSISCA, J. R.; MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; CARBONIERI, J. Caracterização das chuvas intensas no estado do Paraná. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA*, 18., **Anais...** Belém, 2013, 1 CD-ROM.

SAKAMOTO, Meiry Sayuri. **Sistemas convectivos de mesoescala observados na região subtropical da América do Sul durante o SALLJEX**. 281 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SALGUEIRO, J. H. P. B.; PINTO, E. J. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Tendência de índices pluviométricos na bacia do rio Capibaribe-PE e sua influência na gestão dos recursos hídricos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 7, n. 5, p. 1002-1014, 2014.

SALTON, F. G.; MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; BORROZZINO, E. Climatologia dos Episódios de Precipitação em Três Localidades no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 31, n. 4, p. 626-638, 2016.

SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 31, n. 1, p. 64-73, 2016.

SANCHES, F. O.; MAY, G. C.; SILVA, R. V.; FERREIRA, R. V. Chuvas no norte gaúcho: um estudo sobre a tendência das chuvas e mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 18, p. 349-360, 2016.

SANCHES, F.; FISCH, G. As possíveis alterações microclimáticas devido a formação do lago artificial da hidrelétrica de Tucuruí -PA. **Acta Amazonica**, Petrópolis, v. 35, n. 1, p. 41-50, 2005.

SANSIGOLO, C. A.; KAYANO, M. T. Tendências nas Temperaturas Máximas e Mínimas e nas Precipitações Sazonais do Rio Grande do Sul (1913-2006). *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, 16., **Anais...** Belém, 2010, 1 CD-ROM.

SANSOM, J.; RENWICK, J. A. Climate Change Scenarios for New Zealand Rainfall. **American Meteorological Society**, v. 46, p. 573-590, 2006.

SANTOS, C. A. C.; MELO, M. M. M. S.; BRITO, J. I. B. Tendências de Índices de Extremos Climáticos para o Estado do Amazonas e suas Relações com a TSM dos Oceanos Tropicais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 31, n. 1, 1-10, 2016.

SANTOS, E. B.; LUCIO, P. S.; SILVA, C. M. S. Precipitation regionalization of the Brazilian Amazon. **Atmospheric science letters**, v. 16, p. 185-192, 2015.

SANTOS, V. O.; NAVES, J. G. P. Identificação e análise de tendências em séries históricas de precipitação no município de Uberaba, Minas Gerais. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, 12., **Anais...** Porto Alegre, 2017, 1 CD-ROM.

SAREWITZ, D; PIELKE, JR R. Extreme Events: A research and policy framework for disasters in context. **International Geology Review**. Disponível em: <<http://www.cspo.org/products/articles/xepaperfinal.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2018.

SCHAEFFER, R.; SKLO, A. S.; LUCENA, A. F.; SOUZA, R.; BORBA, B. R.; COSTA, I.; JUNIOR A.; CUNHA, S. H. (2008) **Mudanças Climáticas e Segurança Energética no Brasil**. Rio de Janeiro, COPPE-UFRJ, 2008, 65 p.

SCOFIELD, G. B.; ANGELIS, C. F.; SOUSA JUNIOR, W. C. Estudo das Tendências do Total de Precipitação e do Número de Dias Chuvosos no Litoral Norte de São Paulo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 19, n. 3, p. 19-31, 2014.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Bacias hidrográficas do Paraná**: série histórica. 1. ed. Curitiba: Governo do Estado do Paraná, 2013, 140 p.

SERRA, E. Os primeiros processos de ocupação da terra e a organização pioneira do espaço agrário no Paraná. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 10, n. 1, p. 61-94, 1992.

SERRA, E. Reflexões sobre a origem da crise agrária no norte do Paraná. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 19, n. 1, p. 45-58, 2001.

SEVERO, Dirceu Luís. **Padrões de circulação anômala associados a episódios úmidos e secos no sul do Brasil**. 2008. 224f. Tese (Doutorado)-Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de pesquisas Espaciais-INPE, São José dos Campos, 2008.

SILVA DIAS, M. A. F. Eventos climáticos extremos. **Revista USP**, São Paulo, n. 103, p. 33-40, 2014.

SILVA DIAS, M. A. F.; ROZANTE, J. R.; MACHADO, L. A. T. Complexos Convectivos de Mesoescala na América do Sul. *In*: CAVALCANTI, F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; SILVA DIAS, M. A. F. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. P. 185-194.

SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA, M. G. A. J. *In*: CAVALCANTI, F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; SILVA DIAS, M. A. F. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. P. 16-21.

