

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**Jakeline Baratto**

**VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO ALTO JACUÍ-RS**

**Santa Maria, RS  
2017**



**Jakeline Baratto**

**VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO ALTO JACUÍ-RS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Geografia**.

**Orientador: Prof. Dr. Cássio Arthur Wollmann**

**Santa Maria, RS  
2017**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Baratto, Jakeline  
VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO ALTO JACUÍ-RS / Jakeline Baratto.- 2017.  
176 p.; 30 cm

Orientador: Cássio Arthur Wollmann Wollmann  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de  
Pós-Graduação em Geografia e Geociências, RS, 2017

1. Geografia 2. Climatologia Geográfica 3.  
Precipitação pluviométrica 4. Bacia hidrográfica I.  
Wollmann, Cássio Arthur Wollmann II. Título.



**Jakeline Baratto**

**VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO ALTO JACUÍ- RS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de Concentração de Análise Ambiental e Dinâmica Espacial, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Geografia**.

**Aprovado em 27 de Janeiro de 2017:**

---

**Cássio Athur Wollmann, Dr. (UFSM)  
Presidente/Orientador**

---

**Emerson Galvani, Dr. (USP)**

---

**Eliane Maria Foletto Dra. (UFSM)**

Santa Maria, RS  
2017



# DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho as pessoas mais importantes da minha vida: meu pai Jorge, minha mãe Lisete, minha irmã Milena e também à minha avó Cecília.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço aqui todos que de alguma forma fizeram parte destes dois anos de Mestrado e principalmente aos que fizeram parte deste processo.

Primeiramente aos meus pais por todo o apoio recebido para que este momento chegasse e por entenderem os momentos que não pude estar presente;

À minha irmã, a avó, aos meus tios, tias e primos por sempre estarem dispostos a me ajudar nestes últimos anos, me apoiando, e incentivando;

À Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade de realizar meus estudos em uma instituição pública e de qualidade;

Ao PPGGeo por oportunizarem um ensino de pós-graduação gratuito e de qualidade, a CAPES pelo subsídio financeiro durante esta pesquisa;

Ao Programa Nacional de Cooperação Acadêmica da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES/Brasil pelo apoio financeiro (PROCAD);

Ao Departamento de Geociência, aos professores e funcionários por sempre estarem dispostos a ajudar.

A CEEE-GT por disponibilizar os dados pluviométricos, sem eles essa pesquisa não seria possível;

Aos Professores Eliane Foletto, Emerson Galvani e a Franciele Rovani, por aceitarem o convite de avaliar e contribuir com esta pesquisa;

Ao Professor Cássio Arthur Wollmann, pela orientação, pelos conhecimentos à mim transmitidos, pelos conselhos e por sempre estar disposto a ajudar;

Aos colegas de laboratório e principalmente aos amigos Ismael Hoppe e Denise pelas experiências trocadas e por sempre estarem dispostos a ajudar, principalmente nessa reta final;

Ao Daniel Junges Menezes, pela amizade, pelo apoio e pelo carinho que teve comigo em grande parte desse percurso;

As minhas amigas de Faxinal do Soturno, que mesmo distantes em alguns momentos, sempre estiveram comigo me apoiando e me incentivando;

Aos amigos que pude conviver diariamente nesses dois anos, saibam que foram muito importantes;

Aos colegas e amigos de Santa Maria, pelo apoio, pelas conversas, pelas trocas de experiências e pelo carinho. Em especial, a Bruna, Janaine, Fernanda, Silvio pelas conversas, desabafos e principalmente pelo apoio nesses últimos meses.



## RESUMO

### VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO JACUÍ- RS

AUTORA: JAKELINE BARATTO

ORIENTADOR: CÁSSIO ARTHUR WOLLMANN

A precipitação pluvial é um dos elementos climáticos que possui maior impacto no espaço geográfico, pois está relacionada com diversos setores da sociedade. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo geral analisar a variabilidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do Alto Jacuí-RS entre os anos de 1980 e 2010. A área de estudo está localizada na Região Hidrográfica do Guaíba, abrange uma área de 12.985,44 km<sup>2</sup>. Para a análise foram utilizados dados mensais e anuais de precipitação pluvial, disponibilizados pela Companhia Estadual de Energia Elétrica Geração e Transmissão (CEEE-GT), pela Agência Nacional das Águas (ANA) e também pela Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (Fepagro). Para a análise da variabilidade da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica serão utilizados os parâmetros estatísticos como média, desvio-padrão, coeficiente de variação. A classificação dos anos-padrões foi realizada de forma estatística, por meio do desvio-padrão da média da precipitação entre todos os anos. As espacializações dos dados pluviométricos foram realizadas por meio do painel espaço-temporal e por mapas de isoietas das precipitações médias totais de todos os postos pluviométricos em escala mensal, sazonal e anual bem como os dados referentes aos períodos sazonais e anuais dos anos-padrões. Como resultados pode-se observar que no mês de outubro a maior média histórica mensal e março o mês de menor média histórica para a bacia. Em relação à média histórica sazonal da bacia do Alto Jacuí, observa-se que a primavera tem a maior média sazonal. Na classificação dos anos-padrões foram selecionados os anos de 1991, 1992 e 2002, como anos representativos do menos chuvoso, habitual e mais chuvoso respectivamente. Ao analisar a distribuição da precipitação pluviométrica média total anual da bacia, pode-se perceber que na região sul concentram os menores valores. No setor norte e sudoeste os maiores valores de precipitação média anual. Assim, pode-se dizer que a distribuição das chuvas médias totais acompanha o deslocamento das Frentes Fria juntamente com o efeito da altitude que influenciam na distribuição das chuvas pois na região leste da bacia tem as maiores altitudes. Nos períodos sazonais também ocorreram grande variabilidade da distribuição das chuvas. Sendo primavera o período mais chuvoso para a bacia. Nos períodos sazonais a região central da bacia obteve as menores médias. Na primavera e no outono o setor norte alcançou as maiores médias de precipitação pluvial. Já no inverno a região leste e sudoeste obteve as maiores médias. Percebe-se que a localização geográfica da bacia, contém uma grande variação hipsométrica de aproximadamente 690 metros ao longo da sua extensão implicando em uma grande variação na distribuição espacial das chuvas em função da orografia na bacia hidrográfica do Alto Jacuí. Dessa forma, é compreensível considerar que o efeito orográfico tem uma grande influência na questão climática e que é um fator importantíssimo na variação pluviométrica.

Palavras-chaves: Precipitação pluviométrica, variação pluviométrica, frentes frias, altitude e bacia hidrográfica.





## **ABSTRACT**

### **VARIABILITY OF RAIN PRECIPITATION AT THE WATER SHEDAD OF THE ALTO JACUÍ- RS**

**AUTHOR: JAKELINE BARATTO**

**ADVISOR: CÁSSIO ARTHUR WOLLMANN**

The rain precipitation is one of the climate elements with wider impact on the geographical space, because it is related with several sectors of the society. Therefore, the general purpose of this work is to analyse the spatio-temporal variability of the rain precipitation of the water shedad of the Alto Jacuí river – RS between the years 1980 and 2010. The study area is located at the Hydrographical Region of Guaíba, covers an area of 12,985.44 km<sup>2</sup>. Monthly and yearly data were used for the analysis, available from Companhia Estadual de Energia Elétrica Geração e Transmissão (CEEE-GT), Agência Nacional das Águas (ANA) and Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (Fepagro). Statistical parameters as average, standard deviation and coefficient of variation will be used in order to analyse the variability of rain precipitation at the water shedad. The standard years were statistically classified through the standard deviation of the average rain precipitation between all years. The spatialization of the rainfall data was done through spatio-temporal panel and isohyetal maps of the total average precipitations of all rainfall points on monthly, seasonal and yearly scale, as well as the data related to the seasonal and annual periods of the standard years. As a result, it can be observed that October has the highest historical monthly average and March the lowest historical average for the basin. Related to the historical seasonal average of the Alto Jacuí basin, it is observed that the spring has the highest seasonal average. On the standard year classification, the years 1991, 1992 and 2002 were selected as the less rainy, habitual and rainier, respectively. When analysing the total yearly average rain precipitation distribution in the basin, it can be perceived that the lower rates are concentrated on the south portion. The north and southwest present the highest rates of yearly average. Thus, it can be inferred that the distribution of the total average rainfall follows the cold fronts shift along with the altitude effect which influence the rainfall distribution because the east portion of the basin presents the higher altitudes. During the seasonal period also occurred vast variability of rainfall distribution, being spring the rainier period of the basin. The central portion of the basin presented the lower averages during seasonal periods. During spring and autumn the north portion achieved the higher rainfall averages. In contrast, during the winter the east and southwest portion presented the higher averages. It can be perceived that the geographical localization of the basin presents a vast hypsometric variation of approximately 690 meters throughout its extension, resulting on a considerable variation of the rainfall distribution due to the orography of the water shedad of the upper Jacuí. Hence, it is understandable to consider that the orographic effect has a considerable influence on the climate issue and is an important factor on the rainfall variation.

**Keywords:** Rain, rainfall variation, cold fronts, altitude, water shedad.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa a localização da bacia hidrográfica do Alto Jacuí em relação as regiões hidrográficas .....	19
Figura 2 - Unidades geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul.....	21
Figura 3 - Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do Alto Jacuí .....	22
Figura 4 - Deslocamento dos Sistemas Frontais no período do verão e de inverno.....	26
Figura 5- Deslocamento dos Frentes Polares e as Instabilidades Tropicais sobre o RS .....	27
Figura 6- Mapa da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Alto Jacuí.....	28
Figura 7- Nascente do rio Jacuí localizada entre os municípios de Passo Fundo e Marau. ....	29
Figura 8 - Biomas brasileiros localizados na bacia hidrográfica do Alto Jacuí. ....	30
Figura 9- Remanescentes de vegetação nativa localizada na área de estudo. ....	31
Figura 10 – Diferentes usos da terra da bacia hidrográfica do Alto Jacuí.....	32
Figura 11 - Municípios inseridos na bacia hidrográfica do Alto Jacuí.....	34
Figura 12 - Relação da população urbana e rural dos municípios pertencentes à bacia hidrográfica do Alto Jacuí .....	35
Figura 13 - Aproveitamento hidrelétrico do Rio Jacuí de responsabilidade da CEEE-GT.....	39
Figura 14 - Unidade de planejamento estabelecidas na bacia hidrográfica do Alto Jacuí .....	42
Figura 15 - Organização hierárquica das escalas climatológicas .....	49
Figura 16 - Circulação atmosférica na América do Sul.....	55
Figura 17 - Atuação dos sistemas atmosféricos no Rio Grande do Sul.....	60
Figura 18- Regiões climáticas do Rio Grande do Sul .....	62
Figura 19 - Classificação climática proposta por Moreno (1961).....	63
Figura 20 - Classificação climática do Rio Grande do Sul proposta por Rossato (2011). ....	65
Figura 21 -Distribuição dos postos pluviométricos utilizados para a pesquisa.....	73
Figura 22 - Área de abrangência de cada posto pluviométrico .....	74
Figura 23 – Gráficos representativos da aplicação da técnica de dupla massa dos postos pluviométricos .....	75
Figura 24 - Variação do desvio-padrão na bacia hidrográfica do Alto Jacuí .....	85
Figura 25 - Precipitação pluviométrica média mensal para a bacia hidrográfica do Alto Jacuí .....	86
Figura 26 – Série história Sazonal para a bacia hidrográfica do Alto Jacuí.....	87
Figura 27 – Média histórica total anual em cada posto pluviométrico.....	88
Figura 28- Distribuição espacial da precipitação pluviométrica média total .....	89
Figura 29- Distribuição das médias anuais da precipitação na Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí/RS.....	92
Figura 30 - Gráfico com os dados pluviométricos do ano-padrão menos chuvoso da Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí .....	93
Figura 31 - Gráfico com os dados pluviométricos do ano-padrão habitual da Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí .....	94
Figura 32- Gráfico com os dados pluviométricos do ano mais chuvoso (2002) da bacia hidrográfica do Alto Jacuí .....	95

Figura 33 - Paineis espaço-temporal da precipitação pluviométrica total anual .....	97
Figura 34 - Distribuição da precipitação pluviométrica no período do verão .....	101
Figura 35- Distribuição da precipitação pluviométrica no período do outono .....	105
Figura 36- Distribuição da precipitação pluviométrica no período do inverno .....	109
Figura 37- Distribuição da precipitação pluviométrica no período da primavera .....	113
Figura 38- Distribuição da precipitação pluviométrica da primeira década de análise .....	119
Figura 39 – Distribuição da precipitação pluviométrica da segunda década de análise .....	123
Figura 40- Distribuição da precipitação pluviométrica da terceira década de análise.....	129
Figura 41- Distribuição da precipitação pluviométrica do ano-padrão menos chuvoso.....	135
Figura 42 - Distribuição da precipitação pluviométrica do ano-padrão habitual.....	139
Figura 43 - Distribuição da precipitação pluviométrica do ano-padrão mais chuvoso.....	143

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Porcentagem dos diferentes usos da terra da bacia do Alto Jacuí.....	32
Quadro 2 - Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o “Clima Urbano” com destaque para categoria em estudo .....	51
Quadro 3- Postos Pluviométrico selecionados para a análise dos dados.....	72
Quadro 4- classificação dos anos-padrões da bacia do Alto Jacuí .....	78



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Normais Climatológicas de 1961-1990 disponibilizada pela INMET .....	23
Tabela 2 - Relação dos produtos cultivados na bacia hidrográfica do Alto Jacuí.....	37
Tabela 3- Exemplificação dos valores da estatística aplicada nos dados de precipitação total por posto pluviométrico.....	83
Tabela 3- Exemplificação dos valores da estatística aplicada nos dados de precipitação total por posto pluviométrico.....	84





## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	–	AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS
ANNEL	–	AGÊNCIA NACIONAL
APA	–	ANTICICLONE POLAR ATLÂNTICO
ATA	–	ANTICICLONE TROPICAL ATLÂNTICO
Cfa	–	CLIMA SUBTROPICAL ÚMIDO
CB	–	CUMULONIMBUS
CEEE-GT	–	COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA-GERAÇÃO E TRANSMISSÃO
CEMET	–	CENTRO ESTADUAL DE METEOROLOGIA
COAJU	–	COMITÊ DE GERENCIAMENTO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO JACUÍ
CPRM	–	COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS
CV	–	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO
FEPAGRO	–	FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
FEPAM	–	FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL
FF	–	FRENTE FRIA
FPA	–	FRENTE POLAR ATLÂNTICA
I	–	INVERNO
INMET	–	INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
IT	–	INSTABILIDADE TROPICAL
MPA	–	MASSA POLAR ATLÂNTICA
MTA	–	MASSA TROPICAL ATLÂNTICA
MTAC	–	MASSA TROPICAL ATLÂNTICA CONTINENTAL
MPV	–	MASSA POLAR VELHA
MTC	–	MASSA TROPICAL CONTINENTAL
NE	–	NORDESTE
NO	–	NOROESTE
N	–	NORTE
O	–	OUTONO
OMM	–	ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL
P	–	PRIMAVERA

PIB	–	PRODUTO INTERNO BRUTO
PCH	–	PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA
PROCAD	–	PROGRAMA NACIONAL DE COOPERAÇÃO ACADÊMICA
RS	–	RIO GRANDE DO SUL
SEPLAG	–	SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO E GESTÃO
SE	–	SUDESTE
SEMA	–	SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE
SRTM	–	SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION
UFSM	–	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
USP	–	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
UFG	–	UNIVERSIDADE DE GOIÁS
UHE	–	USINAS HIDRELÉTRICAS
W	–	OESTE
V	–	VERÃO

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Problemática .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa .....</b>	<b>16</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>17</b>
1.3.1	Objetivo geral.....	17
1.3.2	Objetivos específicos.....	17
<b>2.</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Localização geográfica da bacia hidrográfica do Alto Jacuí.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>Caracterização física da bacia hidrográfica do Alto Jacuí.....</b>	<b>20</b>
<b>2.3</b>	<b>Caracterização socioeconômica da bacia hidrográfica do Alto Jacuí .....</b>	<b>33</b>
<b>2.4</b>	<b>Usinas hidrelétricas e pequenas centrais da bacia hidrográfica do Alto Jacuí ..</b>	<b>38</b>
<b>2.5</b>	<b>Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí (COAJU) .....</b>	<b>40</b>
<b>3.</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TÉORICA .....</b>	<b>45</b>
<b>3.1</b>	<b>Precipitação Pluviométrica.....</b>	<b>45</b>
<b>3.2</b>	<b>Escalas do Clima.....</b>	<b>47</b>
<b>3.3</b>	<b>Circulação secundária da atmosfera sobre o Rio Grande do Sul .....</b>	<b>53</b>
<b>3.4</b>	<b>Classificações climáticas no Rio Grande do Sul para a bacia hidrográfica do Alto Jacuí.....</b>	<b>61</b>
<b>3.5</b>	<b>Análises pluviométricas em bacias hidrográficas estudos de caso.....</b>	<b>66</b>
<b>4.</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>71</b>
<b>4.1</b>	<b>A escolha e organização dos postos pluviométricos e consistência do banco de dados</b>	<b>71</b>
<b>4.2</b>	<b>Média da série histórica da precipitação pluviométrica .....</b>	<b>77</b>
<b>4.3</b>	<b>Classificação dos Anos-Padrões .....</b>	<b>78</b>
<b>4.4</b>	<b>Painel espacial- temporal.....</b>	<b>79</b>
<b>4.5</b>	<b>Espacialização dos dados pluviométricos.....</b>	<b>79</b>
<b>4.6</b>	<b>Realização de trabalhos de campo .....</b>	<b>81</b>
<b>5.</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>83</b>
<b>5.1</b>	<b>Análise estatística .....</b>	<b>83</b>
<b>5.2</b>	<b>Análise da série histórica dos dados pluviométricos .....</b>	<b>85</b>
5.2.1	Análise da média mensal por década .....	90
<b>5.3</b>	<b>Classificação dos Anos-padrões .....</b>	<b>92</b>
<b>5.4</b>	<b>Painel espaço-temporal da precipitação pluviométrica .....</b>	<b>96</b>
<b>5.5</b>	<b>Espacialização da Precipitação pluviométrica.....</b>	<b>99</b>
5.5.1	Análise mensal e sazonal dos dados pluviométricos.....	99
5.5.2	Análise anual dos dados pluviométricos .....	115
5.5.3	Análise dos anos-padrões (sazonal e anual) .....	132
<b>6.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO.....</b>	<b>147</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>149</b>
	<b>ANEXO A.....</b>	<b>155</b>
	<b>ANEXO B.....</b>	<b>158</b>
	<b>ANEXO C.....</b>	<b>161</b>



## 1. INTRODUÇÃO

A variabilidade climática afeta de forma direta e indireta a vida econômica e social da população, especialmente na geração de energia, atividades agrícolas, indústria, turismo, entre outros. Um dos fenômenos físicos decorrentes dessa variabilidade climática é a precipitação pluvial, que se constitui em um importante fator no controle do ciclo hidrológico, que pode ser considerada uma das variáveis atmosféricas de maior influência na qualidade do meio ambiente. Dessa forma, as quantidades relativas de precipitação pluvial, ou seja, seu volume, seja sazonal ou diário, e as intensidades são algumas das suas características que afetam a população, a economia e o meio ambiente (BRITTO et al., 2006).

A precipitação pluvial é um dos elementos climáticos que possui maior impacto no espaço geográfico, pois está relacionada com diversos setores da sociedade como a agricultura, recarga dos aquíferos, abastecimento humano e criação de animais. Contudo, para Galvani e Lima (2012), além da distribuição regional da precipitação pluviométrica, deve-se ser considerada a distribuição temporal, pois o planejamento de atividades agrícolas e econômicas de determinada região pode depender em função da distribuição sazonal das chuvas.

Nesse sentido, a chuva torna-se um elemento importante na compreensão do clima em escala regional e que pode ser considerado como um dos principais elementos na análise e organização para o planejamento territorial e ambiental. Segundo Rossato (2011), conhecer a caracterização da variabilidade anual das chuvas se torna importante pois fornece um panorama geral da distribuição da precipitação, destacando anos que se apresentam muito chuvosos ou muitos secos no conjunto de estações meteorológicas.

O conhecimento da distribuição espacial pluviométrica constitui-se fator preponderante na tomada de medidas de governança referentes à relação disponibilidade - demanda de recursos hídricos, principalmente no que tange às esferas locais ou regionais (ZANDONADI; PASCOALINO, 2012).

Nesse contexto, a bacia hidrográfica do Alto Jacuí ganha destaque na análise da precipitação pluviométrica, pois conhecer a dinâmica da precipitação é de suma importância para o setor agropecuário e hidroenergético presente na área de estudo. Assim, o objetivo deste trabalho é analisar a variabilidade espacial e temporal da precipitação pluviométrica, procurando compreender sua distribuição em escalas mensais, sazonais e anual. Para analisar sua variabilidade, será utilizada a estatística clássica, atrelada à espacialização dos dados pluviométricos. Por meio dos elementos estudados, será possível estabelecer áreas onde o

volume pluviométrico é maior ou menor, buscando conhecer os elementos que influenciam a variabilidade da precipitação e também contribuir para um planejamento mais adequado dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Alto Jacuí.

### **1.1 Problemática**

Neste ponto, procurou-se conhecer/responder como se estabelece a variabilidade espaço-temporal intra e inter anual da precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do Alto Jacuí.

### **1.2 Justificativa**

A análise da distribuição da precipitação pluviométrica em uma bacia hidrográfica possibilita compreender a dinâmica hidroclimática da mesma, auxiliando na identificação dos períodos mais chuvosos, e suas relações com o espaço geográfico. Assim, conhecer a série histórica dos dados pluviométricos da Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí ganha uma importância ainda maior, pois nessa região se encontram os maiores reservatórios artificiais de hidrelétricas do Rio Grande do Sul, abrangendo 04 Usinas Hidrelétricas – UHE e 04 Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH. Com isso, a bacia hidrográfica ganha destaque pelo aproveitamento dos recursos hídricos para o setor hidroelétrico do estado.

Portanto, conhecer essa dinâmica pluvial é de suma importância para a solução de problemas referentes aos períodos chuvosos e menos chuvosos, bem como, evitar os problemas referentes aos eventos extremos de precipitação, que resultam na entrada de sedimentos nos reservatórios, diminuindo sua vida útil.

Além disso, a bacia hidrográfica está diretamente ligada à dinâmica do setor agropecuário, fazendo com que os eventos adversos de precipitação afetem a economia da região, trazendo na maioria das vezes prejuízos. Dessa forma, conhecer a dinâmica da precipitação auxilia no gerenciamento de bacias hidrográficas e seu recurso hídrico, fornecendo ao ordenamento do território meios para melhor avaliar os impactos das atividades humanas empregadas. Assim, conhecer a o regime pluviométrica mensal e sazonal vem a auxiliar nesse setor tão marcante na bacia em estudo.

A bacia hidrográfica do Alto Jacuí foi selecionada como área de estudo do projeto Programa Nacional de Cooperação Acadêmica (PROCAD), cujo um dos objetivos é estabelecer

metodologias a partir de técnicas de climatologia para análise em bacias hidrográficas, buscando avaliar as modificações ocorridas no meio ambiente a partir dos processos antrópicos de uso e ocupação. O projeto compreende três universidades, sendo elas a Universidade de São Paulo (USP), Universidade Federal de Goiás (UFG) e Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), onde cada uma abrange uma bacia hidrográfica de interesse. Nas três universidades a área de atuação deste projeto está ligada à geografia. Destarte, esta pesquisa é um dos requisitos do referido projeto, analisando a variabilidade das chuvas na bacia hidrográfica do Alto Jacuí na escala temporal e espacial.

### **1.3 Objetivos**

#### 1.3.1 Objetivo geral

Analisar a variabilidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do Alto Jacuí-RS entre os anos de 1980 e 2010.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Coletar e analisar estatisticamente a precipitação pluviométrica total nos períodos anuais, sazonais e mensais dos postos pluviométricos localizados na bacia hidrográfica do Alto Jacuí e seu entorno, entre os anos de 1980 a 2010;
- Analisar a série histórica da precipitação pluviométrica mensal, sazonal, anual e em décadas para a bacia hidrológica do Alto Jacuí/RS;
- Espacializar a precipitação total anual por meio do painel espaço-temporal;
- Classificar e analisar os anos-padrões para a bacia hidrográfica do Alto Jacuí;
- Espacializar a pluviometria média total mensal, sazonal e anual, e também os valores dos anos-padrão para cada posto pluviométrico.



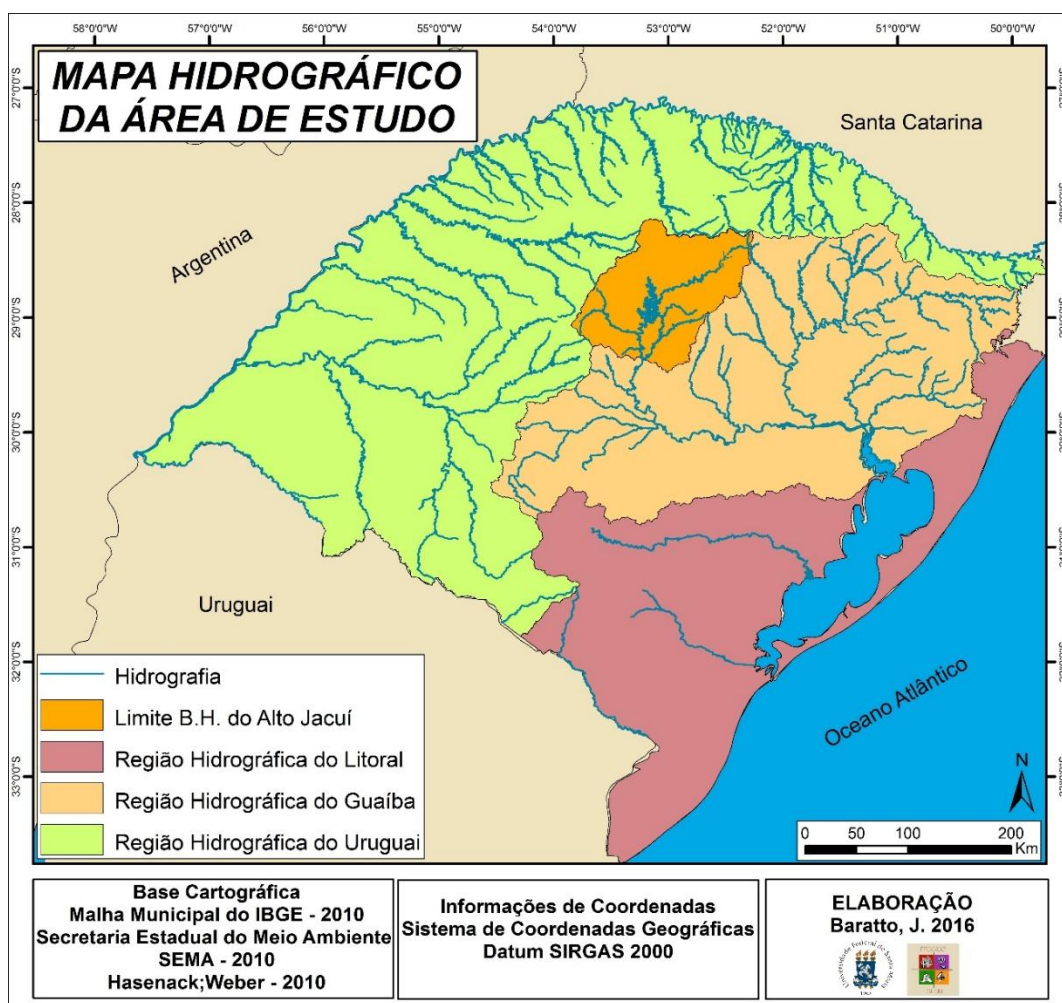


## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 2.1 Localização geográfica da bacia hidrográfica do Alto Jacuí

A bacia hidrográfica do Alto Jacuí, localizada na Região Hidrográfica do Guaíba, abrange uma área de 12.985,44 km<sup>2</sup>. Limita-se ao norte e a oeste com os divisores de água da bacia do Uruguai; ao sul com o divisor do Rio Jacuí (Bacia do Baixo Jacuí); e a leste com os divisores de água da Bacia do Taquari-Antas, estando entre as coordenadas geográficas 28°08' a 29°55' de latitude sul e 52°15' a 53°50' de longitude oeste (SEMA, 2010). Na Figura 1, é possível observar a localização da bacia hidrográfica.

Figura 1 - Mapa a localização da bacia hidrográfica do Alto Jacuí em relação as regiões hidrográficas

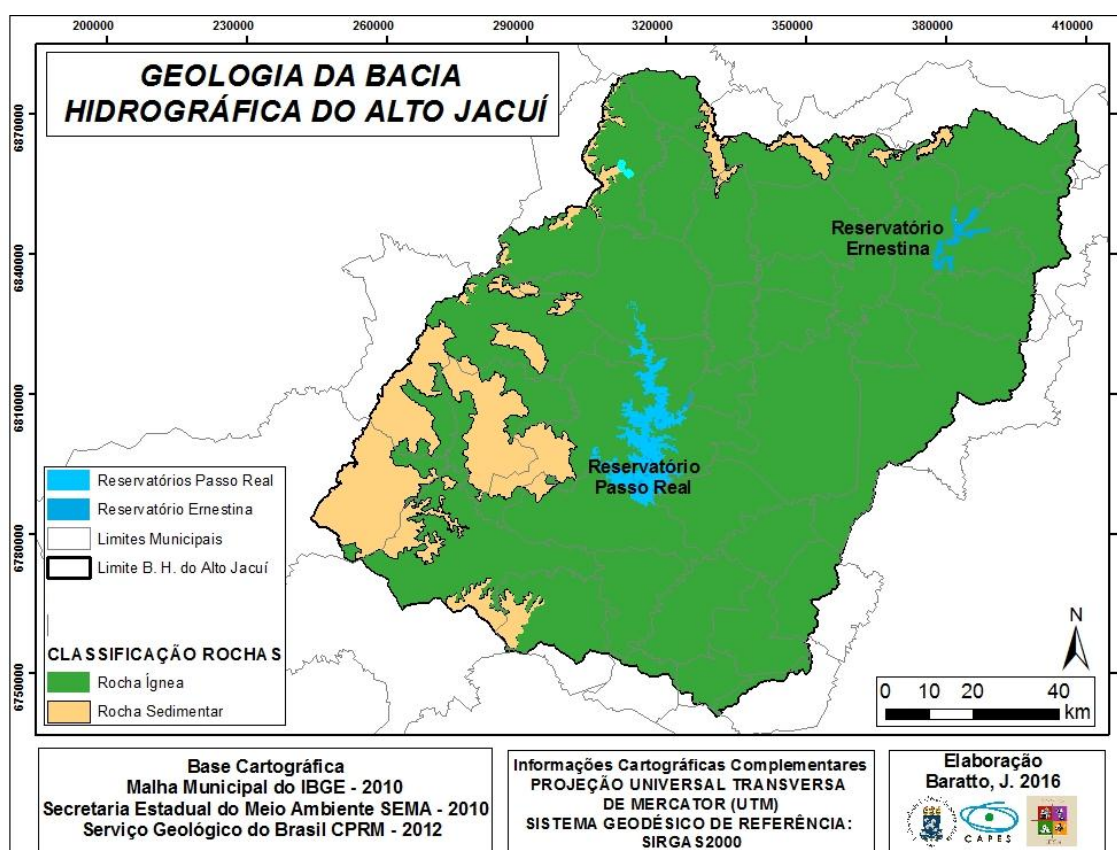


Fonte: Autora.

## 2.2 Caracterização física da bacia hidrográfica do Alto Jacuí

A bacia do Alto Jacuí apresenta substrato formado por rochas ígneas e rochas sedimentares (Figura 2), segundo a classificação da CPRM (2012). As rochas ígneas resultam da solidificação da fusão do magma, apresentando na sua composição a sílica. As rochas sedimentares resultam do intemperismo da rocha geradora, após o sedimento original passar pelo processo de compactação e cimentação, o mesmo se converte num agregado mais coerente denominada rocha (ERNST, 1996).

Figura 2 - Geologia da bacia hidrográfica do Alto Jacuí



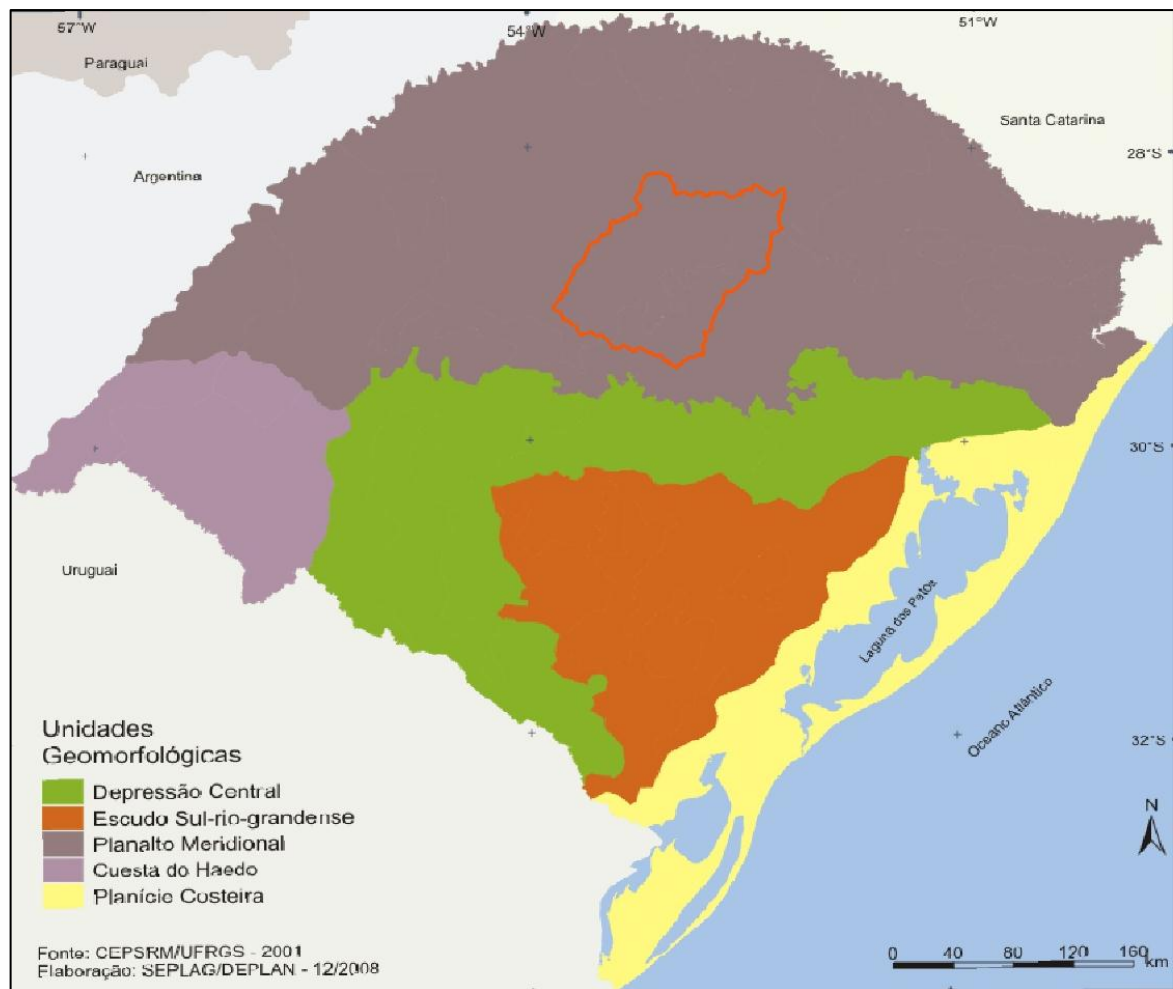
Fonte: Serviço Geológico do Brasil/CPRM (2012).

Conforme a Figura 2, na bacia hidrográfica do Alto Jacuí, as rochas ígneas abrangem a maior área da mesma. As rochas predominantes na bacia do Alto Jacuí pertencem à Formação Serra Geral, que ocorrem em diversas fácies, sendo elas, fácies Gramado com rochas dos tipos Basalto e Latito, fácies Paranapanema com rochas do tipo andesito e basalto e a fácies Caxias com rochas do tipo riodacito e quartzo latito. Já as rochas sedimentares, estão presentes na bacia

em pequenas áreas, sendo mais expressiva na região oeste da bacia e em pequenas áreas ao norte. As rochas sedimentares presentes na bacia são do tipo clásticas e pertence à Formação Tupanciretã (CPRM, 2012).

O Rio Grande do Sul possui cinco Unidades geomorfológicas, sendo elas, Depressão Periférica, Escudo Sul-rio-grandense, Cuesta do Haedo, Planalto Meridional e Planície Litorânea (SEPLAG, 2008). Na Figura 3, é possível observar a localização da bacia hidrográfica do Alto Jacuí em relação às unidades Geomorfológicas do Estado.

Figura 2 - Unidades geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul



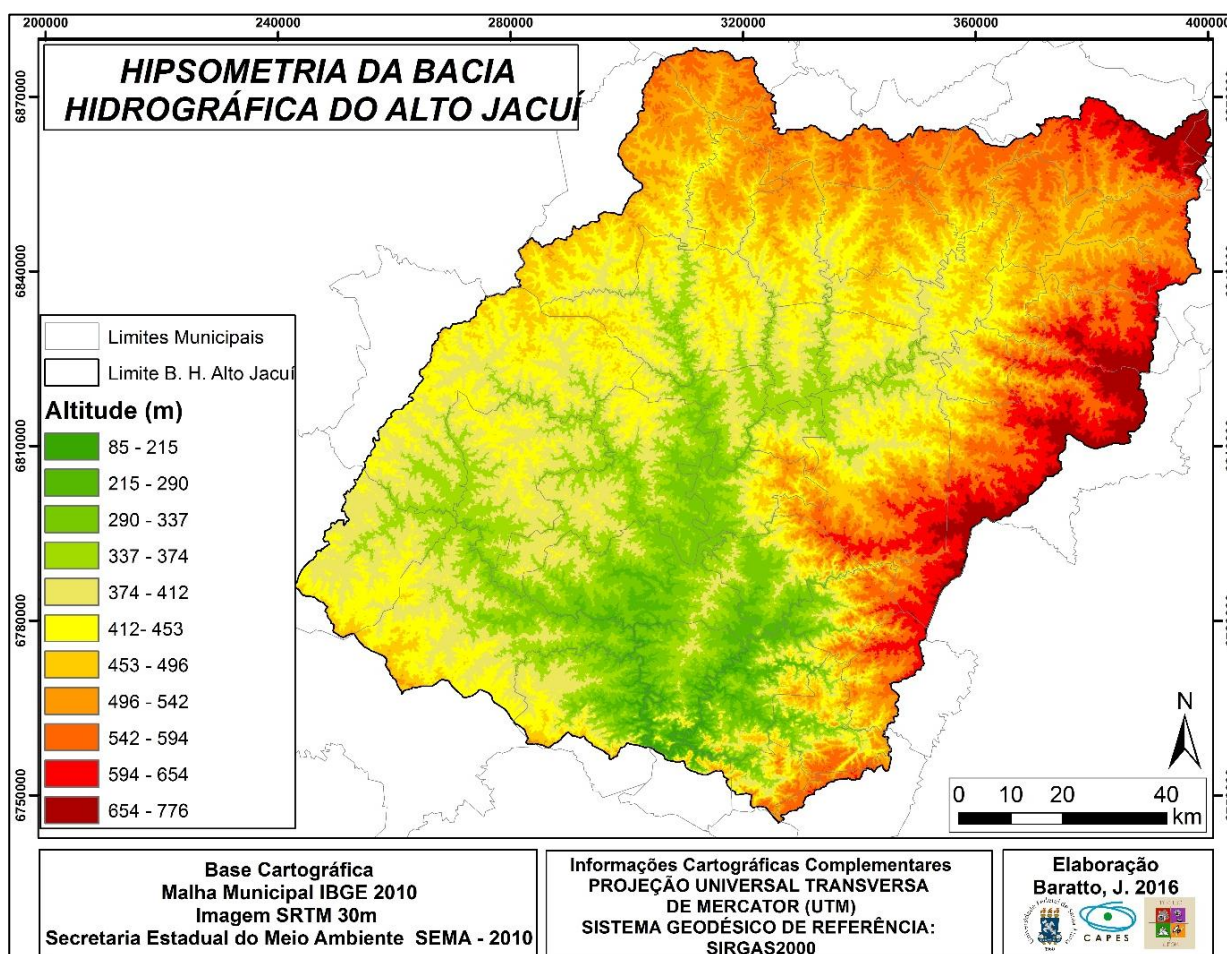
Fonte: Secretaria do Planejamento e desenvolvimento Regional / SEPLG (2008).

Os limites da bacia hidrográfica do Alto Jacuí encontram-se totalmente inseridos no Planalto Meridional (SEPLAG, 2008), que por sua vez, é formado por rochas basálticas e

arenitos intercalados decorrentes de um grande derrame de lavas ocorrido na era Mesosóica (CPRM, 2012).

A bacia hidrográfica do Alto Jacuí possui grande variação altimétrica, correspondendo de 85 m a 776 m acima do nível do mar. Para a geração do mapa hipsométrico (Figura 4) foi utilizado o método classificador natural Jenks, o qual suscitou onze classes.

Figura 3 - Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do Alto Jacuí



Fonte: Autora.

As menores altitudes se localizam próximas aos leitos dos principais cursos d'água localizados na bacia do Alto Jacuí, sendo eles, rio Jacuí na sua região sul, rio Jacuí-mirim, nas proximidades do reservatório Passo Real, rio Ingaí, rio Ivaí, e também no rio dos Caixões. Assim, as áreas com as menores altitudes localizam-se no setor centro-sul da bacia e as maiores altitudes se localizam na região leste e sudeste da bacia hidrográfica, cuja altimetria varia de 654 m a 776 m.



Conforme Baratto et al., (2016) na bacia hidrográfica do Alto Jacuí, estão inseridas duas estações meteorológicas controladas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), sendo uma no município de Cruz Alta, entre as coordenadas 28° 38' S de latitude e 53°38' O de longitude, a outra localizada no município de Passo Fundo, entre as coordenadas 28°14'S de latitude e 52°26' de longitude. A primeira estação está a uma altitude de 472 m, já a segunda localizada em uma altitude de 684 m. As normais climatológicas de 1961 a 1990 disponíveis nessas estações estão representadas na Tabela 1.

Tabela 1– Normais Climatológicas de 1961-1990 disponibilizada pela INMET

<b>Elementos Climáticos</b>	<b>Estações Meteorológicas</b>	
	<b>Passo Fundo</b>	<b>Cruz Alta</b>
<b>Temp. méd. Compensada (°C)</b>	17,7	18,5
<b>Temp. máxima (°C)</b>	23,6	24,5
<b>Temp. mínima (°C)</b>	13,2	13,6
<b>Precipitação Anual (°C)</b>	1803,1	1630,7
<b>Umidade Relativa (%)</b>	72,3	72,3
<b>Vento Direção/ intensidade (m/s)</b>	SE – 2,45	NE – 3,24
<b>Nebulosidade (décimos)</b>	0,5	0,6

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia/INMET (2016).

Nas normais climatológicas das duas estações meteorológicas em Cruz Alta podem ser observadas temperaturas mais elevadas, com médias anuais máxima de 38,0°C e mínima de -3,0°C, quando comparadas com as temperaturas médias anuais de Passo Fundo que são respectivamente de 35,6°C máxima e -2,9°C de mínima. Em relação à direção dos ventos e sua intensidade, pode se perceber que na estação localizada em Passo Fundo predominam ventos de sudeste (SE) com intensidade de 2,45 m/s. Enquanto que a estação em Cruz Alta possui ventos predominantes de nordeste (NE) com intensidade de 3,24 m/s.

A umidade relativa do ar e a nebulosidade, para ambas as cidades não apresentam grandes diferenças, sendo que para Passo Fundo são de 72,3 % e 0,5 décimos, respectivamente. Enquanto que em Cruz Alta a umidade relativa do ar é de 71,3 % e a nebulosidade de 0,6 décimos. A precipitação anual para a Cruz Alta é de 1630,70 mm, diferente de Passo Fundo

que possui uma precipitação de 1803,1mm, em função da diferença altimétrica de 200 metros entre elas.

Conforme o atlas climático do Rio Grande do Sul, a variação da temperatura média sazonal para o outono na área de estudo varia de 18° a 19°C, na primavera a temperatura média é 19°C. No verão a temperatura média varia entre 23° e 24°C, já para o inverno a temperatura média varia entre 14° e 15°C. A média da temperatura máxima anual, para a área de estudo, varia entre 24° e 25°C. A média da temperatura mínima anual varia entre 13° e 14°C (FEPAGRO/CEMET, 2011).

Para Rossato (2011), a média total da precipitação pluviométrica na área onde está localizada a bacia hidrográfica varia entre 1600 mm a 1800 mm, sendo que na parte sul da bacia ocorrem as menores médias de precipitação e na parte norte as maiores médias.