SILVA, Ana Noele Brito. **Índices extremos climáticos e extremos da precipitação anual e sazonal na Amazônia Oriental**. 2010. 134f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

SILVA, C. B.; SANT'ANNA NETO, J. L.; TOMMASELLI, J. T. G.; PASSOS, M. M. Dinâmica atmosférica e análise geoestatística do clima da área de integração paisagística "Raia Divisória" sp/pr/ms: uma proposta de tipologia climática. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 2, p. 53-70, 2006.

SILVA, D. F.; PRELA-PANTANO, A.; SANT' ANNA NETO, J. L. Variabilidade da precipitação e produtividade agrícola na região do médio Paranapanema, SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 3, 2008.

SILVA, D. F.; SOUSA, F. A. S.; KAYANO, M. T. Escalas temporais da variabilidade pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Mundaú. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 147-155, 2010.

SILVA, E.S. **Variabilidade da precipitação pluviométrica nas regiões sudeste e sul do Brasil**. 2007. 211f. Tese (Doutorado)-Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 2007.

SILVA, G. M. F.; CARAMORI, P. H.; FARIA, R. T. Precipitações pluviais extremas em Londrina-PR. **Revista Geografar**, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 153-173, 2012.

SILVA, M. E. S.; GUETTER, A. K. Mudanças climáticas regionais observadas no estado do Paraná. **Revista Terra Livre**, São Paulo, v. 1, n. 20, p. 111-126, 2003.

SILVA, V. P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. *Journal of Arid Environments*, **Journal of Arid Environments**, v. 58, p. 575-596, 2004.

SILVA, W. L.; DEREZYNSKI, C.; CHANG, M.; FREITAS, M.; MACHADO, B. J.; TRISTÃO, L.; RUGGERI, J. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 30, n. 2, p. 181-194, 2015.

SILVEIRA, L. M. Os sistemas atmosféricos e a variação do tempo em Maringá, estado do Paraná. **Revista Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 79-84, 2006.

SILVEIRA, R. D.; SARTORI, M. G. B. Relação entre tipos de tempo, eventos de precipitação extrema e inundações no espaço urbano de Sepé-RS. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 7, p. 63-83, 2010.

SILVESTRE, M. R.; SANT'ANNA NETO, J. L.; FLORES, E. F. Critérios estatísticos para definir anos padrão: uma contribuição à climatologia geográfica. **Revista Formação**, Presidente Prudente, v. 2, n. 20, p. 23-53, 2013.

SISTEMA DE TECNOLOGIA E MONITORAMENTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Boletim climático para o outono 2020**. Disponível em: <<http://www.simepar.br/>>. Acesso em: 30 ago. 2020.

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**, São Paulo, v. 20, p. 93-109, 2010.

SOUZA, J. F.; SILVEIRA, H. Estimativa da deficiência e excedente hídrico anual e sazonal nas bacias hidrográficas do Paranapanema III, IV e Pirapó-PR. **Revista Geoiंगा**, Maringá, v. 8, n. 1, p. 3-22, 2016.

SOUZA, P.; MARTINS, M. L. O. F.; NERY, J. T. Variabilidade de precipitação na bacia hidrográfica do rio Pirapó. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., **Anais...** Foz do Iguaçu: 2002, 1 CD-ROM.

SOUZA, V. A. S.; NASCIMENTO, R. K.; FURTADO, R. S.; ROSA, A. L. D. Análise de eventos pluviométricos extremos no município de Ji-Paraná, RO. **Revista Pesquisa & Criação**, Ariquemes, v. 10, n. 2, p. 139-151, 2011.

STURGES, H. A. The choice of a class interval. **Journal of the American Statistical Association**, v. 26, p. 65-66, 1926.

TARIFA, J. R. Alterações climáticas resultantes da ocupação agrícola no Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 8, p. 15-27, 1994.

TEIXEIRA, M. S.; PRIETO, R. B. Eventos Extremos de Chuva no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, entre 2004 e 2013. Parte 2: Características Sinóticas dos Eventos Persistentes, **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 35, n. 1, 53-61, 2020.

TEIXEIRA, Mateus da Silva. **Atividade de ondas sinóticas relacionadas a episódios de chuvas intensas na região Sul do Brasil**. 94f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, São José dos Campos, 2004.

TEIXEIRA, Mateus Silva. **Caracterização física e dinâmica de episódios de chuvas intensas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil**. 219 f. Tese (Doutorado)-Programa de pós-Graduação em meteorologia, Instituto nacional de pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

TEIXEIRA-GANDRA, C. F. A.; FRAGA DAMÉ, R. C. F.; GUEDES, H. A. S.; SILVA, G. M.; SILVEIRA, S. C. R.; KLUMB, G.; VEBER, P.; BACELAR, L. C. S. Investigação da tendência na contagem dos dias secos e chuvosos na região da campanha/RS. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 21., **Anais...** Brasília, 2015, 1 CD-ROM.