Outro fenômeno que afeta a variabilidade das chuvas no estado são La Niña e El Niño. Dessa forma, o fenômeno El Niño é considerado um fenômeno de grande escala, e que ocorre no Oceano Pacífico Equatorial. O El Niño é o aquecimento das águas simultaneamente com a diminuição da pressão atmosférica no Pacífico Leste, El Niño também é chamado de fase quente ou negativa (IOS negativo). O fenômeno La Niña é o resfriamento das águas e o aumento da pressão atmosférica na região Leste do Pacífico, também é chamado de Fase Fria ou IOS positivo (BERLATO; FONTANA, 2003).

Ainda os autores colocam que durante o período de El Niño a precipitação pluvial fica acima da média para quase todos os meses do ano, mas os períodos da primavera e o do início do verão merecem destaque, principalmente nos meses de outubro e novembro. Na ocorrência da La Niña a precipitação pluvial tende a ficar abaixo da média na maioria dos meses, principalmente na primavera nos meses de outubro e novembro.

Conforme Sartori (2003), os ventos predominantes na área de estudo são à sudeste (SE) com média de 2 a 4 m/seg. Os ventos mais fortes são quentes de norte (N) e noroeste (NW) com velocidade média entre 3 a 8 m/seg. Ainda segundo a mesma autora, quando se trata da relação de participação dos sistemas atmosféricos no Rio Grande do Sul, a bacia hidrográfica por estar em uma zona de transição, tem a atuação tanto dos Sistemas Atmosféricos Extratropicais (massas e frentes polares) e de Intertropicais (massas tropicais e Correntes Perturbadas). Dessa forma, as estações do ano possuem a participação diferenciada dos sistemas atmosféricos, embora os Sistemas Extratropicais controlem a circulação secundária regional em qualquer estação do ano.

Quando adotamos as estações do ano, na primavera (22 de setembro a 21 de dezembro), a Massa Polar Velha (MPV) aumenta sua participação em todo o Rio Grande do Sul. Assim, a MPV domina na maior parte das vezes, de um a seis dias, após a atuação da Massa Polar Atlântica (MPA), que perdura de um a quatro dias, ou após a passagem da Frente Fria (FF). A FF controla o tempo em 45% dos dias na primavera, de um total de 90 dias. Já a MPV reduz sua participação para 30 % e a Frente Polar Atlântica (FPA) domina em 20% dos dias (SARTORI, 2003).

Segundo a autora, a Massa Tropical Continental (MTC) aumenta sua participação na primavera, principalmente em novembro, ao substituir a participação da MPV, mas a MTC tem pouca duração, geralmente um dia. As instabilidades Tropicais, calhas Induzidas e a Massa Tropical Atlântica (MTA) permanecem na mesma frequência de participações em relação as outras estações (SARTORI, 2003).

No verão, que corresponde ao período entre 22 de dezembro à 20 de março, a participação da MPV domina em média mais de 45% dos dias da estação. A FPA aparece em segundo lugar no número de dias sob seu domínio, totalizando 20% dos dias de verão. A Massa MPA típica tem participação em cerca de 19% dos dias, mas domina na região por apenas um ou dois dias enquanto diminuem as temperaturas. A MPA domina logo após a passagem da Frente Polar, pois ela entra rapidamente em processo de tropicalização devido à maior insolação e também é maior a radiação solar absorvida pela superfície continental (SARTORI, 2003).

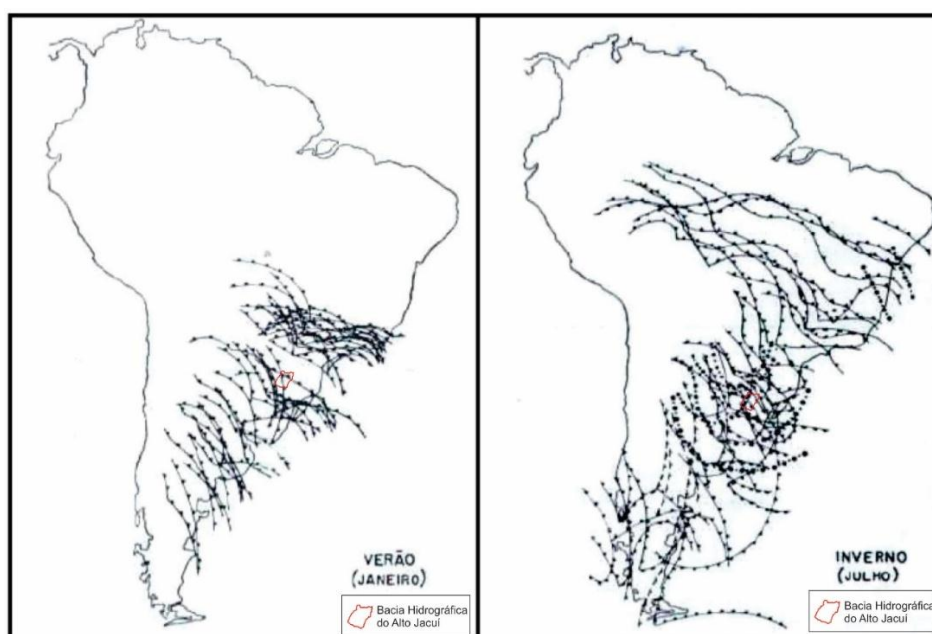
Entre os Sistemas Intertropicais que atuam no verão, a Massa Tropical Atlântica (MTA) e a Massa Tropical Continental (MTC) são as que têm maior participação na circulação atmosférica regional, dominando em cerca de 5% dos dias cada uma. Esses sistemas prevalecem na região somente nas fases pré-frontais em substituição à MPV, devido à fusão que ocorre entre o Anticiclone Polar Atlântico (APA) e o Anticiclone Tropical Atlântico (ATA), gerando um único centro de alta pressão (SARTORI, 2003). Ainda, a autora coloca que no período sazonal do verão há também a atuação das Instabilidades Tropicais, também conhecidas como de Noroeste, e de Calhas Induzidas, em cerca de 7% e 5% dos dias, respectivamente, e estão associadas às fases pré-frontais independentes da massa de ar que está dominando (SARTORI, 2003).

De maneira geral, essas correntes perturbadas de circulação secundária provocam chuvas fortes e rápidas, tempestades e precipitações de granizos localizadas, as quais são caracterizadas pela presença de nuvens cumulonimbus (Cb), de grande desenvolvimento

vertical, geradas por convecção térmica, que são resultantes do intenso aquecimento do interior do continente durante o verão (SARTORI, 2003).

No verão, as FF atingem o estado, principalmente na região litorânea. Além de trazerem suas frequências diminuídas, torna-se menor a sua intensidade. Na Figura 4, é possível observar o deslocamento dos Sistemas Frontais atuando no Estado, na fachada litorânea do América do Sul durante o verão e no inverno.

Figura 4 - Deslocamento dos Sistemas Frontais no período do verão e de inverno



Fonte: (Monteiro, 1963, p.131).

No inverno, de 21 de junho a 21 de setembro (93 dias), a MPA típica atua em 60% da participação geral dos Sistemas Atmosféricos, devido à intensificação do Anticiclone Polar Atlântico. As altas pressões de origem polar tornam-se mais intensas, devido à diminuição geral das temperaturas, fazendo com que a MPA permaneça por até oito (8) dias consecutivos, e muitas vezes não chega a tropicalizar-se devido à aproximação de nova FPA.

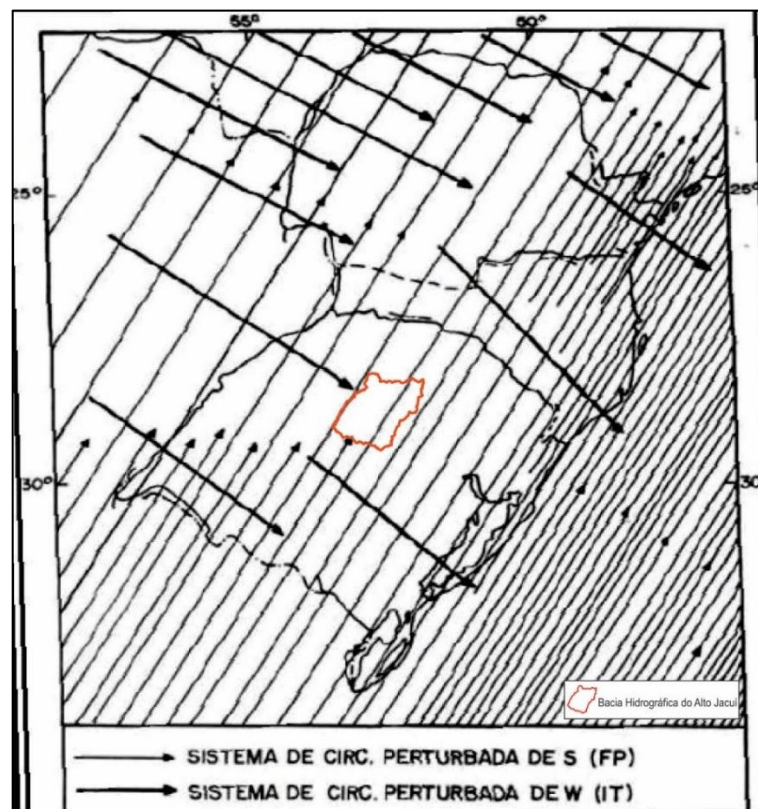
A participação de FPA é maior no inverno (22% dos dias), aumentando os casos de frentes estacionárias e de ciclogêneses (formação de ciclones frontais), situações atmosféricas responsáveis pelos grandes índices pluviométricos que podem ocorrer no inverno. O deslocamento das frentes frias no inverno se estende até o nordeste brasileiro (conforme mostra



a Figura 4), deve-se, em parte, ao deslocamento do ATA mais para o continente nessa época do ano.

As correntes perturbadas (Instabilidades Tropicais e Calhas Induzidas) controlam cerca de 3% dos dias e são responsáveis pelas chuvas e/ou granizo que antecedem a FPA (SARTORI, 2003). Na Figura 5, é possível observar a participação das Frentes Polares e das Instabilidades Tropicais sobre o Estado, bem como na área de estudo.

Figura 5- Deslocamento dos Frentes Polares e as Instabilidades Tropicais sobre o RS



Fonte: Adaptado de NIMER, 1979, p.207.

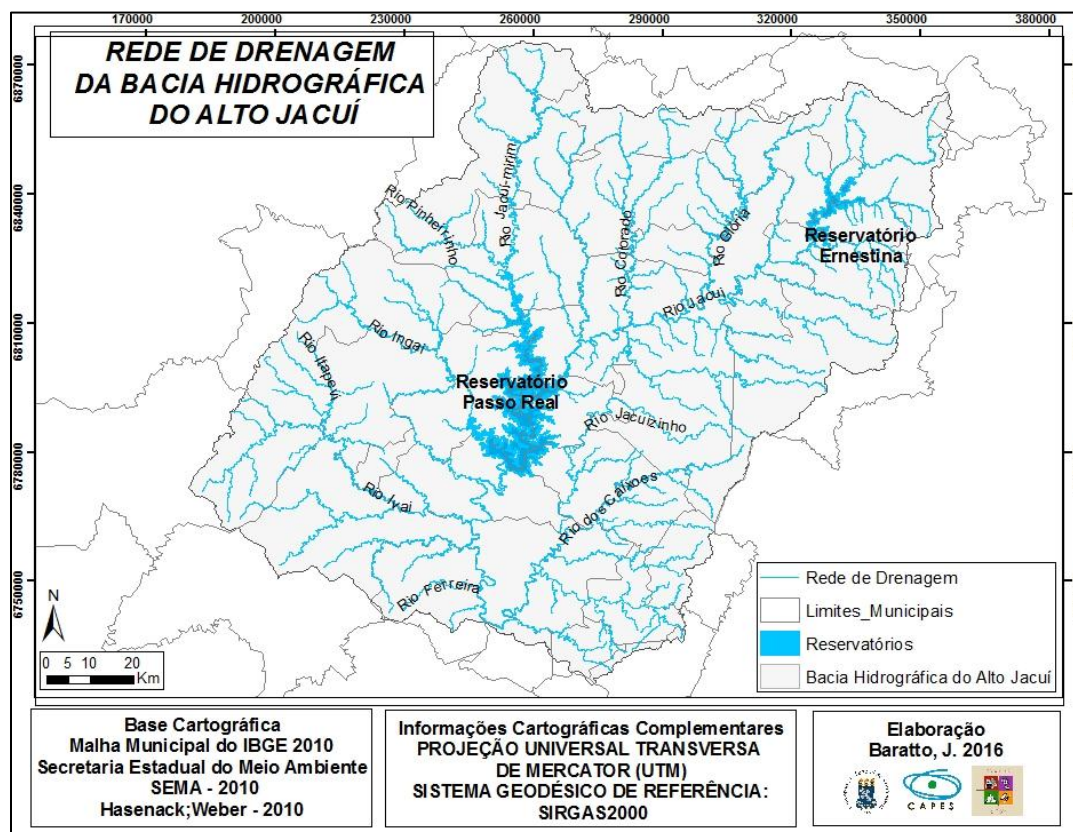
A MPV reduz sua frequência em relação ao verão e outono, passando a dominar em cerca de 11% do total de dias do inverno. A MTA domina em 6% do total de dias do inverno e substitui a MPV nas fases pré-frontais. A Massa Tropical Continental tem menor participação em função do retraimento latitudinal da Baixa do Chaco mais para o norte (SARTORI, 2003).

O outono, que se estende de 21 de março até 20 de junho, compreendendo 92 dias, é considerada época de transição entre o verão e o inverno. Os Sistemas Extratropicais continuam a predominar no outono. A MPA passa a controlar o tempo em mais de 45 % dos dias. Esse

aumento da participação da MPA, em relação ao verão, é explicado pela intensificação do Anticiclone Polar Atlântico (APA), e assim, origina as Massas Polares mais definidas e persistentes. Com isso, a MPV reduz sua participação (30% do total dos dias de outono). A FPA mantém sua participação em cerca de 20% dos dias, incluindo também as frentes com deslocamento normal, as que estacionam ou formam ciclones frontais sobre o estado ou no oceano (SARTORI, 2003). Os Sistemas Intertropicais reduzem a sua frequência no outono, predominam em apenas 1% a 6% do total de dias, em média. É representado pelas massas Tropical Atlântica (MTA e MTAc) e Tropical Continental (MTC), o mesmo acontecendo com as Correntes Perturbadas, como as Instabilidades Tropicais e Calhas Induzidas (SARTORI, 2003).

Segundo SEMA (2010), os rios Jacuí, Jacuí-mirim, Jacuízinho e dos Caixões são os principais cursos de água da bacia hidrográfica do Alto Jacuí (Figura 6). O Rio Jacuí, o maior rio do interior do Estado, tem suas nascentes no Planalto Médio, escoando primeiramente no sentido sul e posteriormente no sentido leste (CAOJU, 2009).

Figura 6- Mapa da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Alto Jacuí



O rio Jacuí, com a área de nascente a nordeste da bacia hidrográfica, é o principal curso d'água da bacia (Figura 7), cuja coordenadas são 28°14'5 S de latitude e 52°16'0 O de longitude. Os rios Jacuí-mirim, Rio Colorado, rio Glória drenam a bacia hidrográfica de norte para o sul, desaguando no rio Jacuí (rio Glória e Colorado) ou no Reservatório Passo Real (rio Jacuí-mirim). Os rios Ingaí, Itapeví, Ivaí, Ferreira e Pinheirinho drenam o setor oeste da mesma desaguando a jusante do Reservatório Passo Real. O setor leste da bacia hidrográfica é drenado pelo rio Jacuizinho, que desagua no rio dos Caixões, que por sua vez, também deságua a jusante do Reservatório Passo Real.

O rio Jacuí, no seu trecho superior, caracteriza-se pelo aproveitamento energético, onde estão instaladas as UHEs Ernestina, Passo Real, Salto do Jacuí, Itaúba. Toda a área de drenagem do rio Jacuí caracteriza-se pelo uso intensivo do solo para agricultura e pecuária (FEPAM, 2016).

Figura 7- Área da nascente do rio Jacuí localizada entre os municípios de Passo Fundo e Marau.



Fonte: Trabalho de campo (21/12/2015/ 17/03/2016).

Autora: Amanda Comassetto Iensse

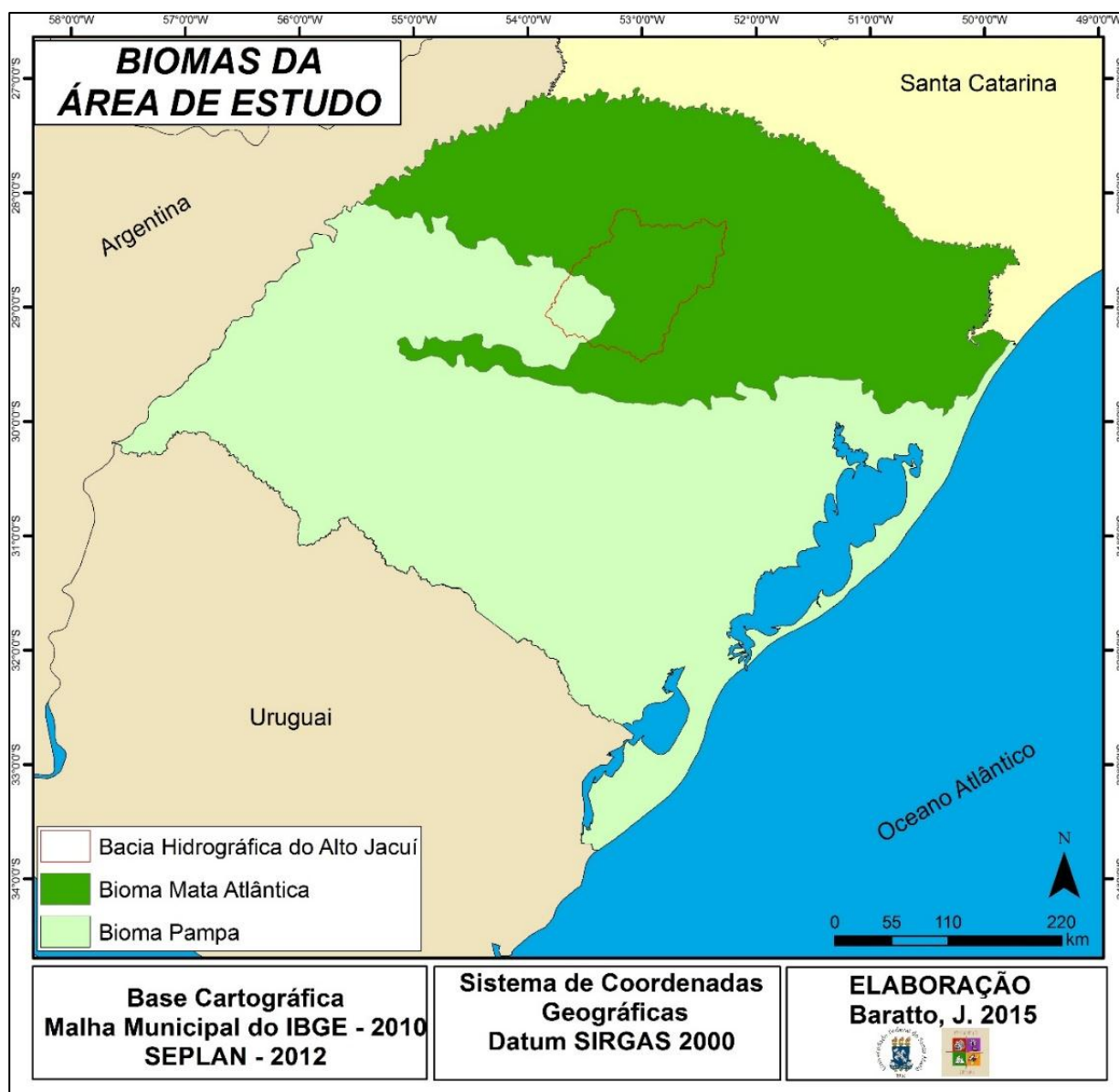
Os usos dos recursos hídricos da bacia normalmente estão ligados ao abastecimento público, saneamento, atividades industriais, agrícolas, pecuária e irrigação, mas os recursos hídricos também são explorados para as atividades de lazer e turismo, geração de energia e mineração. A demanda hídrica total anual na bacia é de 91,07 m<sup>3</sup>, sendo a maior parte da água consumida para irrigação (76%), e a menor, destinada ao setor de abastecimento industrial (1%). O segundo uso mais expressivo da água na bacia é a dessedentação animal, com 15% e o abastecimento público vem logo em seguida com 5% da demanda hídrica total da bacia (COAJU, 2012). Já os meses mais críticos para a demanda hídrica superficial, conforme estudos



do comitê de bacias, são os meses de dezembro e janeiro, devido ao consumo destinado a irrigação (COAJU, 2012).

Em se tratando de biomas existentes na área de influência da bacia hidrográfica aqui tratada, a mesma apresenta características tanto da Mata Atlântica, quanto do Pampa (Figura 8). Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2016) o bioma Pampa corresponde em mais da metade do estado do Rio Grande do Sul, porém na área de estudo, esse bioma representa a menor área.

Figura 8 - Biomas brasileiros localizados na bacia hidrográfica do Alto Jacuí.



O bioma Pampa está localizado na região sudoeste da bacia, enquanto que o Mata Atlântica, se está presente no restante da bacia ocupando uma maior área, a qual corresponde a aproximadamente 82% da área total da bacia, o equivalente a 10.694,7 km<sup>2</sup>. Já o Bioma Pampa ocupa uma área de 2.298,7 km<sup>2</sup>, o que corresponde a aproximadamente 18% da área total da bacia hidrográfica. Segundo os dados do Coaju (2009), a bacia hidrográfica do Alto Jacuí possui uma cobertura florestal de 2.842,83 km<sup>2</sup>, o que representa 1,006% da cobertura do Estado, sendo 2.769,63 km<sup>2</sup> (0,98%) de florestas nativas e 73,20 km<sup>2</sup> (0,026%) de reflorestamentos assim distribuídos: 41,44 km<sup>2</sup> (0,015%) de Eucaliptos, 31,71 km<sup>2</sup> (0,011%) de Pinus 0,05 km<sup>2</sup> (0,00001%) de Acácia-negra.

Como mostra a Figura 9, é possível observar a presença dos remanescentes de Araucária na bacia hidrográfica, conforme relatado nos trabalhos de campo. Os remanescentes de Araucária, se encontram nos pequenos fragmentos florestais, ainda preservados. Os fragmentos florestais observados a campo estão, muitas vezes, próximos aos cursos d'água ou em áreas íngremes.

Figura 9- Remanescentes de vegetação nativa localizada na área de estudo.