TERASSI, P. M. B. **Análise da estrutura espaço-temporal pluviométrica e o emprego dos sistemas de classificação climática para a bacia hidrográfica do rio Pirapó - PR**. 95f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

TERASSI, P. M. B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; GIVANILDO DE 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**, São José dos Campos, v. 33, n. 1, 11-25, 2018.

TERASSI, P. M. B.; SILVEIRA, H. Aplicação de sistemas de classificação climática para a bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR. **Revista Formação**, Presidente Prudente, v. 1, n. 20, p. 111-12, 2013.

TERASSI, P. M. B.; SILVEIRA, H.; GRAÇA, C. H. Distribuição espaço-temporal pluviométrica e a erosividade das chuvas na bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR. **Revista Formação**, Presidente Prudente, v. 2, n. 21, p. 136-158, 2014.

TERASSI, P. M. B.; SILVEIRA, H.; GRAÇA, C. H. Intensidade pluviométrica diária e a erosividade na unidade hidrográfica Pirapó, Paranapanema III e IV, estado do Paraná. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 17, p. 84-102, 2016.

TERASSI, Paulo Miguel Bodas. **Variabilidade pluviométrica e os eventos pluviométricos extremos em bacias hidrográficas do leste do estado do Paraná**. 294 f. Tese (Doutorado)-Programa de Pós-Graduação em Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

TERASSI, Paulo Miguel de Bodas. **Variabilidade pluviométrica e a erosividade na unidade hidrográfica Pirapó, Paranapanema III e IV-PR**. 185f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, 2015.

THOMAZ, S. L. Sinopse sobre a geologia do Paraná. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 2, n. 2, p. 76-90, 1984.

TOMMASELLI, J. T. G.; BALDO, M. C.; SILVEIRA, H. Caracterização pluviométrica da mesorregião geográfica centro ocidental paranaense. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA*, 6., **Anais**. Aracaju, 2004, 1 CD-ROM.

TROPMAIR, H. Perfil Fitoecológico do Estado do Paraná. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 8, n. 1, p. 67-80, 1990.

VELASCO, I.; FRITSCH, J. M. Mesoscale convective complexes in the Americas. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 92, n. 8, p. 9591–9613, 1987.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

WALTRICK, P. C.; MACHADO, M. A. M.; DIECKOW, J.; OLIVEIRA, D. Estimativa da erosividade de chuvas no estado do Paraná pelo método da pluviometria: atualização com dados de 1986 a 2008. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, n. 39, p. 256-267, 2015.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. 3. ed. Oxford: Elsevier 2011.

XU, J.; CHEN, Y.; LU, F.; LI, W.; ZHANG, L.; HONGA, Y. The Nonlinear trend of run off and its response to climate change in the Aksu River, western China. **International Journal of Climatology**, v. 31, p. 687-695, 2011.

YEVJEVICH, V. **Probability and statistics in hydrology**. Fort Collins: Water Resources Publication, p. 276. 1972.

YUE, S.; PILON, P. A comparison of the power of the t test, Mann-Kendall and bootstrap tests for trend detection. **Journal des Sciences Hydrologiques**, v. 49, n. 1, 2004.

YUE, S.; PILON, P.; CAVADIAS, G. Power of the Mann-Kendall and Sperman's rho tests for detecting monotonic trends in hidrological series. **Journal of Hydrology**, v. 259, p. 254-271, 2002.

ZANDONADI, L.; ACQUAOTTA, F.; FRATIANNI, S.; ZAVATTINI, J. A. Tendências de alterações na precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Paraná, Brasil. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIROS DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 10., **Anais...** Curitiba, 2014, 1 CD-ROM.

ZANDONADI, Leandro. **As chuvas na bacia do Paraná**: aspectos temporais, espaciais e rítmicos. 136 f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

ZANDONADI, Leandro. **As chuvas na bacia hidrográfica do rio Paraná, Brasil**: um estudo do ritmo climático e algumas considerações sobre a vazão hídrica. 205 f. Tese (Doutorado)-Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2013.

ZANELLA, Maria Elisa. **Inundações urbanas em Curitiba-PR: impactos, riscos e vulnerabilidade socioambiental no Bairro Cajuru**. 2006, 272p. Tese (Doutorado)-Programa de Doutorado em Meio ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.