Fonte: Trabalho de campo (17/03/ 2016).

Em relação ao uso da terra (Quadro 1), Ziani (2014), em seu estudo salienta que na foz da bacia do Alto Jacuí localizam-se as áreas com cobertura florestal. Porém, nessas áreas são observados diversos pontos de solo exposto. Nas demais áreas da bacia, nas áreas mais planas, há a presença das barragens e grande concentração de áreas com lavouras, seguido por campo e também alguns pontos com solo exposto.

Quadro 1 - Porcentagem dos diferentes usos da terra da bacia do Alto Jacuí.

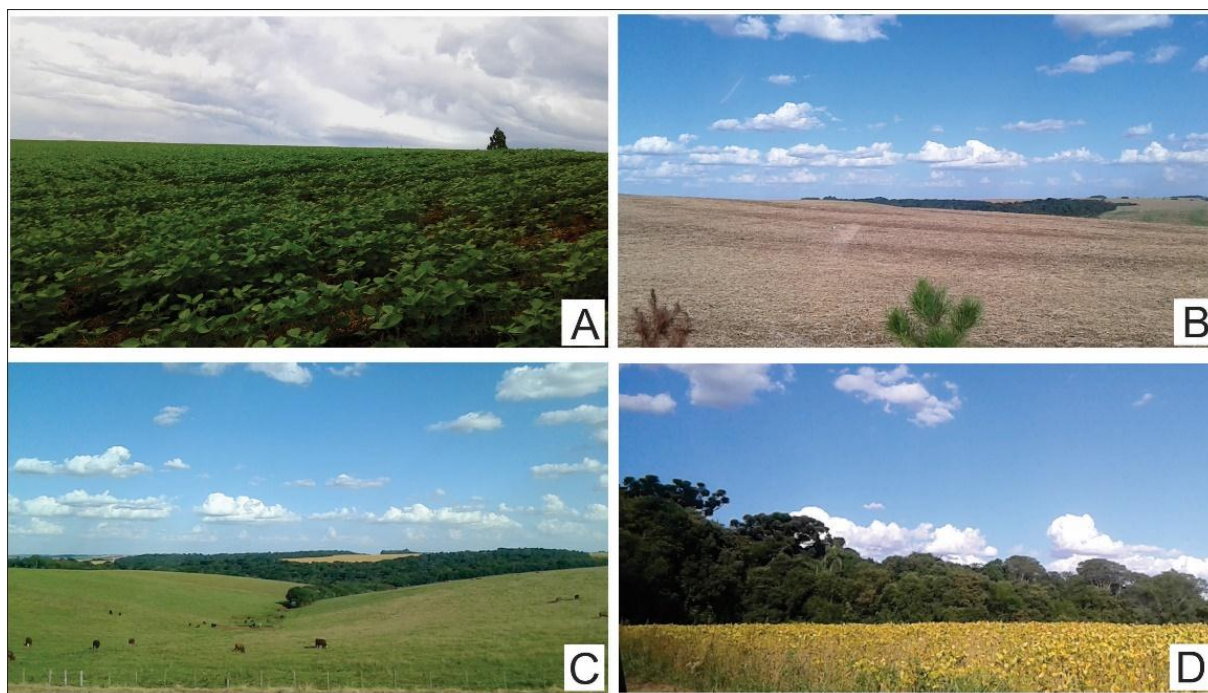
<b>Tipo de uso</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
<b>Água</b>	182,01	1,40
<b>Floresta</b>	2.217,23	17,11
<b>Solo exposto</b>	1.354,43	10,45
<b>Lavoura</b>	2.342,25	18,08
<b>Campo</b>	5.909,39	45,61
<b>Total</b>	12.954,92ha	100 %

\*Nuvens e sombra: 956,06ha e 7,38%

Fonte: Adaptado de ZIANI, P,2014, p.50.

No Quadro 1, é possível constatar que o tipo de uso da terra predominante na bacia do Alto Jacuí é o campo (46%), seguido por lavoura (18%), floresta (17%), solo exposto (11%), nuvem (6%), sombra (1%) e água (1%) conforme apresentados por Ziani (2014). Durante o trabalho de campo foi possível observar os diferentes usos da terra presentes na bacia hidrográfica Alto Jacuí (Figura 10).

Figura 10 – Diferentes usos da terra da bacia hidrográfica do Alto Jacuí.



Fonte: Trabalho de campo. Figura A (21/12/ 2015), figuras B, C, D (17 /03/2016).

Na figura 10A, é possível observar o uso da terra na época da cultura da soja, período em que a mesma ocupa grande parte das áreas agricultáveis. Já na Figura 10B, é perceptível o uso da terra após a colheita da cultura da soja. Essa figura é referente a março de 2016, período destinado à colheita da cultura.

Na Figura 10C constata-se as áreas de campo destinadas para a pecuária, assim como as matas ciliares que estão próximas aos cursos d'água. A Figura 10 D mostra os remanescentes de vegetação nativa encontrados na bacia do Alto Jacuí.

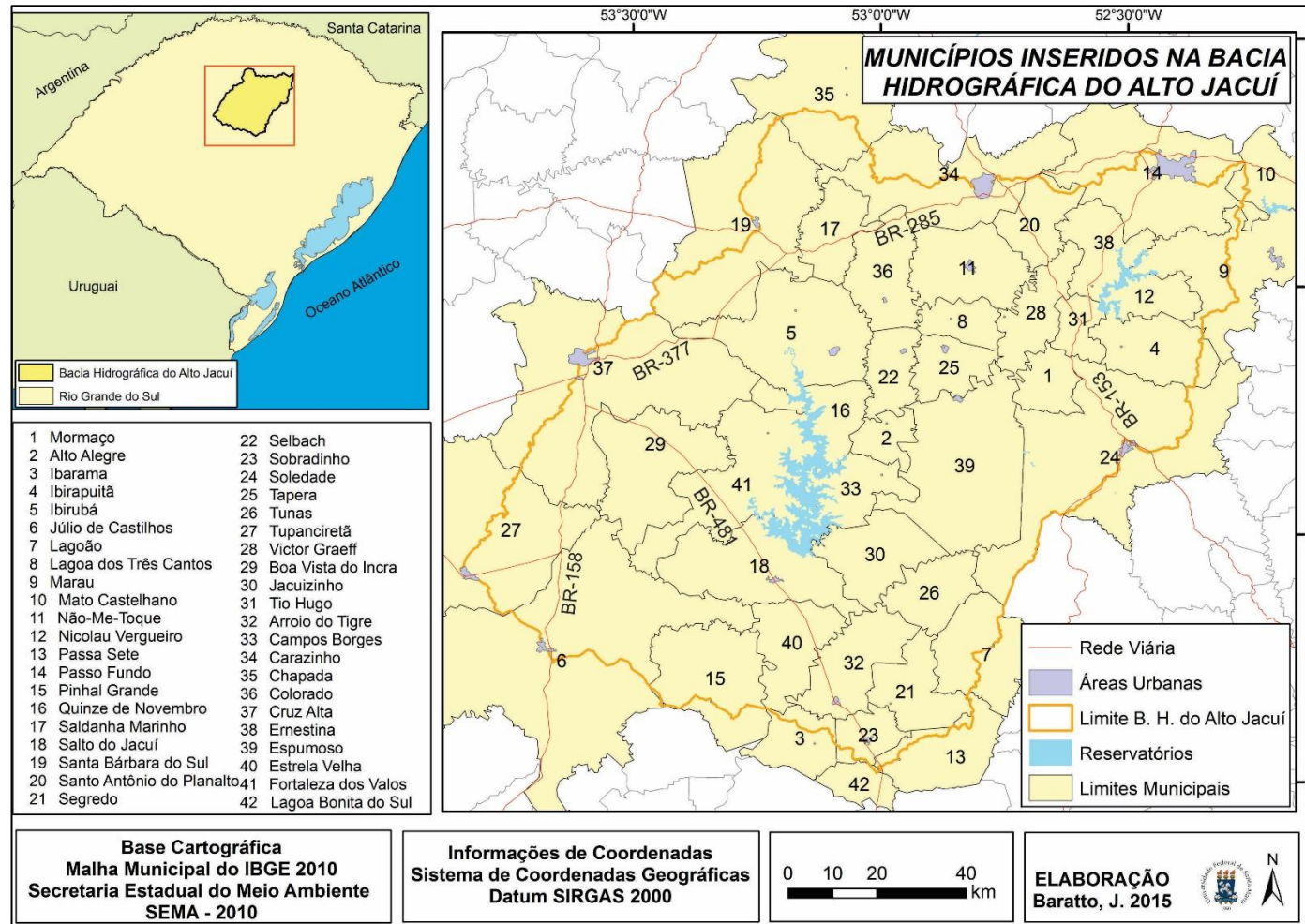
Em relação ao bioma Mata Atlântica, são encontrados apenas alguns remanescentes de vegetação, os quais estão despostos próximos aos cursos d'água, ou em áreas impróprias para a agricultura. Nas áreas da bacia hidrográfica pertencentes ao bioma Pampa, há presença principalmente da pecuária, mas também ocorrem áreas destinadas a agricultura.

### **2.3 Caracterização socioeconômica da bacia hidrográfica do Alto Jacuí**

Na bacia hidrográfica do Alto Jacuí estão inseridos 42 municípios (Figura 11), seja com sua área total ou parcial. Destes, 23 possuem todo o seu território inserido na bacia hidrográfica, 09 possuem mais de 50% do seu território inseridos na bacia. E os municípios com menos de 50% do seu território inseridos são no total 10.



Figura 11 - Municípios inseridos na bacia hidrográfica do Alto Jacuí

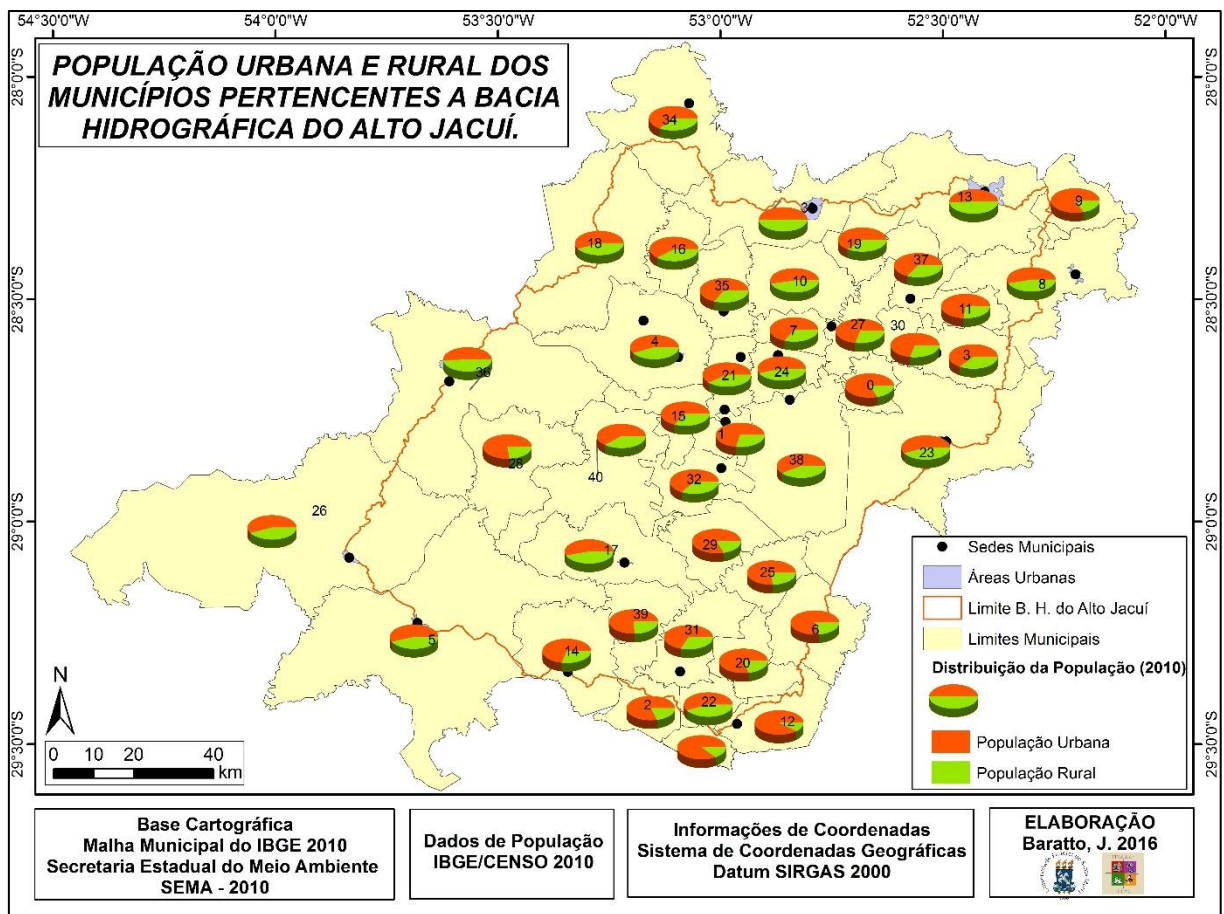


Fonte: Autora.



Conforme o censo de 2010, a população urbana residente nos municípios inseridos na bacia do Alto Jacuí representa 55% do total da população da bacia hidrográfica, o que corresponde a 624.921 habitantes. Enquanto que a população rural condiz com 45%, sendo um total de 514.425 habitantes (Figura 12). A população total da bacia hidrográfica é de 1.138.916 habitantes ou 10,6% da população do Rio Grande do Sul (IBGE, 2010)

Figura 12 - Relação da população urbana e rural dos municípios pertencentes à bacia hidrográfica do Alto Jacuí



Fonte: Autora.

O município de Passo Fundo possui a maior população inserida na bacia, com um total de 364.946 mil habitantes, sendo que 184.826 estão localizados na urbana e 180.120 na área rural do município, conforme Figura 13. Em seguida apresenta-se Cruz Alta como o segundo maior, num total 123.415 habitantes, sendo que 62.821 destes residem na área urbana e 60.594 residem na zona rural. O município em terceiro lugar, com relação a maior população é

Carazinho, com um total de 117.570 habitantes, sua população urbana é de 59.317 e na zona rural residem 58.253 habitantes.

Já o município que possui a menor população total é o de Nicolau Vergueiro, com um total de 2.357 habitantes, sendo 1.721 vivem na zona urbana e apenas 636 residem na zona rural. O segundo município com a menor população total é Lagoa dos Três Cantos com 2.405 habitantes, dividido em 1598 habitantes na zona urbana e 807 habitantes na zona rural do município. Alto Alegre é o terceiro município da bacia, no que se refere menor população total com 2.591 habitantes, sendo que 1.848 encontram-se na zona urbana e 734 na zona rural.

A economia da bacia do Alto Jacuí está baseada principalmente na agricultura e na pecuária. Ambas atividades fazem uso dos recursos hídricos, para que se possa ter safras regulares ao longo dos anos, assim como, o aumento dos rebanhos de gado na região. As políticas públicas têm incentivado o uso dos recursos hídricos para a obtenção de melhores resultados no campo (COAJU, 2009).

A indústria é pouco significativa na área de estudo, segundo Ziani (2014), estas representaram para o ano de 2011 apenas 7,14% do Produto Interno Bruto (PIB) dos municípios inseridos na bacia do Alto Jacuí. Assim, o que mais colabora para a constituição desta medida de valor é o setor de prestação de serviços, com cerca de 78,57%, seguido pela agropecuária, com 14,28% do PIB dos municípios constituintes.

Relacionado ao setor agrícola existente nos municípios inseridos na bacia hidrográfica do Alto Jacuí, as culturas que se destacam são o cultivo do milho, o trigo, a soja e o arroz do tipo sequeiro e irrigado. O milho é o único produto cultivado em todos os municípios inseridos na bacia hidrográfica. A soja e o trigo estão presentes em 41 municípios, destes, a soja não é produzida apenas no município de Estrela Velha. Enquanto que o município de Espumoso não tem na sua produção agrícola a cultura do trigo.

A produção de arroz irrigado e sequeiro é realizada em oito municípios, sendo eles, Chapada, Ibarama, Ibirubá, Lagoão, Mato Castelhana, Saldanha Marinho, Segredo, Tupanciretã. Assim, na Tabela 2, é possível observar a produção agrícola existente nos municípios inseridos, a área destinada para a produção em hectares (ha) e também a quantidade produzida de cada cultura em toneladas (t).

Conforme a Tabela 2, a maior área destinada a produção agrícola é para a cultura da soja, o que corresponde 76,9% da área agricultável dos municípios inseridos na bacia do Alto Jacuí. Sendo a cultura do milho a segunda maior área destinada a produção. O arroz é cultivado em apenas 46 hectares das áreas cultivadas dos municípios.

Tabela 2 - Relação dos produtos cultivados na bacia hidrográfica do Alto Jacuí

<b>Cultivos</b>	<b>Área Plantada (ha)</b>	<b>Quantidade Produzida (t)</b>	<b>Quantidade de Municípios com a cultura</b>	<b>Porcentagem (%) de municípios com a cultura</b>
<b>Arroz</b>	46	143	8	19,00
<b>Milho</b>	93.869	572.176	42	100,00
<b>Trigo</b>	204.430	730.149	41	97,62
<b>Soja</b>	994.175	301.558	41	97,62
<b>Total</b>	<b>1.292.520</b>	<b>4.317.976</b>	-	-

Fonte: FEEdados/ Safra 2013.

Porém, a cultura do trigo se destaca pela produção, sendo a maior quantidade produzida na safra de 2013 chegando a 730.149 toneladas. A cultura do milho vem em segundo lugar, com uma produção de 572.176 toneladas. Em terceiro lugar, se destaca a soja, sendo 301.558 toneladas de soja produzida. A produção de arroz não é muito significativa nos municípios inseridos na bacia do Alto Jacuí, assim, a quantidade produzida é de 143 toneladas (FEEE, 2010).

Na agricultura, o uso dos recursos hídricos acontece principalmente no cultivo do arroz em áreas alagadas e na irrigação para as culturas da soja, milho e trigo. São utilizados dois sistemas de irrigação na bacia: aspersão e inundação, os quais atendem uma área total de 17.678 hectares. O sistema por aspersão tem um consumo 11.223 m<sup>3</sup>/ha, uma área de 8.703 hectares, com um consumo total anual de 0,097 km<sup>3</sup>; enquanto que o sistema por inundação consome 7.623 m<sup>3</sup>/hectare sendo responsável por irrigar uma área de 8.975 hectares, com um consumo total de 0,069 km<sup>3</sup>/ano (COAJU, 2009).

A bacia do Alto Jacuí também se destaca na pecuária, sendo a bovinocultura de corte e a produção leiteira os maiores responsáveis pela economia nesse setor. A primeira sendo responsável pela manutenção de um rebanho de 608.273 cabeças, estando presente em todos os municípios inseridos na bacia. A criação de gado de corte é mais expressiva nos municípios de Tupanciretã, Júlio de Castilhos e Soledade, com uma quantidade de 75.672, 66.255 e 59.348 cabeças de gado, respectivamente.

A produção leiteira vem se desenvolvendo na região, por meio da implantação de várias indústrias de laticínios nos últimos anos (COAJU, 2009). A quantidade produzida de leite nos

42 municípios da bacia do Alto Jacuí no ano de 2013 foi de 713.657 litros. Toda a produção leiteira rendeu para os municípios um total de R\$ 3270.173 reais. Os municípios que se destacam na produção de leite na bacia são Estância Velha com 710.00 litros, Lagoa Bonita do Sul com uma produção no ano de 2013 de 449.00 litros, Marau com 50.920 litros de leite e Ibirubá com 50.620 litros de leite. A indústria nesta região é uma atividade pouco desenvolvida e por isso faz pouco uso da água, com apenas 0,004 m<sup>3</sup>/s (5,1%) do uso total setorial anual médio.

Dessa forma, as maiores demandas hídricas da bacia são referentes às atividades de irrigação e dessedentação animal, sendo que a primeira possui uma demanda hídrica de 1,27 m<sup>3</sup>/s, o que corresponde a 46%. Já a dessedentação animal possui uma demanda hídrica de 0,51 m<sup>3</sup>/s (18,7%) (COAJU, 2009). Portanto, à título conclusivo deste objeto, torna-se necessário um estudo mais detalhado na precipitação pluviométrica, pois a mesma apresenta-se como elemento fundamental à contribuição para melhor gestão de planejamento agrícola, abastecimento público e geração de energia.

#### **2.4 Usinas hidrelétricas e pequenas centrais da bacia hidrográfica do Alto Jacuí**

A Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí contribui com 15,6%, do total da potência elétrica do Estado, os quais são gerados pelas Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), Centrais de Geração de Energia e Usinas Hidrelétrica de Energia. As maiores contribuições na geração de energia são das Usinas Hidrelétricas de Maia Filho (antigamente denominada Usina do Jacuí), Passo Real e Itaúba, as quais juntas representam a potência de 1.076.400 kW, enquanto que a contribuição das pequenas centrais hidrelétricas e centrais geradoras hidrelétricas na bacia são de 11.252 kW (COAJU, 2009).

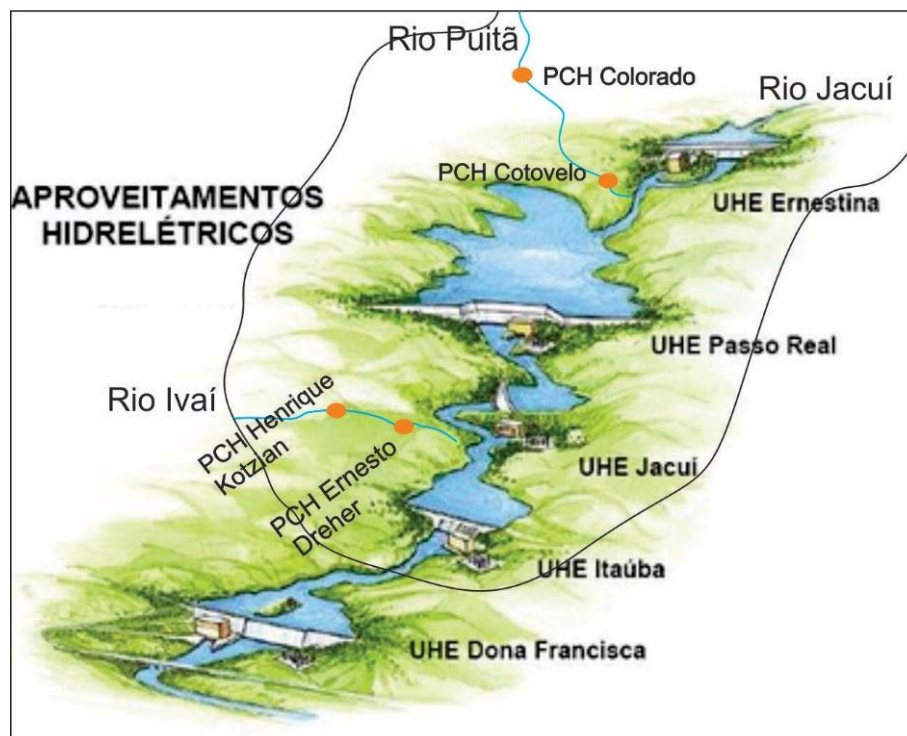
Em relação as PCHs, a bacia do Alto Jacuí possui quatro, sendo elas a Usina Colorado, Usina do Cotovelo do Jacuí, Usina Engenheiro Henrique Kotzian e Unisa Ernesto Dreher, as duas últimas localizadas no rio Ivaí, a primeira no município de Júlio de Castilhos e a segunda no município de Salto do Jacuí. A PCH Engenheiro Henrique Kotzian possui uma potência instalada de 13.000 kW. Já a PCH Engenheiro Ernesto Jorge Dreher é capaz de gerar 17.870 kW de potência (ANNEL, 2016).

A Usina Colorado é um aproveitamento hidrelétrico do Rio Puitã, com potência instalada de 1,12MW. A usina está localizada no município de Tapera/RS, e possui um reservatório de 2,40Km<sup>2</sup>. (COAJU, 2009). A PCH Cotovelo do Jacuí entrou em operação no

ano de 2000, e possui uma potência instalada de 3,34 MW. A usina está localizada no município de Vitor Graeff/RS, seu reservatório possui uma área de drenagem de 1.515,0 Km<sup>2</sup>. Sua barragem é do tipo gravidade e alaga áreas a sua margem esquerda do Município de Mormaço e direita de Vitor Graeff (COAJU, 2009).

A bacia hidrográfica estudada, tem um total de quadro usinas hidrelétricas de Energia todas elas estão localizadas no Rio Jacuí (Figura 13). A Usina de Ernestina, na ordem cronológica é a primeira dos cinco aproveitamentos de responsabilidade da Companhia Estadual de Energia Hidrelétrica - Geração e Transmissão (CEEE- GT), bem como, mantém sua hegemonia quando vista na ordem da cascata do Rio Jacuí. Entrou em operação no ano de 1957, e possui uma potência instalada de 4.800 kW. A usina está localizada no município de Tio Hugo/RS e seu reservatório possui uma área inundada de 57,12 Km<sup>2</sup> (COAJU, 2009).

Figura 13 - Aproveitamento hidrelétrico do Rio Jacuí de responsabilidade da CEEE-GT



Fonte: Adaptado de Minas e Energia RS, 2016.

A Usina de Jacuí, rebatizada recentemente por Decreto Estadual nº 43. 888, de 21 de junho de 2005 como usina Leonel de Moura Brizola, é o terceiro aproveitamento do Rio Jacuí, a contar da nascente (CEEE-GT, 2008). Esta entrou em operação no ano de 1962, e possui uma

potência instalada de 180.000 kW distribuídos em 6 geradores de 30.000 kW e está situada no município de Salto do Jacuí/RS. O reservatório da UHE Jacuí, denominado Maia Filho, está totalmente localizado em Salto do Jacuí, com área inundada de 4,5 Km<sup>2</sup>. Sua Barragem é do tipo Gravidade – Concreto Armado e o sistema de adução via túnel revestido com 1.186,6 m de extensão (COAJU, 2009A Usina de Passo Real na ordem cronológica é o terceiro dos cinco aproveitamentos do rio Jacuí de responsabilidade da CEEE-GT. Esta usina entrou em operação no ano de 1972, possui uma potência instalada de 158.000 kW distribuídos em 2 geradores de 79.000 kW. A usina fica localizada no município de Salto do Jacuí/RS na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. 29°00' atitude sul e 53°00' longitude oeste (CEEE-GT, 2010).

O reservatório da UHE Passo Real é o maior lago artificial do RS, com uma área inundada de 248,0 Km<sup>2</sup> e perímetro de 578 Km, atingido áreas territoriais na sua margem direita dos Municípios de Selbach, Ibirubá, 15 de Novembro, Fortaleza dos Valos e Salto do Jacuí, enquanto que na margem esquerda estão: Alto Alegre, Campos Borges, Jacuizinho e Salto do Jacuí (COAJU, 2009).

A Usina de Itaúba, na ordem cronológica é o quarto dos cinco aproveitamentos do rio Jacuí de responsabilidade da CEEE. Esta usina entrou em operação no ano de 1978, possui uma potência instalada de 500 MW distribuídos em 4 geradores de 125 MW (COAJU, 2009). A mesma está localizada no município de Pinhal Grande/RS, na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. O reservatório da UHE Itaúba possui uma área inundada de 13,9 Km<sup>2</sup>, confrontando áreas municipais a margem direita: Pinhal Grande, Júlio de Castilhos e Salto Jacuí, já na margem esquerda podemos encontrar Estrela Velha e Salto do Jacuí (COAJU, 2009).

## **2.5 Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí (COAJU)**

No ano de 2001, por meio do Decreto Estadual nº 10350, de 11/06/2011 foi criado o Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí (COAJU), um colegiado de entidades que fazem parte do Sistema Estadual de Recursos Hídricos, previsto na lei estadual nº 10350, de 30 de dezembro de 1994 (COAJU, 2009).

Este comitê tem por finalidade de executar ações que visam a qualidade e a disponibilidade das águas de uma região, procurando estabelecer mecanismos jurídicos e institucionais de gestão e ordenamento dos recursos hídricos que estão atrelados aos mecanismos econômicos a longo prazo. Outro objetivo do COAJU é estabelecer intervenções

estruturais e não estruturais que garantam a concretização das metas qualitativas e quantitativas desejadas (COAJU, 2016).

O COAJU é constituído por representados dos usuários de água - 40%, outros 40% das vagas são destinadas à população residente na bacia e os 20% restantes são destinados para os representantes do Estado, ou seja, o poder Executivo, governo municipal, estadual e federal (COAJU, 2016).

O Plano de Bacia tem como objetivo gerar elementos e meios que permitam ao Comitê, à sociedade e ao Estado administrarem de forma efetiva e sustentável os recursos hídricos superficiais, para assim garantir os seus múltiplos usos de forma racional e sustentável. Possuindo um conjunto de diretrizes, ações e prazos que garantam os aspectos sociais, ambientais e econômicos e também a qualidade e quantidade da água (COAJU, 2016).

O plano da bacia hidrográfica do Alto Jacuí está dividido em três etapas, sendo a primeira etapa de diagnóstico, no qual foi realizado o levantamento da situação atual dos recursos hídricos da bacia hidrográfica detalhando a disponibilidade hídrica, os usos e a qualidade da água. A segunda etapa foi destinada para a elaboração dos cenários futuros de enquadramento, momento em que ocorreu a definição dos interesses da sociedade quanto aos usos e à qualidade da água no futuro. Já a última etapa, tem como objetivo a definição das medidas e ações necessárias para efetivação do enquadramento e compatibilização das demandas e disponibilidades hídricas (COAJU, 2016).

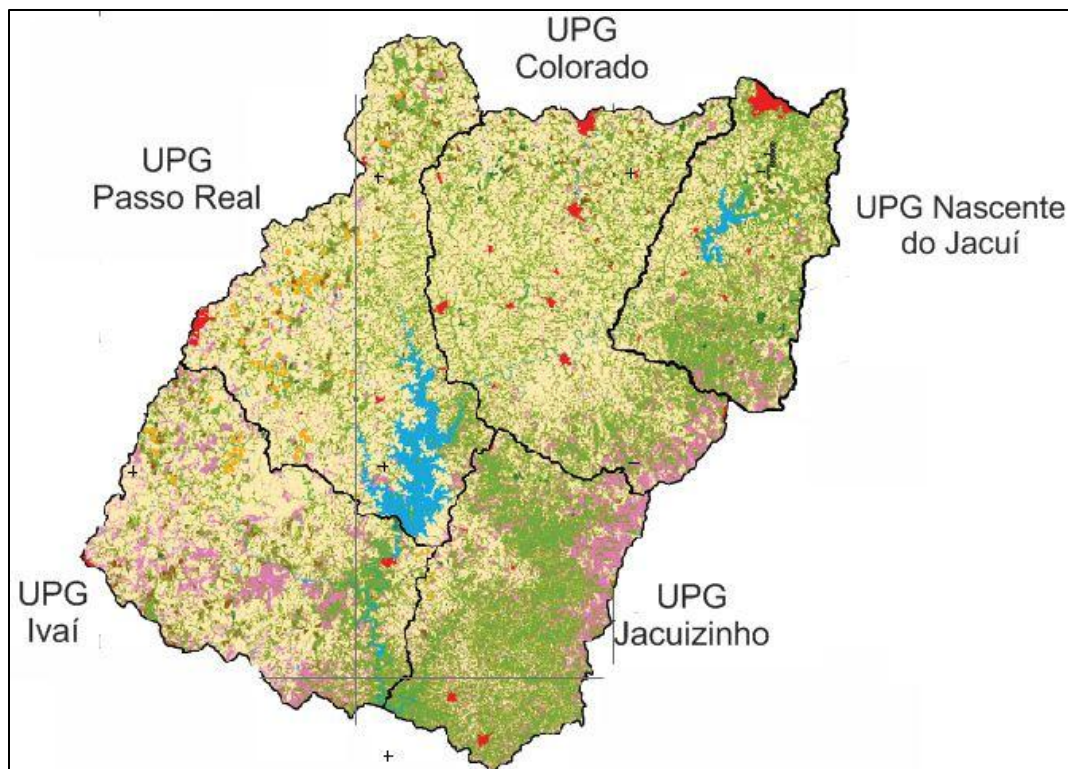
O sistema de gestão estabelecido pelo comitê de bacia foi por meio das unidades de Planejamento, os quais são conhecidos como UPG's. As unidades e planejamento foram divididas considerando os critérios hidrológicos e de uso e ocupação do solo, visando facilitar o processo de definição destas classes no enquadramento. Assim, foram delimitadas cinco unidades de planejamento, sendo elas: Nascentes do Jacuí, Colorado, Ivaí, Passo Real e Jacuizinho (COAJU, 2012).

A UPG Nascente do Jacuí corresponde à sub-bacia do rio Jacuí das suas nascentes até a PCH Cotovelo do Jacuí. Nessa unidade de planejamento inclui a UHE Ernestina, tendo como principais afluentes da margem esquerda os arroios Espraiado, Povinho, Porongos e Estivinha e na margem direita o arroio Grande e o arroio Pinheiro Torto. Já a UPG Colorado tem como área a sub-bacia do rio Jacuí, que inicia na PCH Cotovelo do Jacuí e termina na entrada do reservatório da UHE Passo Real, bem como as sub-bacias do rio Colorado, do rio da Glória, do arroio Grande, dos afluentes da margem direita e do arroio Butiá, afluente da margem esquerda



(COAJU, 2012). Na Figura 14, é possível observar as unidades de planejamento na bacia hidrográfica.

Figura 14 - Unidade de planejamento estabelecidas na bacia hidrográfica do Alto Jacuí



Fonte: Adptado de COAJU, p.14 2012.

A terceira UPG é a Passo Real, que corresponde a áreas da sub-bacia do reservatório da UHE Passo Real, tendo como principais contribuintes as sub-bacias do rio Jacuí-Mirim e do rio Ingaí, ambas afluentes da margem direita do reservatório. A UPG Ivaí compreende a sub-bacia do rio Jacuí, no trecho da barragem da UHE Passo Real até o fim da Bacia do Alto Jacuí, na confluência com o rio Jacuizinho. O rio Jacuí neste trecho tem como afluentes da margem direita o rio Ivaí, o lajeado Pelado, o arroio Reserva, o rio Ferreira e pequenos afluentes de menor importância na margem esquerda. A última UPG é a do Jacuizinho, tem como limite a sub-bacia do rio Jacuizinho até a confluência no rio Jacuí. Tem como afluentes o rio dos Caixões e o arroio Lagoão na margem esquerda (COAJU, 2012).

O comitê de bacia do Alto Jacuí já elaborou as duas primeiras etapas do plano de bacia. Na primeira etapa foram elaboradas as atividades referentes ao diagnóstico dos recursos



hídricos da Bacia, nesta etapa ocorreram os levantamentos e as avaliações integradas da situação atual dos recursos hídricos, englobando também os aspectos relacionados às disponibilidades hídricas, às demandas, assim como a articulação de diferentes áreas do conhecimento, em especial com o uso e ocupação do solo, bem como sua interface com fatores sociais, culturais e econômicas. Esta etapa foi publicada no ano de 2008 pelo COAJU.

A segunda etapa teve por objetivo o estabelecimento de metas de qualidade de água a serem obrigatoriamente alcançadas ou mantidas. Assim, foram realizadas Consultas Públicas aos residentes na Bacia, para apontamentos futuros do uso da água, o que contribuiu para a elaboração da proposta de enquadramento da mesma. Nesta etapa, também foram elaborados cenários futuros para a gestão dos recursos hídricos (COAJU, 2012).

Por fim e não menos importante, a terceira etapa, tem por objetivo definir medidas e ações necessárias para efetivação do enquadramento e compatibilização das demandas e disponibilidades hídricas. Esta última ainda não foi implantada pelo comitê da bacia do Alto Jacuí.



### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Precipitação Pluviométrica

Para a meteorologia, segundo Ayoade (2003, p.159), o termo precipitação “...é qualquer deposição de água na forma líquida ou sólida e derivada da atmosfera”. Assim, refere-se às várias formas líquidas e congeladas de água, como por exemplo, neve, granizo, orvalho, geada, nevoeiro. Porém, somente a chuva e a neve contribuem significativamente para os totais de precipitação. Dessa forma, como no Rio Grande do Sul a ocorrência de neve se restringe às áreas mais altas da serra geral e ocorrem só em condições específicas, o termo precipitação para a pesquisa estará se referindo a chuva, ou precipitação pluvial.

Para Varejão-Silva (2006, p. 345), “chuva é a precipitação de gotas de água com diâmetro superior a 0,5”, o referido autor então, quantifica o conceito de chuva, como sendo o diâmetro da água precipitada. Nesse contexto, Mendonça e Danni-Oliveira (2007), destacam que a precipitação pluvial é a quantidade total de água que precipita em um dia, e assim, a partir do total diário obtém-se os totais mensal, sazonal e o anual.

Chama-se pluviometria a quantificação das precipitações. A quantidade de precipitação é normalmente expressa em termos da espessura da camada d'água que se formaria sobre a superfície horizontal, plana e impermeável, com 1m<sup>2</sup> de área, sendo a unidade adotada o milímetro, o qual corresponde à queda de um litro de água por metro quadrado da projeção da superfície terrestre (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Ainda segundo o mesmo autor, a precipitação pluviométrica varia de acordo com as seguintes condições: duração, frequência, desvios e índice. Duração é o tempo de ocorrência da precipitação - minutos ou horas. Intensidade: razão entre altura e duração (mm/minuto ou mm/h.). Frequência consiste na incidência de certo volume num dado local. Já o desvio é o grau de anomalia de certo episódio pluviométrico, dessa forma pode ser positivo (supranormal) ou negativo (infranormal). O índice revela uma análise já efetuada com a pluviosidade efetivamente ocorrida, assim não é o dado bruto (VAREJÃO-SILVA, 2006).

No intuito de medir a precipitação em questão, recorre-se a ajuda do instrumento denominado pluviômetro. Existem dois tipos básicos, o pluviômetro registrador, e o não registrador. Com o primeiro instrumento é possível medir o volume precipitado e a sua duração. Já no pluviômetro não-registrador somente é possível medir o volume precipitado (AYOADE, 2003).

Dessa forma, De Paula (2009) destaca que os pluviômetros registradores também chamados de pluviógrafos, têm uma vantagem sobre os demais, pois apresentam-se sobre a possibilidade de se determinar duas características importantes das chuvas: a intensidade, definida como a quantidade de água precipitada por unidade de tempo, expressa em milímetros por hora (mm/h) e a duração das chuvas, definida como a diferença de tempo entre o instante de início e término do evento.

As estações pluviométricas, ou postos de medições de chuvas, são locais escolhidos para instalação dos equipamentos de medição da precipitação. Suas localizações devem ser geograficamente fixadas obedecendo a uma certa regularidade na distribuição espacial. As estações devem estar sempre aptas ao monitoramento e apresentar um cronograma de manutenções periódicas, tanto nos equipamentos como nos outros componentes da estação. A função das estações e dos postos é prover dados para constituir séries históricas ininterruptas (SALGUEIRO, 2005).

A precipitação pluvial é um dos elementos meteorológicos de maior variabilidade temporal e espacial tanto no período de ocorrência quanto na intensidade. Assim, muitas vezes podem acarretar consequências negativas em diversos setores da sociedade como acontece durante longos períodos sem chuvas e/ ou em períodos com chuvas intensas e/ou vários dias de chuvas consecutivos, que podem levar às inundações e erosões no solo (DE PAULA, 2008).

Para Galvani e Lima (2012), além da distribuição regional da precipitação pluviométrica deve ser considerada a distribuição temporal, pois o planejamento de atividades agrícolas e econômicas de determinada região podem variar em função da distribuição sazonal das chuvas.

Assim, estes elementos climáticos possuem grande impacto, por estarem relacionados a diversos setores da sociedade, de forma a afetar a economia, o meio ambiente e a própria sociedade, tanto na micro quanto na macro escala. A chuva é um elemento importante na compreensão do clima em escala regional e pode ser considerado o principal elemento na análise e organização do planejamento territorial e ambiental (CORREA, 2013).

Para Dziubate (2013), o conhecimento espaço-temporal da variabilidade das chuvas em uma bacia hidrográfica permite a disponibilidade de dados tanto para zoneamento agrícola, quanto para o abastecimento, contribuindo assim para a mitigação de impactos ambientais. Ainda, o autor coloca que o conhecimento da distribuição espacial e temporal das chuvas em uma bacia hidrográfica é de extrema importância pois permite o planejamento em períodos considerados críticos em caso de estiagem.

No Rio Grande do Sul, segundo Sartori (2003), as distribuições têmporo-espaciais das chuvas refletem-se por três condicionantes: a posição subtropical, a direção dos compartimentos de relevo e a direção geral dos deslocamentos das Frentes Polares, que é de sudoeste para nordeste. No Estado, segundo a referida, ocorre o aumento dos índices pluviométricos do quadrante sul para o quadrante norte conforme a disposição dos compartimentos geomorfológicos do Rio Grande do Sul, tendo as maiores altitudes ao norte e nordeste e menores altitudes a leste e sudeste.

Outro importante fator destacado pela autora, quando tratado sobre a distribuição têmporo-espacial, é o efeito orográfico, produzido pela barreira imposta da serra geral, que possuiu uma orientação de leste para oeste intensificando o processo de ascendência da dinâmica frontal. Sendo que as maiores precipitações do estado ocorrem na região nordeste do estado.

Além dos fatores geográficos na variação espacial da precipitação pluviométrica, o Rio Grande do Sul sofre na variação temporal a influência dos fenômenos La Niña e El Niño. Para o estado, conforme Berlato e Fontana (2003), um dos efeitos associados ao fenômeno El Niño é precipitação pluvial abundante, principalmente na primavera do ano de início do fenômeno e as precipitações ficam acima do normal no final do outono e no início do inverno do ano seguinte. Em relação às Frentes Frias, para o período de El Niño, elas podem ficar semi-estacionárias por vários dias, provocando precipitação pluvial. No período de La Niña as chuvas tende a diminuir principalmente na primavera e no início do verão, devido às rápidas passagens das Frentes Frias.

### **3.2 Escalas do Clima**

Monteiro (1990) coloca que além da escala local e as escalas superiores (escala regional e zonal) existem as escalas meso e topoclimática. Para Ribeiro (1993), as escalas climatológicas são referências, que segundo alguns critérios, interessam à compreensão de um fenômeno. Dessa forma, os estudos relacionados a variabilidade da atmosfera está na compreensão de sua extensão, ou seja, no espaço e na duração.

Os estudos dos fenômenos relacionados com o comportamento da atmosfera são orientados no sentido da compreensão de sua extensão (espaço) e de sua duração (tempo). A definição da intensidade, frequência e, finalmente, de uma tipologia climática dependerá, basicamente, da adequação da abordagem espaço-temporal com o conjunto de técnicas analíticas empregadas no processo da pesquisa e comunicação dos seus resultados (RIBEIRO, 1993, p.288).

As escalas fazem parte da metodologia da pesquisa climatológica, e cada nível escalar compreende uma abordagem específica para uma coerência entre extensão e duração dos fenômenos climatológicos. Ribeiro (op.cit), estabelece cinco ordens de grandeza têmporo-espacial para os fenômenos climáticos, sendo elas, clima Zonal, clima Regional, clima Local, Topoclima e o Mesoclima.

Ainda segundo o mesmo autor, o clima Zonal refere-se à circulação primária ou circulação geral da atmosfera. Os fenômenos apresentam uma extensão horizontal entre 1000 e 5000 km, e na vertical abrangem toda a atmosfera. Os registros necessários à compreensão dos climas na escala zonal devem ser obtidos por meio da normal climatológica, que são períodos mínimos de 30 anos de observações, principalmente aquelas que dizem respeito aos parâmetros relacionados à circulação geral da atmosfera (pressão e ventos), às precipitações (chuva e neve) e à energia (radiação e temperatura).

A representação cartográfica deve ser realizada por meio das cartas de ventos em diferentes cortes isobáricos, cartas de campos de pressão à superfície e cartogramas representativos dos parâmetros hídricos e energéticos. Nessa escala temporal busca-se sempre a compreensão dos fenômenos no sentido da circulação geral da atmosfera e fenômenos correlatos (RIBEIRO,1993).

Os fenômenos aqui apresentados podem durar de uma semana, como por exemplo, uma instabilidade passageira num deserto seco, ou até seis meses como a alternância entre os invernos e os verões polares. Os exemplos de fenômenos na escala zonal é a Zona de Convergência dos Alísios e a Oscilação Sul associada ao El Niño conforme Ribeiro (op.cit).

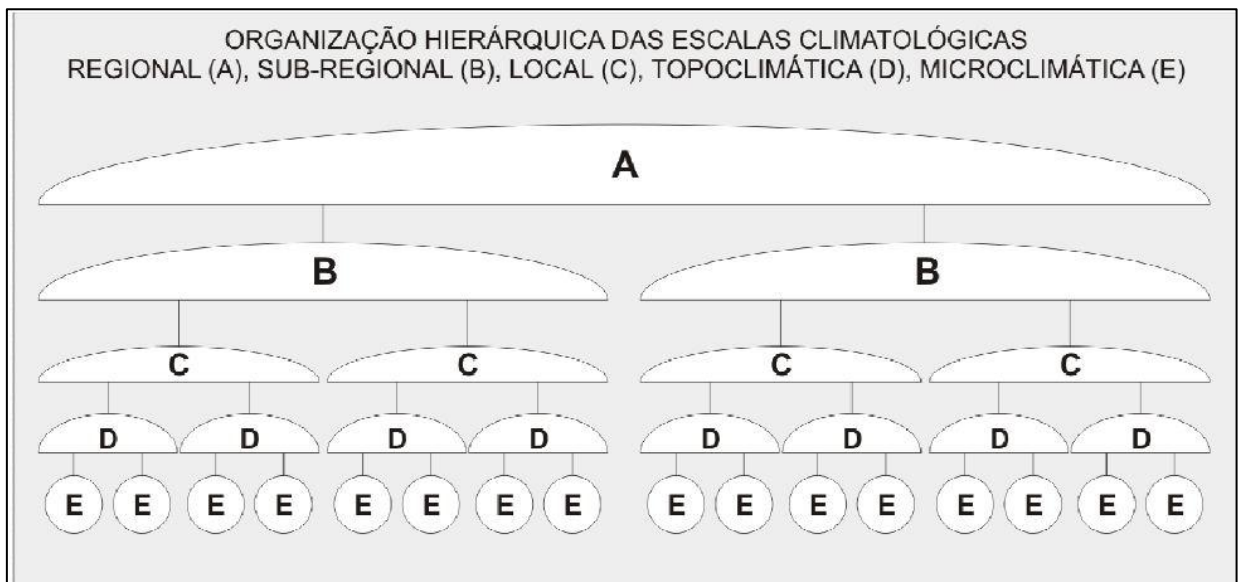
A segunda em nível escalar é o clima Regional que se refere a modificação da circulação geral atmosférica provocada por fatores de superfície, como a distribuição entre as áreas continentais e oceânicas, rugosidades, continentes incluindo altitudes relativas, correntes marítimas e continentalidade/maritimidade. O estudo do clima regional possui uma extensão horizontal que varia entre 150 e 2500 km e verticalmente estão limitados pelos fenômenos que ocorrem abaixo da Tropopausa. Sendo utilizada uma abordagem para a compreensão apoiada no ritmo da variação anual, sazonal e mensal dos elementos do clima que representam o mecanismo de atuação dos sistemas atmosféricos de circulação intermediária (RIBEIRO,1993).

Ainda segundo o autor acima citado, para dar maior sentido geográfico à análise, recomenda-se a pesquisa dos efeitos do impacto do clima regional sobre as paisagens naturais já nesta escala, na economia regional, principalmente no que se refere ao macrozoneamento do

potencial agrícola regional. Assim, há necessidade de se fazer um estudo criterioso dos fatores geográficos naturais que provocam a definição de cada espaço regional, como elemento causal da modificação da circulação geral da atmosfera e geração do clima regional.

Serafini, et al. (2010), ao apresentar uma adequação das escalas climatológicas (Figura 15), para planos de manejo no estudo de caso do parque estadual de Intervales no estado de São Paulo, traz a hierarquia das escalas climatológicas. A fim de salientar que a escala regional não é suficiente para cenários detalhados dos atributos existentes numa área de estudo que esteja enquadrada numa escala local.

Figura 15 - Organização hierárquica das escalas climatológicas



Fonte: (SERAFINI et al, 2010, p. 4278).

Dessa forma, Serafini, et al (2010) estudou além da escala regional (A) e local (C), escala sub-regional (B), topoclimática (D) e microclimática (E), buscando o maior detalhamento das características climáticas. Na escala regional, considerou as características dinâmicas da circulação atmosférica predominante sobre a região de estudo, além dos dados normais climatológicos que pudessem ser cartografados. Na escala Sub-Regional o limite estudado foi o próprio parque e seu entorno, contemplando especificamente a pluviosidade.

Ribeiro (op.cit) considera a escala Mesoclima ou Clima Local como a mesma escala, porém, veremos que Monteiro (2003) classifica as duas como diferentes escalas. O primeiro autor, considera a escala local como sendo a modificação da circulação regional provocada pela

superfície terrestre. O relevo e a altimetria são alguns dos parâmetros que provocam a variação no clima regional, gerando as feições dos climas locais. O clima local restringe a camada limite planetária entre 1200 e 2000 metros de altura. A permanência dos estados atmosféricos nessa escala pode perdurar de 12 horas a uma semana. O autor ainda coloca que:

A ação antrópica na “criação” de climas locais pode ser vista sob dois aspectos que atuam, geralmente, em conjunto. De um lado, deve-se considerar a capacidade que tem a sociedade em alterar a cobertura do solo, substituindo a vegetação natural por agricultura e por edificações. Por outro lado, são cada vez mais significativas as alterações provocadas pelas atividades humanas na composição da atmosfera, introduzindo gases e materiais particulados que irão intervir no balanço de radiação e na retenção de umidade e calor sensível na atmosfera, particularmente na Camada Limite Planetária, com altura máxima variável entre 1200 e 2000 metros (RIBEIRO,1993, p. 291),

Seguindo o pensamento do autor, cabe ressaltar que é sobre as cidades que se dá a maior razão de deterioração da qualidade do ar e do clima, uma vez que se combinam os dois grupos de fatores anteriormente comentados: a extrema artificialização da cobertura do solo (inclusive aumentando a sua rugosidade) associada à emissão de poluentes. Dessa forma, o clima urbano está intimamente ligado à escala mesoclimática ou local, desde que a cidade possua tamanho suficiente para se diferenciar do espaço não urbano circundante e atividade poluente significativa.

Em sua proposta, Monteiro (2003), diferente de Ribeiro (1993), a análise da escala mesoclima é diferente de Clima Local. Assim, para Monteiro (2003, p.28) mesoclima “é uma subdivisão, uma parte (não obrigatoriamente metade, mas forçosamente fração) da unidade básica” que por sua vez seria o clima local. Portanto, como apresentado no quadro 2, mesoclima seria o clima de uma cidade grande, bairro ou o subúrbio de uma metrópole (clima local).

Monteiro (2003), em seus estudos sobre o clima urbano, faz um enfoque especial na escala local. Com isso, o autor relacionou as unidades climáticas com as ordens de grandeza taxonômicas das formas de urbanização, onde o autor inclui também técnicas de observações meteorológicas e análises geográficas de diferentes grandezas.

A escala topo-clima corresponde a uma derivação do clima local devido à rugosidade do terreno, a diferente energização do terreno no período diurno para as diversas faces de exposição solar. A extensão horizontal dessa escala se restringe à forma de relevo ou ao aumento da vertente. Dessa forma, a extensão horizontal dos topo-climas restringe-se à forma do relevo ou ao tamanho da vertente que lhe dá origem, podendo variar entre 0,5 e 5 quilômetros e interferir na estrutura vertical da atmosfera em até 50 a 100 metros de altura (RIBEIRO, 1993).



Quadro 2 - Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o “Clima Urbano” com destaque para categoria em estudo

Ordens de grandeza (Cailleux & Tricart)	Unidades de superfície	Escala Cartográfica de tratamento	Espaços climáticos	Espaços urbanos	Estratégias de abordagem		
					Meios de observação	Fatores de organização	Técnicas de análise
II	(Milhões de Km)	1: 45.000.000 1: 10.000.000	Zonal	-	Satélites Nefanálises	Latitude / Centros de ação atmosférica	Caracterização geral comparativa
II	(Milhões de Km)	1: 5.000.000 1: 2.000.000	Regional	-	Cartas sinóticas Sondagens aerológicas	Sistemas meteorológicos (circulação secundária)	Redes Transectos
IV	(Centenas de Km)	1: 1.000.000 1: 500.000	Sub-regional (fácies)	Megalópole Grande área metropolitana	Rede meteorológica de superfície	Fatores geográficos	Mapeamento Sistemático
V	(Dezenas de Km)	1:250.000 1:100.000	Local	Área metropolitana na Metrópole	Posto meteorológico / rede complementar	Integração geológica Ação antrópica	Análise Espacial
VI	(centenas de metros)	1:50.000 1:25.000	Mesoclima	Cidade grande, bairro ou subúrbio de metrópole	Registros móveis / Episódios	Urbanismo	Especiais
-	(Dezenas de metros)	1:10.000 1:5.000	Topoclima	Pequena cidade/ fácies de bairro/subúrbio de cidade	(Detalhe)	Arquitetura	
-	metros	1:2.000	Microclima	Grande edificação/ habitação/ setor de habitação	Bateria de instrumentos Especiais	Habitação	

Fonte: (MONTEIRO, 2003, p.29).

Os dados necessários para o estudo dos topoclimas devem ser gerados em estações não convencionais, fixas ou móveis, objetivando a elaboração de transectos e perfis geocológicos. As observações devem ser episódicas e as referidas estações devem ser, preferencialmente, automáticas e com os seus sensores conectados em terminais de registro eletrônico de informações na escala horária. Devem-se valorizar os registros relacionados ao balanço de energia, à transferência de umidade por meio do sistema solo-planta-atmosfera e de massas de ar, sempre numa perspectiva da variação do tempo diurno e noturno (RIBEIRO, 1993).

Serafin, et. al (2010), busca entender a escala topoclimática por meio da relação existente entre os atributos climatológicos e as características topográficas, a partir de dados registrados e armazenados nos equipamentos instalados em trabalhos de campo.

O Microclima é definido por meio da magnitude das trocas gasosas e energéticas entre as feições dispostas na superfície terrestre e o ar que as envolve. A microrrugosidade, a cor e a textura da superfície, as edificações e a vegetação são alguns dos elementos que comprovam a diferenciação de magnitude das trocas energéticas e gasosas que vão modificar o comportamento do ar circundante gerando o microclima (RIBEIRO, 1993).

Uma questão levantada pelo autor acima citado é a forma em que se mede o tamanho do volume do ar circundante e a superfície que deve ser considerada, a qual é modificado pela ação da mesma superfície. Ainda coloca, que o estabelecimento de limites para o microclima não traz resultados perceptíveis, uma vez que o seu tamanho vai depender da natureza da superfície que lhe dá origem. Dessa forma, sua concretude pode ser pesquisada a partir do balanço de energia da referida superfície.

Os registros necessários para o estudo dos microclimas devem ser obtidos por meio dos aparelhos de alta sensibilidade e precisão, pois devem ser pesquisadas variações em tempo medido em minutos, ou mesmo em segundos. O tratamento dos dados, por sua vez, deve ser estudado no sentido do entendimento dos microclimas, na perspectiva da climatologia geográfica, deve conduzir à definição de mosaicos de microclimas controlados pela organização interna dos espaços agrícolas e dos espaços urbanos e sua repercussão no ar envolvente, por meio dos processos de trocas gasosas e energéticas (RIBEIRO, 1993).

Tendo em vista os aspectos apontados por Ribeiro (1993), Monteiro (2003) e Serafini (2010) esta pesquisa se enquadra na escala de abordagem Regional e Subregional, pois busca compreender os elementos do clima (precipitação) na sua variação anual e sazonal que representam o mecanismo de atuação dos sistemas atmosféricos de circulação intermediária. Atrelado ainda, na economia regional, principalmente no que se refere ao macrozoneamento do potencial agrícola regional.

Na abordagem da escala sub-regional, a pesquisa prevalece-se da proposta de Monteiro (2003), a qual salienta que a pesquisa na escala sub-regional tem como meios de observação as redes meteorológicas de superfície, que na pesquisa serão utilizados postos pluviométricos, os fatores geográficos na organização (distribuição) dos elementos e possui o mapeamento como uma técnica de análise.

### 3.3 Circulação secundária da atmosfera sobre o Rio Grande do Sul

O movimento atmosférico é classificado em três escalas, conforme Ayoade (1983). A primeira é a circulação primária ou circulação geral da Atmosfera, que possui padrões em larga escala de ventos e pressões que se mantêm ao longo de um ano ou se repetem sazonalmente. A circulação geral da atmosfera também determina o clima no mundo. A segunda escala é a circulação secundária atmosférica que está inserida dentro da circulação geral. Nessa escala estão inseridos as depressões e os anticiclones das latitudes médias e das várias perturbações tropicais, a maioria sendo de existência breve e se movem rapidamente.

A terceira e última escala da circulação geral da atmosfera é a denominada circulação terciária, à qual se destinam os sistemas de ventos locais, como brisas terrestre e marítimas, ondas de sotaventos, entre outros. Esses sistemas são localizados, sendo controlados por fatores locais e o seu período de existência é curto em relação aos sistemas da circulação secundária (AYOADE, 2003). Para o autor, na circulação secundária, como referido anteriormente, se encontram as depressões (ciclones) e os anticiclones. Os ciclones são pressões atmosféricas na qual há uma baixa pressão central em relação as áreas circundantes. Os anticiclones são as altas pressões em relação às áreas no seu entorno. No hemisfério sul, os ciclones têm a circulação em torno seu centro no sentido horário, já os anticiclones têm a circulação em torno do seu centro no sentido anti-horário.

Os anticiclones permanentes e semifixos oceânicos são os centros de ação positivos de origem dinâmica e estão associados à faixa de altas pressões subtropicais do hemisfério austral. Dos centros de ações positivos (anticiclones) são oriundas as massas de ar. Já os centros negativos ou depressionários exercem sobre o deslocamento das massas de ar (MONTEIRO, 1963).

Para Ayoade (2003), os anticiclones estacionários, são anticiclones quentes, que por sua vez são mais estáveis e de movimentação lenta. Por outro lado, os anticiclones móveis são frios, sendo caracterizados por mover-se rapidamente, possuindo curta duração e são poucos profundos. Os anticiclones frios formam-se nas zonas de altas latitudes, no ar polar continental ou ártico, já os anticiclones quentes ocorrem na zona subtropical, especialmente sobre os oceanos. Os anticiclones móveis são células de alta pressão que estão associados, geralmente, a tempo bom e calmo.

Segundo Monteiro (1963), no Brasil Meridional tem a atuação direta ou indireta de três anticiclones, sendo eles o Anticiclone Pacífico, Anticiclone Atlântico e Anticiclone Migratório

Polar. O anticiclone do Pacífico e Atlântico possuem uma pressão nos seus centros de 1021 mb em janeiro e 1024 mb em julho. Já a latitude do seu centro do anticiclone pacífico varia de 32° S em janeiro e 26° S em julho, e o anticiclone Atlântico varia de 28° S em janeiro e 23° S em julho.

Os Anticiclones Pacífico e Atlântico são os centros de divergências atmosféricas que constituem as fontes das principais massas de ar tropicais marítimas, este último afetando de modo mais especial o Brasil, pois tende a avançar sobre o país graças à sua movimentação no sentido anti-horário. O anticiclone migratório polar, como o nome já diz, é móvel e se origina “graças ao acúmulo de ar, oriundo dos turbilhões polares sobre os oceanos, nas latitudes subpolares” (MONTEIRO, 1963, p. 122).

O anticiclone Atlântico, tem seu centro de ação no oceano atlântico, suas pressões máximas entre 1020- 1023 mb. Desse centro divergem os ventos alísios que atingem o leste do continente sul-americano. Durante o verão os alísios, na costa do Brasil, tomam as seguintes direções: SE e E ao norte do paralelo de 10°S desta latitude até 35° a 40° latitude S (NIMER, 1979).

O anticiclone migratório polar, ao deslocar-se sobre o continente encontra a cordilheira dos Andes, tida como uma barreira física, onde é bifurcado em dois ramos, enquanto um segue pelo Oceano Pacífico, enquanto o outro pelo oceano Atlântico e com isso irão formar duas massas de ar (MONTEIRO, 1963).

As depressões que influenciam o clima do Rio Grande do Sul são a depressão do Chaco e a depressão do mar de Weddel. A primeira, um centro negativo, é de origem térmica e se define principalmente no verão. Sua gênese está ligada à acentuação das condições de frontogêneses na Frente Polar Atlântica. No inverno, o centro depressivo se reduz a uma simples “calha” que se define em função de vários outros centros depressivos que estão localizado no interior do continente, juntamente com a frente (MONTEIRO, 1963).

Estes deslocamentos das massas de ar na América do Sul recebem a atuação constante dos anticiclones móveis, também chamados de migratórios, que vem das altas latitudes, das regiões adjacentes ao polo sul (Figura 16).

Para Nimer (1979) a baixa do Chaco está ligada as ondulações da Frente Polar que se verificam nas latitudes médias e a subsequente dissipação do setor setentrional dessa frente, sempre que esta, vinda de SW, transpõe a cordilheira dos Andes. Entretanto, o referido autor coloca que este mecanismo não é único fator ligado a gênese desta baixa: a fusão de várias linhas de depressão das baixas latitudes do interior do Brasil, se não entram na sua origem,

certamente concorrem para o seu fortalecimento. Outro fator que certamente concorre para a existência deste centro negativo é o forte aquecimento do interior do continente.

Figura 16 - Circulação atmosférica na América do Sul



Fonte: (Monteiro, 1963, p.56).

Nimer (1979) também coloca que o domínio dessa baixa determina, geralmente, tempo bom por vários dias. Em virtude de sua origem continental confere com a pouca umidade específica. E também acima dessa baixa existe, quase sempre, uma célula anticiclônica, que impede a continuidade da ascendência de suas correntes convectivas nos níveis superiores. Para

a Região Sul do Brasil, a baixa do Chaco adquire bastante importância pois está ligada a verões poucos chuvosos.

Para Monteiro (1963, p.122), a depressão do Mar de Weddel, é uma célula austral das baixas dinâmicas da faixa subpolar. Quando ela é reforçada, por meio da ligação com o eixo da Frente Polar Atlântica, exerce uma atração entre os sistemas intertropicais em direção ao polo. Posição também sustentada pelos estudos de Nimer (1989), a qual robustece que:

A baixa do mar de Weddell é uma das várias células da zona de baixa pressão subpolar, sendo oriunda da frente polar Atlântica. Dessas ondulações frontais formam-se profundos ciclones. Sua propagação ocorre para SE, esse ativo ciclone entra em total estado de oclusão, cerca do Mar de Weddell. Desse sucessivo e constante processo dinâmico fundamenta-se a referida depressão (NIMER,1989, p.205).

Quando este fenômeno no mar de Weddell é reforçada por meio da ligação com o eixo meridional da frente polar ocorre a atração dos sistemas intertropicais em direção aquela célula, ou seja, na direção do polo. Quando ocorrem essas situações, na região sul sopram ventos de NE do anticiclone do Atlântico Sul, trazendo tempo bom e brusco aquecimento conforme salienta Nimer (1989).

As massas de ar que tem atuação no Rio Grande do Sul são predominantemente de origem marítima, com um número muito mais elevado e com uma influência bastante pronunciada no continente. Segundo Monteiro (1963, p.123), “as três principais massas de ar da vertente atlântica, pelas suas trajetórias e orientação do relevo, tem atuação saliente na Região Sul”.

A Massa Tropical Atlântica (MTA) individualiza-se do anticiclone semifixo do Atlântico Sul. É uma massa quente e úmida e com tendência à estabilidade pela subsistência superior do Anticiclone Atlântico. O anticiclone, com seu movimento anti-horário, ajuda a massa a avançar pelo continente (MONTEIRO, 1963).

Segundo Nimer (1979), a MTA forma-se na região marítima quente do Anticiclone Sul, recebendo por isso muito calor e umidade na superfície. O ar é muito uniforme na superfície, com muita umidade e calor, porém sua uniformidade não se estende a grandes alturas porque na parte leste dessa alta subtropical há um persistente movimento de subsidência a uns 500 a 1.000 metros acima do mar, então, esta umidade absorvida do oceano limita-se a camada superficial.

Na parte oeste das altas subtropicais há um ligeiro movimento ascendente com grande mobilidade vertical do ar que eleva a subsidência para acima de 1.500 m. Como consequência,

a umidade absorvida do oceano penetra até grandes alturas tornando o setor ocidental da massa tropical marítima mais sujeita a instabilidade que o setor oriental. Além disso, devido à presença da corrente marítima quente, a massa sofre grande aquecimento na costa da América do Sul, sobretudo no verão, quando é maior a temperatura daquela corrente, tornando-se por isso mais instável (NIMER, 1979).

Outra massa que atua na região sul é a Massa Polar Atlântica (MPA) que é caracterizada por ser uma massa de ar frio, tem sua fonte sobre o Atlântico e sua participação ocorre mais no inverno. A orientação da cordilheira dos Andes cria duas massas, uma é a Polar Atlântica (MPA) e a Polar Pacífica (MPP) que ao avançar na vertente ocidental dos Andes, a MPP encontra a Massa Tropical Pacífica (o que gera a frontogêneses na Frente Polar Pacífica), assim estabelecendo um fluxo dirigido se SW para NE, ao transpor a cordilheira vem reforçar a MPA. Quando a MPP reforça MPA a última fica mais potente nos seus avanços do sul para o norte (MONTEIRO, 1963).

Ainda segundo o mesmo autor, a Massa Tropical Continental (MTC) que tem ocorrência mais restrita ao verão quando a depressão do Chaco, dinamizada pela Frente Polar se sobrepõe a uma bolsa de ar frio, na circulação superior. Assim:

Sua origem é da zona baixa, quente e árida, a leste dos Andes e ao sul do trópico. A massa também é oriunda da frente polar pacífica, cujo ciclone se move para sudeste ocluindo depois de transpor os Andes, onde sofrem efeito de dissecação adiabática. Esse fato ligado à grande insolação do solstício de verão, deve contribuir para a elevada temperatura e secura da massa. A depressão térmica do Chaco se constitui assim em fonte para a mTc. (MONTEIRO, 1963, p.11).

Nimer (1979), também coloca que a MTC adquire maior importância no período de verão. Sua região de origem é na estreita zona baixa, quente e árida, a leste dos Andes e ao sul do trópico. Sendo oriunda da frontólise na Frente Polar Pacífica, cujos ciclones se movem para sudeste ocluindo depois de transpor os Andes, onde sofrem efeito de dissecação adiabática. Esse fato, ligado à grande insolação do solstício de verão, deve contribuir para a elevada temperatura e a secura da massa. A depressão térmica do Chaco se constitui a fonte da MTC, a qual é constituída por uma circulação ciclônica na superfície, de forte convergência. Entretanto, sua baixa umidade aliada à forte subsidência é responsável por um tempo quente e seco (NIMER, 1979).

Entre duas massas de ar ou entre duas ou mais altas pressões existe sempre uma zona depressionária que constitui uma descontinuidade, para a qual convergem os ventos das massas ou das altas pressões. Nessas descontinuidades os ventos convergentes ou ciclônicos tornam o

tempo instável e geralmente chuvoso. Esses fenômenos são móveis e por sua estrutura e deslocamento, são denominados de correntes de circulação perturbadas. Dessa forma, sobre o Estado são duas as correntes perturbadas que atuam, sendo as Frentes Polares (FP) e as Instabilidades Tropicais (IT) (correntes de oeste) (NIMER, 1979).

Na linha de choque, entre duas massas de temperatura e componentes diferentes forma-se uma superfície de descontinuidade térmica que denominamos Frente. Uma frente ao longo da qual ar frio substitui o ar quente, chama-se Frente Fria. Enquanto a Frente Quente é aquela ao longo da qual o ar frio é substituído por ar quente (NIMER, 1979).

Monteiro (1963), salienta que a região sul, por sua posição latitudinal, é afetada pela Frente Polar, que consiste em uma faixa planetária de descontinuidade gerada pelo choque entre os sistemas tropicais e polares. O referido autor também coloca que a Frente Polar, no continente sul-americano compreende nos dois ramos, o Atlântico e do Pacífico, conforme observado na Figura 5.

Na primeira trajetória, a oeste dos Andes, os ventos frios da massa polar no encontro com os ventos quentes da MTP que constitui uma zona de FG denominada Frente Polar Pacífica. No verão essa trajetória é muito comum, pois com o enfraquecimento do anticiclone do Pacífico e o afastamento inicial da FPP do continente americano, o ar polar encontra menor resistência em sua marcha para o norte. Já no inverno, com o anticiclone do Pacífico avança para o litoral e a FPP sendo muito mais ativa, as massas frias percorrem de preferência as zonas a leste da cordilheira depois de transpô-la em sua extremidade meridional, seguindo novo percurso (MONTEIRO, 1963).

Ainda segundo o autor acima citado a Frente Polar Atlântica (FPA) é móvel, graças às condições geográficas da vertente atlântica da América do Sul. Sendo assim, o seu eixo principal pode ser localizado, medianamente, pela altura do Rio da Prata. Sua potencialidade de avanço na zona intertropical é dada pelas suas condições de frontogeneses<sup>1</sup> (FG) as quais estão intimamente relacionadas à Frente Polar Pacífica (FPP).

A FPA está ligada a descontinuidade térmica, que é oriunda do encontro entre os ventos frios da massa polar com os quentes do sistema tropical. Condicionada pelo contraste térmico (continente-oceano) e pela orografia, essa frente divide-se em dois ramos que seguem caminhos distintos: o da depressão geográfica continental (chaco), e a oeste do Maciço Brasileiro; e o do oceano Atlântico, a leste deste Maciço. Em ambos os caminhos para o equador - o continental

---

<sup>1</sup>Frontogeneses (FG) é o contraste das massas acarreta em uma intensificação das frentes. (NIMER, 1979)



e o oceânico - são notáveis o aquecimento inferior, e o aumento da umidade, sobretudo no verão (MONTEIRO, 1963).

No estado do Rio Grande do Sul também são atingidos pelas correntes perturbadas de W, cujas as mesmas ocorrem em meados da primavera e do outono, nestes períodos todo território intertropical brasileiro é periodicamente invadido por sucessivas ondas de ventos de W ou NW trazidas por linhas de instabilidades tropicais (IT). Trata-se de alongadas depressões barométricas induzidas em pequenas dorsais. Uma linha de IT o ar em convergência dinâmica acarreta, geralmente, chuvas e trovoadas, por vezes granizo, e ventos moderados a fortes com rajadas que atingem a 60 a 90 km/hora.

Mais recentemente em seus estudos Rossato (2011), salienta que as gêneses das precipitações no RS estão ligadas aos Sistemas frontais, que estão associados à queda de cerca de 58-77% mm de precipitação registrados durante o ano. Os Sistemas polares respondem por 11-24% das chuvas. Quando se somam estes dois tipos de sistemas, pelo motivo já explicado anteriormente e pelo fato de estarem associados, tem-se valores percentuais que oscilam entre 80-90%. Tal fator então, corrobora a ideia de que as chuvas no RS estão relacionadas ao descolamento de sistemas frontais.

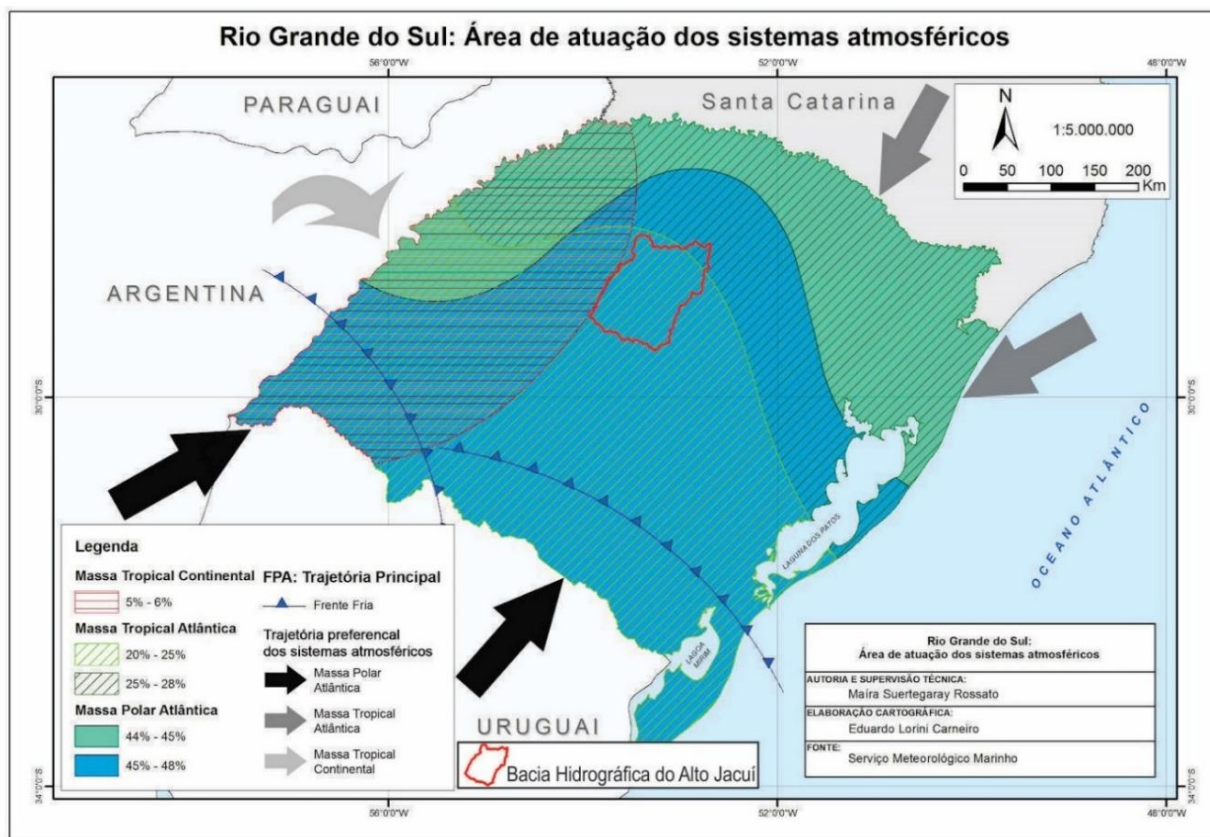
A participação dos sistemas tropicais, na precipitação pluviométrica no estado (Figura 17), são bem menos expressivos, sendo responsáveis por menos de 5% das precipitações que ocorrem. As linhas de instabilidade também têm pouca participação nas chuvas, assim originam apenas 5% das precipitações na maior parte do estado (ROSSATO, 2011).

Para o estado do Rio Grande do Sul, Rosato (2011) mostra que a distribuição da média total da precipitação oscila do sentido norte, mais chuvoso, e sul, menos chuvoso, indicando a influência conjugada dos sistemas atmosféricos, com as formas de relevo, com a altitude e com as correntes marítimas, ou seja:

Os sistemas polares avançam do quadrante sul, logo, mesmo tendo uma atuação bastante uniforme (sua participação mínima é de 44%), são mais frequentes na metade Sul (entre 45e 49 % dos dias do ano) e tem atuação diminuída no NW e NE, onde os sistemas tropicais tem representação um pouco maior (ROSSATO, 2011, p.206).

A área de estudo, em destaque na Figura 17, tem a atuação tanto dos sistemas Polares, quando as Tropicais. Assim, toda a bacia tem a atuação da MPA com participação de 45% a 48% dos dias do ano. Com relação aos sistemas tropicais a região nordeste possui a maior participação da MPA com 25%-28%.

Figura 17 - Atuação dos sistemas atmosféricos no Rio Grande do Sul



Fonte: Adaptado de Rossato, 2011, p.196.

No verão a orientação da entrada dos sistemas frontais se dá pelo ramo litorâneo, devido ao maior aquecimento do continente, a FPA transpõe a cordilheira ainda pelo extremo sul do continente com orientação NW-SSE. Ao transpor os Andes a FP adquire orientação de NW-SE, avançando para NE. Ao alcançar a região do Chaco, o centro de baixa, bastante aprofundado nesta época, impede sua progressão pelo interior. Em contato com a convergência dessa baixa, a FP entra em dissipação, o que se traduz em menor quantidade de dias de chuva.

Ainda no verão, quando há a entrada da FPA pelo oeste do estado, na região do município de Uruguai, o contraste térmico entre o ar quente situa-se sobre esta região e o ar polar que chega é significativo, favorecendo grandes formações de nuvens que geram precipitações intensas, porém, de curta duração. Essa diferença de temperatura entre as massas de ar, faz com que o deslocamento da frente seja mais rápido, o que implica também, em menos dias de chuva. Os sistemas Polares, associados à Polar Atlântica e Polar Pacífica são dominantes em aproximadamente 44-49% dos dias do ano, especialmente no outono e inverno, sendo os maiores percentuais registrados na metade centro Sul do RS (ROSSATO, 2011).

Na sequência aparecem os sistemas tropicais que estão ligados à Tropical atlântica, MTAc e, em menor escala a MTC, os quais atuam principalmente na primavera e verão em cerca de 24-31% dos dias anuais, de forma mais acentuada na parte leste do estado. Os sistemas frontais são responsáveis pelo tipo de tempo em 20-23% dos dias do ano e são mais frequentes e atuantes na primavera e no outono. As linhas de instabilidade representam o restante dos dias, perto de 3% e comuns no verão (ROSATO, 2011).

Os sistemas polares avançam do quadrante sul, logo, mesmo tendo uma atuação uniforme (sua participação mínima é de 44%), são mais frequentes na metade sul (entre 45-49% dos dias do ano) e tem atuação diminuída no NW e NE onde os sistemas tropicais tem representação um pouco maior. A atuação dos sistemas atmosféricos dá a identidade climática ao RS, isto é, os sistemas polares são os grandes dinamizadores dos climas do RS em interação com os sistemas tropicais (ROSSATO, 2011).

### **3.4 Classificações climáticas no Rio Grande do Sul para a bacia hidrográfica do Alto Jacuí**

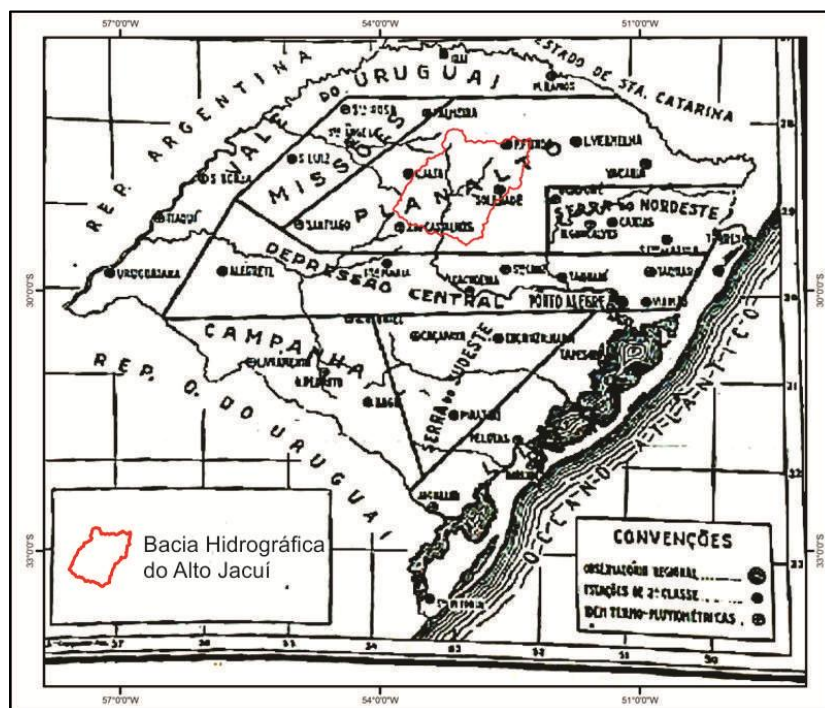
O clima do Rio Grande do Sul já foi e continua sendo estudado por muitos pesquisadores. Nessa perspectiva, são apresentadas as principais classificações climáticas já realizada no estado. Assim, podemos destacar Machado (1950), Moreno (1961), e mais recentemente Rosato (2011).

Machado (1950) classifica o estado do Rio Grande do Sul em oito regiões climáticas, para isso, leva em consideração os fatores que mais influenciam sobre o território, como a altitude e as grandes massa d'água, sendo eles, o oceano, grande lagoas e rios. Dessa forma, as oitos regiões são: Campanha, Serra do Sudeste, Litoral, Depressão Central, Vale do Uruguai, que por sua vez se divide em baixo vale do Uruguai e alto Vale do Uruguai, Missões, Planalto e por fim Serra do Nordeste, onde se destaca a bacia hidrográfica na região climática do Planalto.

Segundo Maluf (2000), as classificações climáticas são importantes como subsídios às atividades que, direta ou indiretamente, dependem do meio ambiente. Possibilitando assim, o conhecimento das características climáticas básicas e gerais de uma região, podendo auxiliar nos processos de seleção de áreas para o planejamento e desenvolvimento de uma determinada região.

A classificação de Machado foi utilizada por Sartori (1993), onde a autora utilizou as regiões climáticas para analisar a distribuição das chuvas no Estado (Figura 18), com isso foi possível observar as regiões climáticas estabelecidas por Machado (1950) e o enquadramento da bacia hidrográfica do Alto Jacuí nas mesmas.

Figura 18- Regiões climáticas do Rio Grande do Sul



Fonte: Adaptado de MACHADO, 1950, p.6.

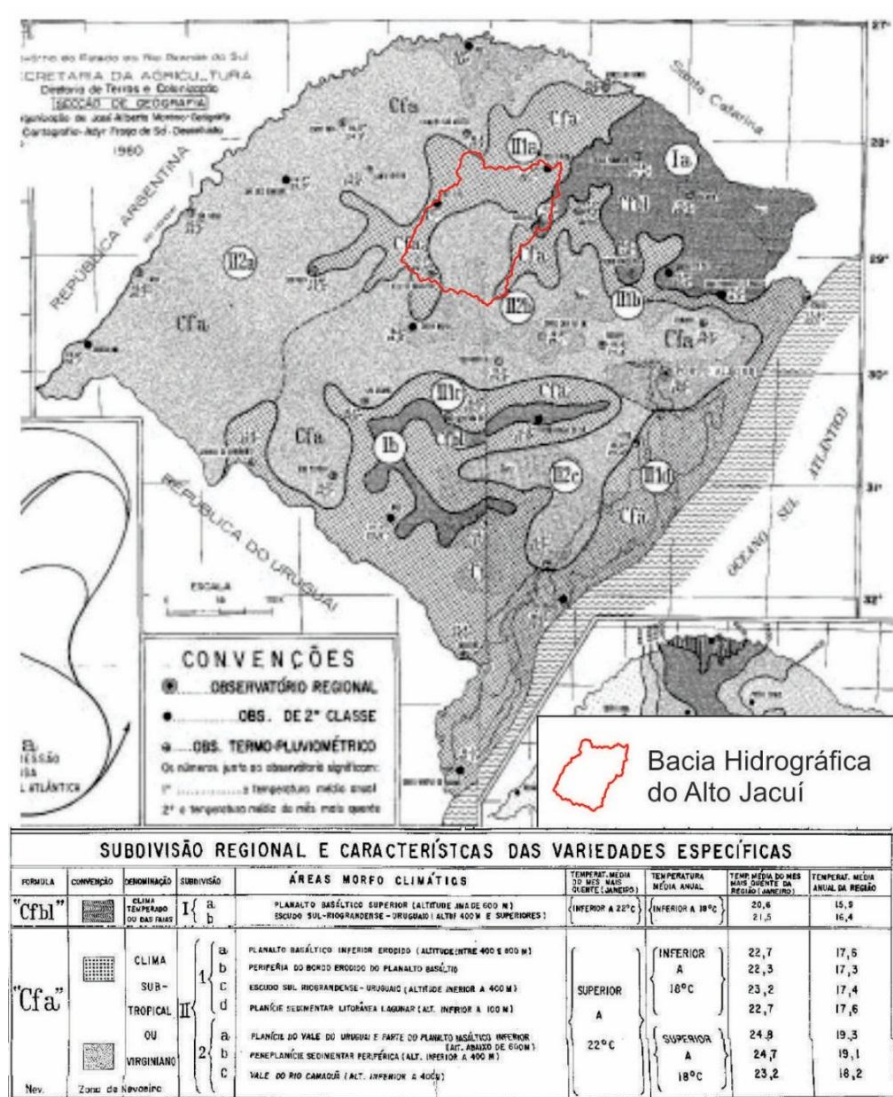
Na sua classificação Machado (1950) salienta que a região climática do planalto, área de estudo desta pesquisa, é a segunda zona mais fria e a região leste é mais úmida que a região oeste. Segue ainda colocando que a temperatura média anual é de  $17,1^{\circ}\text{C}$ , as máximas absolutas apresentam valores superiores a  $35,5^{\circ}\text{C}$  e os extremos absolutos chegaram a máxima de  $39,4^{\circ}\text{C}$  e a mínima de  $-8,5^{\circ}\text{C}$ .

Para o autor, as normais de chuva são superiores a 1550 mm e inferiores a 2050 mm. O número de dias de chuvas ao ano, varia de 84 a 111 dias. Os normais mensais de chuva variam de 100 mm a 200 mm. Essa região faz parte do regime de chuva de inverno (27%), exceto o extremo oeste que obedece ao regime de chuva de outono (27%). Assim, para a região climática do Planalto a velocidade média geral dos ventos variam entre 2 a 4 m/s, sendo predominante os ventos do quadrante norte, com exceção da metade oeste que se acentua o domínio dos ventos

de sudeste. A formação de nevoeiro ocorre principalmente na metade leste. As ocorrências de geada são abundantes, na região oeste da região do Planalto formam-se de abril a novembro e no leste de março a dezembro. A precipitação de neve é frequente somente no extremo leste. A região também é muito atingida por ondas de frio e raramente afetada por ondas de calor.

Moreno, em 1961, procurou estabelecer uma nova subdivisão das áreas morfoclimáticas do Rio Grande do Sul. Para tanto apresentou uma nova classificação baseada no sistema de W. Köppen. Dessa forma, o estado do Rio Grande do Sul fica dividido em duas áreas climáticas “Cfb” ou I e “Cfa” ou II, numa classificação geral. Na Figura 19, é possível observar a classificação proposta pelo autor e em destaque a área de estudo.

Figura 19 - Classificação climática proposta por Moreno (1961)



Fonte: Adaptado de Moreno, 1961, p. 20.

As diferenças de relevo mostram, principalmente, que as áreas da classe II possuem maiores variações considerando-se as médias anuais de temperatura. Dessa forma, procurou-se outro fator que pudesse, aproveitando para a divisão geral, estabelecendo novos subtipos climáticos no estado. Assim, o autor utilizou a isoterma anual de 18°C como critério para subdivisão das áreas “Cfa”. Não se subdividiram as áreas “Cfb” por já serem descontínuas e possuírem menor amplitude térmica.

A área de estudo está inserida nos climas Cfa Ia, Cfa Iib e uma pequena área na região a leste no clima Cfb Ia. Assim, os climas que predominam na bacia hidrográfica, segundo a classificação de Moreno (1961), são o Cfa Ia, mais na região oeste e norte a bacia, e o Cfa Iib mais na região centro sul. Conforme a classificação de Moreno (1961) a região de clima Cfa Ia possui a temperatura média anual inferior a 18°C, sendo que as altitudes são compreendidas entre 400m e 800m referente ao Planalto Basáltico: inferior erodido.

As características gerais da área “Cfa” ou Iib são temperaturas médias do mês mais frio compreendida entre 3° e 18°C e temperatura média do mês mais quente superior a 22°C. Já as características das áreas de “Cfb Ia” ou Ia são com temperaturas médias do mês mais frio compreendida entre 3 e 18°C e temperatura média no mês mais quente inferior a 22°C, cuja altitude é superior a 600 m.

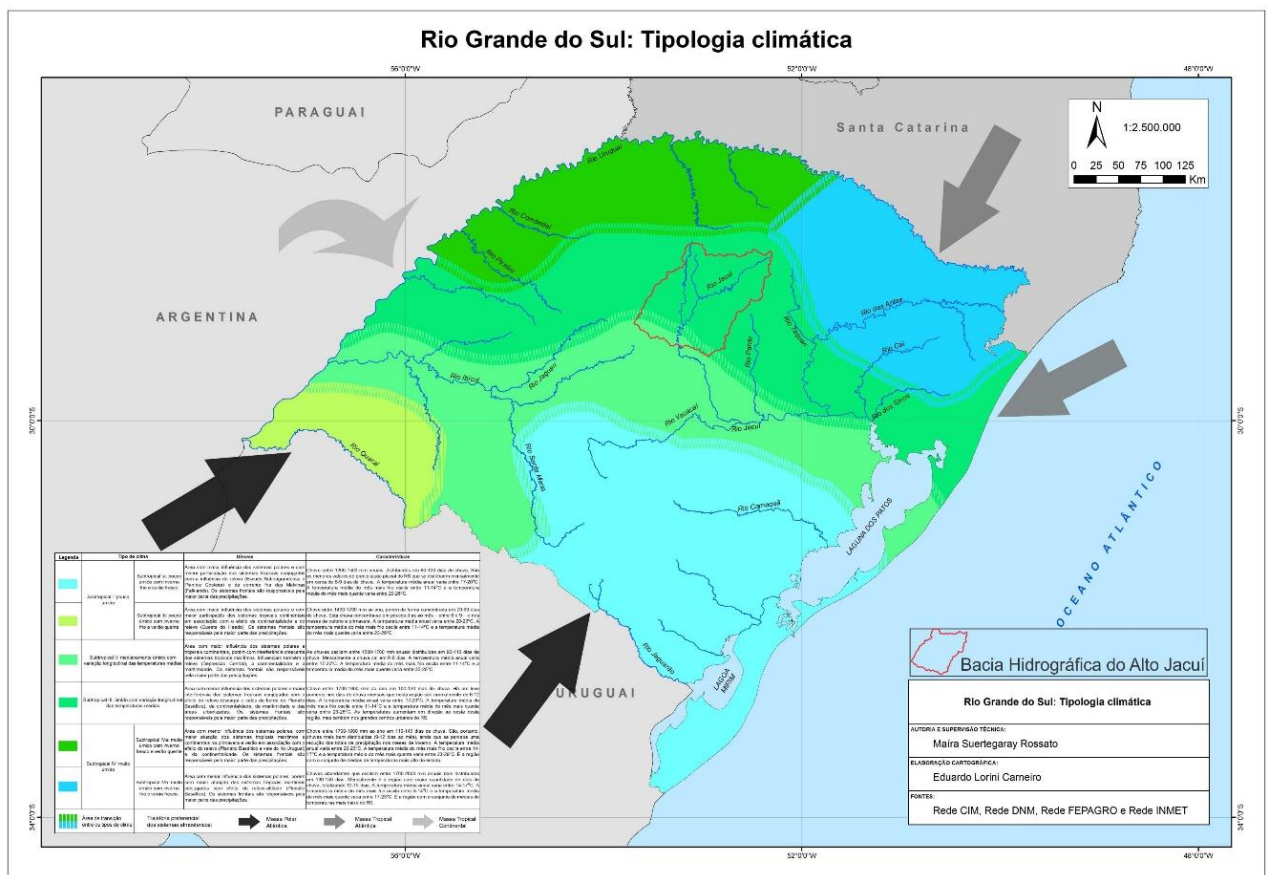
A mais recente classificação climática do Rio Grande do Sul é proposta por Rossato (2011). Em sua classificação, a autora considera a gênese (dinâmica) e a variabilidade dos elementos climáticos e os fatores geográficos, como relevo, altitude, maritimidade, continentalidade, correntes e urbanização e com isso, apresentou quatro tipos climáticos principais para o RS, sendo eles, Subtropical I – Pouco Úmido, Subtropical II: Medianamente Úmido com Variação Longitudinal das Temperaturas Médias; Subtropical III: úmido com variação longitudinal das temperaturas médias e Subtropical IV- muito úmido, sendo dois destes subdivididos em 2 sub-regiões (Subtropical Ia- Pouco Úmido com inverno frio e verão fresco, e Subtropical Ib – Pouco úmido com inverno fresco e verão quente, e Subtropical IVb – Muito Úmido com inverno frio e verão fresco.

Levando em consideração estas características, define-se que a área de estudo está localizada em dois diferentes climas, dos quais o clima subtropical II e subtropical II, cujo o segundo abrange maior área. Na Figura 20, é possível observar a espacialização da classificação climática do RS proposta por Rossato (2011) e em destaque a bacia hidrográfica do Alto Jacuí. Segundo Rossato (2011) o clima subtropical II é considerado medianamente úmido com variação longitudinal de temperatura média. Nessa área possui a participação dos sistemas



polares e tropicais continentais, porém com interferência crescentes dos sistemas tropicais marítimos. O clima também é influenciado pelo relevo (depressão central), a continentalidade e a maritimidade, cabe ressaltar que os sistemas frontais são responsáveis pela maior parte das precipitações. Este clima caracteriza-se por chuvas de 1500 mm a 1700 mm anuais que são distribuídas em 90 a 110 dias de chuva, a variação mensal de dias de chuva varia de 6 a 9 dias de chuvas. A temperatura média anual varia entre 17°C a 20°C, a temperatura média do mês mais frio oscila entre 11°C a 14°C e a temperatura média do mês mais quente varia entre 23°C a 26°C.

Figura 20 - Classificação climática do Rio Grande do Sul proposta por Rossato (2011)



Fonte: Adaptado de Rossato, 2011, p.20.

O clima subtropical III, ainda conforme a mesma autora, é encontrado na faixa localizada na escarpa do Planalto Basáltico até o litoral Norte. Essa região apresenta menor influência dos sistemas polares (44% dos dias do ano) e maior interferência dos Sistemas tropicais continentais na região oeste, cerca de 5% e marítimos na metade leste (25%). Estes

conjugam-se como o efeito do relevo (escarpa) e vales da borda do Planalto Basáltico, da continentalidade, da maritimidade e das áreas urbanizadas, os sistemas frontais são responsáveis pela maior parte das precipitações e atingem a região em 20% a 23% dos dias anuais.

O mesmo estudo, acima citado, também revela que o clima subtropical III é úmido com variação longitudinal de temperaturas médias, tem sua área com menor influência dos sistemas polares e maior interferência dos sistemas tropicais conjugados com o efeito do relevo (escarpa e vales da borda do Planalto Basáltico) da continentalidade, da maritimidade e das áreas urbanizadas. Os sistemas frontais são responsáveis pela maior parte das precipitações.

Por fim, o clima subtropical III é caracterizado por chuvas anuais entre 1700 mm a 1800 mm. No ano ocorrem de 100-120 dias de chuvas. Há um leve aumento nos dias mensais de chuva sendo normalmente de 9-12 dias. A temperatura média anual varia entre 17 °C a 20°C. A temperatura média do mês mais frio oscila entre 11°C a 14°C e a temperatura do mês mais quente varia entre 23°C a 26°C. As temperaturas aumentam em direção ao oeste desta região, mas também nos grandes centros urbanos do RS (ROSSATO, 2011).

### **3.5 Análises pluviométricas em bacias hidrográficas estudos de caso**

A variabilidade da precipitação pluviométrica vem sendo estudada de diferentes formas pela comunidade científica. Nesse contexto, pretende-se ressaltar os principais trabalhos que foram desenvolvidos recentemente sobre o tema proposto nesta dissertação.

Segundo Salgueiro (2005), os primeiros estudos realizados sobre a variabilidade espacial dos fenômenos naturais, tiveram início no começo do século passado, estando voltados a variabilidade dos atributos dos solos, visando otimizar as práticas agrícolas. Portanto, os estudos sobre a variabilidade da precipitação pluviométrica em nível de bacia hidrográfica visam auxiliar no gerenciamento das bacias hidrográficas e do seu recurso hídrico, fornecendo meios para melhor avaliar os impactos das atividades humanas empregadas.

Para o autor supracitado, sua análise sobre a variabilidade da precipitação pluviométrica na Bacia do Rio Ipojuca em Pernambuco, utilizando a geoestatística e outros métodos empregados na determinação das densidades, números de pluviômetros, interpolação de variáveis, estimativa de precipitação anual média e seguindo as recomendações da Organização Mundial de Meteorologia (OMM), conseguiu identificar que a rede pluviométrica era adequada à aplicação dos métodos testados pelo autor. O procedimento metodológico utilizado, reforçou



os conhecimentos atuais sobre precipitação na bacia. Dos métodos utilizados pelo autor, os geoestatísticos mostraram ser mais adequados, pois além de permitirem a avaliação da precipitação anual média, ainda realizaram as interpolações entre os pontos não amostrados, com o menor erro de estimativa e sua quantificação.

O estudo realizado por Azevedo (2006), sobre a precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do Rio Iguaçu, situada entre os Estados de Paraná e Santa Catarina, buscou discutir a variabilidade da precipitação pluvial na bacia, por meio dos parâmetros estatísticos, como a média, desvio padrão, frequência da precipitação pluvial, análise multivariada e correlação linear. Por meio desses parâmetros estatísticos, o autor confirmou que a pluviometria aumenta da região superior para a região inferior da bacia, possuindo uma concentração desta precipitação na região sudoeste, o que segundo o autor evidencia o efeito orográfico. Assim, foi possível constatar que a variabilidade pluviométrica é influenciada pela ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña, pois os anos de máximos e mínimos, na sua maioria, são considerados anos relacionados a esses fenômenos. A região, a jusante sofre influência do relevo associado com a dinâmica climática das massas de ar e a concentração maior de reservatórios de água.

O trabalho apresentado por Baldo (2006) teve por objetivo analisar a dinâmica climática e a variabilidade pluviométrica buscando determinar um padrão de precipitação predominante em diferentes escalas de análise na bacia hidrográfica do rio Ivaí-PR. Como resultado a autora constatou que a distribuição espacial da pluviosidade, para todas as escalas de análise, apresentou o mesmo padrão. Assim, os valores mais elevados se localizam a montante, devido ao efeito orográfico e ao clima subtropical predominante na região da bacia hidrográfica, enquanto os menores valores foram observados a jusante, por estar em uma área de clima tropical e baixas altitudes. A autora também observou que a participação dos sistemas frontais ocorre com diferentes intensidades no decorrer do ano apresentando uma estreita ligação com a distribuição da pluviosidade e suas irregularidades.

Zandonadi (2009) realizou um estudo sobre a distribuição temporal e espacial das chuvas na bacia do Paraná, utilizando parâmetros estatísticos, tais como a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação, com a finalidade de melhor compreensão da variabilidade anual, sazonal e mensal das chuvas na mesma. O autor também utilizou outras técnicas de análise que serviram para a obtenção dos anos-padrão, mostrando-se eficientes para a classificação dos mesmos. Também foram confeccionados, pelo autor, cartogramas representativos dos totais anuais de chuva em cada uma das 96 quadrículas da bacia

hidrográfica, que auxiliaram na classificação, hierarquização, e seleção dos três anos-padrão mais representativos, sendo eles chuvoso, habitual e seco, dentro do período 1976-2005. Com isso, foram construídos e analisados os histogramas das chuvas diárias, nas 96 quadrículas e em cada um dos três anos-padrão escolhidos, o que possibilitou uma apreciação mais detalhada.

Silveira (2012) analisou a precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Vacacaí/RS por meio de aplicações de modelos estatísticos e dividiu a pesquisa em três artigos, sendo o primeiro destinado à homogeneidade dos dados de precipitação pluviométrica registrados na bacia e no seu entorno, o segundo consiste na análise das médias e da variabilidade da precipitação pluviométrica na área e entorno da bacia e o terceiro foi destinado a espacialização dos dados de precipitação pluviométrica na área da bacia hidrográfica do rio Vacacaí, RS. O primeiro passo desenvolvido foi a homogeneidade dos dados meteorológicos, a partir da aplicação de duas técnicas estatísticas distintas, a técnica de dupla massa e os testes de iterações. Foi obtido como resultado, a possibilidade de uso dos dados de todas as estações pluviométricas testadas. O segundo artigo, traz uma visão mais geral das médias dos totais mensais e anuais de precipitação pluviométrica e da sua variabilidade na área de estudo, por meio dos gráficos, também foi admissível relacionar os índices de precipitação com os índices de oscilação decadal do Pacífico, observando a existência de variação temporal das precipitações pluviométricas. Enquanto que em seu terceiro artigo, está exposto a representação de forma cartográfica dos valores totais mensais e anuais das precipitações pluviométricas na área da bacia hidrográfica do rio Vacacaí e uma possível influência da altimetria do terreno na distribuição espacial das chuvas.

A bacia hidrográfica do rio Piquiri, no Estado do Paraná, foi estudada por Correa (2013), que analisou a distribuição espacial e a variabilidade da precipitação pluviométrica na bacia. Seu estudo foi baseado na teoria sistêmica e nas condições de troca de energia e matéria em uma bacia hidrográfica. Ao analisar os mapas de isoietas gerados pela interpolação dos dados, foi constatado que os sistemas atmosféricos e o relevo participam ativamente na distribuição anual, sazonal e mensal da precipitação, evidenciando também o efeito orográfico. Nas variações espaciais e temporais das precipitações pluviométricas foi averiguado que ocorre uma diferença entre o sul e sudeste, mais chuvoso em relação ao norte e noroeste da bacia, menos chuvoso. Em relação à disponibilidade hídrica analisada por meio do balanço hídrico climatológico o referido trabalho mostra ainda que, março é o mês com maior deficiência, enquanto maio e outubro os meses de maior excedente hídrico (CORREA, 2013).

Chierice (2013), ao estudar a variabilidade da precipitação pluviométrica na região da bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu, localizada no Estado de São Paulo, identificou que para o período de 1975 a 1999, a distribuição espacial da precipitação pluviométrica apresenta um padrão definido. Dessa forma, os índices pluviométricos mais elevados se localizam a montante, na região Sudeste da bacia, onde estão as maiores altitudes, enquanto os menores índices estavam nas áreas com baixas altitudes mais a jusante, na região Noroeste da mesma.

Já Antunes (2015) analisou a dinâmica espacial e temporal dos eventos intensos de precipitação pluvial na bacia hidrográfica do rio Piracicaba-SP, por meio do método da análise integrada, baseando-se em análise de dados de precipitação, como observações de campo e a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Em seus resultados o autor coloca que a dinâmica climatológica é influenciada pelo relevo, nas médias pluviométricas e também nos casos de eventos de precipitação intensa. Por meio dos mapas constatou que os valores mais elevados de precipitação das médias anuais encontram-se na região central e leste da bacia. Em relação aos eventos intensos foi identificado que há tendência de um aumento nas últimas décadas analisadas. Os fenômenos de precipitação intensa estão relacionados, em sua maioria, com os sistemas frontais e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), pois esses sistemas predominaram no verão e primavera, justamente no maior período de ocorrência dos fenômenos de precipitação intensa. O autor também constatou que existe uma relação desses fenômenos com os períodos considerados chuvosos e habitual.

Dessa maneira, foi possível observar as diferentes formas de analisar a distribuição das chuvas em bacias hidrográficas. Assim, pode-se constatar que o comportamento da precipitação pluviométrica em um determinado espaço pode ser influenciado por diversos fatores, com relevo, altimetria, vertentes como bem ressaltado por Machado (1950), Ayoade (2003) Sartori (1993, 2003) Rossato (2011).



## 4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 4.1 A escolha e organização dos postos pluviométricos e consistência do banco de dados

O levantamento dos dados de precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do Alto Jacuí se estabeleceu a partir dos postos pluviométricos controlados pela Companhia Estadual de Energia Elétrica Geração e Transmissão (CEEE-GT) e da Agência Nacional das Águas (ANA), também foram utilizados dados pluviométricos da estação meteorológica da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (Fepagro). Os dados pluviométricos da CEEE-GT e da FEPAGRO foram obtidos por meio do contato eletrônico (*e-mail*), ocasião em que foi solicitada a série histórica disponível em cada posto, localizados na bacia ou próximos a ela. Os dados da ANA foram obtidos por meio do *HidroWeb* ao qual se teve acesso a todos os dados disponíveis dentro e nas proximidades da área desejada.

Utilizou-se para esta pesquisa o limite da bacia hidrográfica do Alto Jacuí disponibilizado pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA, 2010), a qual estão inseridos 42 municípios do estado do Rio Grande do Sul.

A escolha dos postos pluviométricos se estabeleceu com base nos critérios estabelecidos por Chierice e Landim (2014), sendo eles:

- Continuidade das informações nas bases de dados pluviométricos e nos anos;
- Abrangência da bacia hidrográfica de interesse.

A partir destes dados, foram selecionados 27 postos pluviométricos com uma série temporal de 31 anos, de janeiro de 1980 a dezembro de 2010 (Quadro 3), os quais estão localizados dentro e fora da bacia hidrográfica do Alto Jacuí. Para Correa (2013), a escolha de postos no entorno das bacias se faz necessário devido ao método utilizado para a geração dos mapas de isoietas. Onzi (2014), também recomenda o uso de postos nos limites da bacia, pois, segundo o referido autor para calcular a precipitação média de uma bacia hidrográfica em um período histórico faz necessário observar postos pluviométricos dentro do limite da bacia e postos localizados em bacias hidrográficas vizinhas, que influenciam no total precipitado no limite desta.

Quadro 3- Postos Pluviométrico selecionados para a análise dos dados

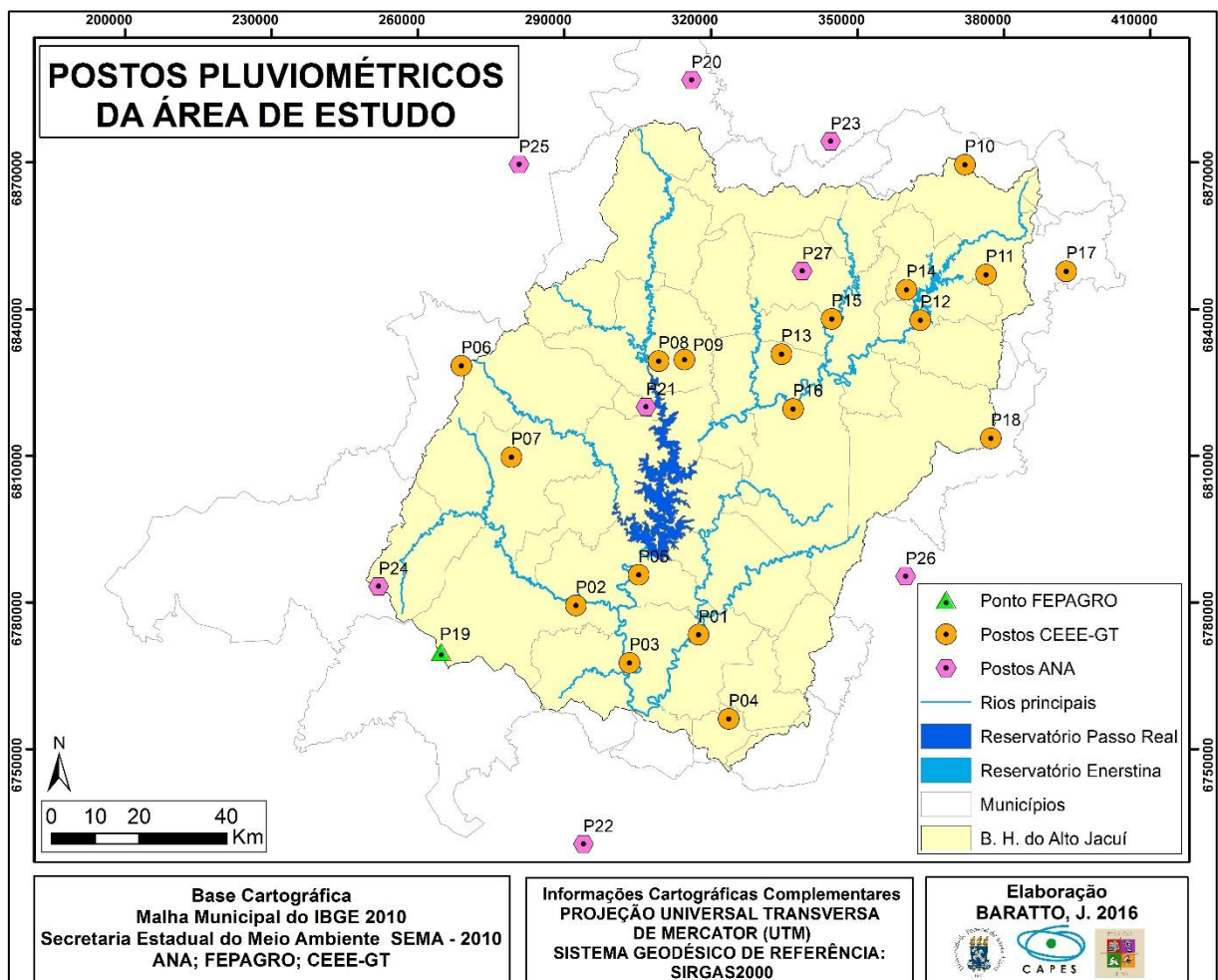
Ponto	Nome	Município	22	UTM X	UTM Y	Altitude
Posto 01	PASSO ESTRELA	ARROIO DO TIGRE	22	298505	6768230	339
Posto 02	USINA IVAI	JÚLIO DE CASTILHOS	22	270537	6774888	290
Posto 03	ITAUBA	ARROIO DO TIGRE	22	282790	6761837	183
Posto 04	COLONINHA	ARROIO DO TIGRE	22	305430	6749052	440
Posto 05	BARRAGEM SALTO GRANDE	ESPUMOSO	22	284870	6781873	279
Posto 06	ESQUINA GAUCHA	CRUZ ALTA	22	244434	6829492	400
Posto 07	TRÊS CAPÕES	CRUZ ALTA	22	255836	6808677	350
Posto 08	PONTE SANTO ANTONIO	IBIRUBA	22	289449	6830557	433
Posto 09	PASSO DO LAGOAO	IBIRUBA	22	295309	6830864	250
Posto 10	PESSEGUEIRO	PASSO FUNDO	22	359235	6875306	540
Posto 11	VILA TRES PASSOS	MARAU	22	364029	6850268	510
Posto 12	USINA ERNESTINA	PASSO FUNDO	22	349113	6839880	500
Posto 13	USINA COLORADO	TAPERA	22	317416	6832156	360
Posto 14	PULADOR	PASSO FUNDO	22	345917	6846805	600
Posto 15	PONTE JACUI	VICTOR GRAEFF	22	328870	6840146	468
Posto 16	PASSO BELA VISTA	ESPUMOSO	22	320080	6819637	408
Posto 17	MARAU	MARAU	22	382408	6851017	512
Posto 18	AULER	SOLEDADE	22	365165	6812958	700
Posto 19	JÚLIO DE CASTILHOS	JÚLIO DE CASTILHOS	22	239564	6764235	514
Posto 20	CHAPADA	CHAPADA	22	296940	6894582	450
Posto 21	SANTO CLARA DO INGAÍ	QUINZE DE NOVEMBRO	22	286573	6820094	390
Posto 22	DONA FRANCISCA	DONA FRANCISCA	22	272278	6720517	25
Posto 23	COLÔNIA XADREZ	CARAZINHO	22	328631	6880609	593
Posto 24	TUPANCIRETÃ	TUPANCIRETÃ	22	225581	6779252	469
Posto 25	CONDOR	CONDOR	22	257582	6875339	440
Posto 26	BARROS CASSAL	BARROS CASSAL	22	345765	6781529	620
Posto 27	NÃO-ME-TOQUE	NÃO-ME-TOQUE	22	322202	6851020	491

Fonte: CEEE-GT (2015), ANA (2015), FEPAGRO (2015).  
Org. Baratto, J.

Conforme o quadro 3, os postos pluviométricos estão inseridos em apenas 17 dos 42 municípios inseridos na bacia. Destes, 10 têm apenas um posto pluviométrico inserido. 4 têm 2 dois postos inseridos no seu território e 3 municípios têm 3 postos inseridos em cada.

Na Figura 21, é possível observar a distribuição dos postos pluviométricos utilizados para a pesquisa. Cabe ressaltar a dificuldade em encontrar dados meteorológicos dentro e nas proximidades da bacia, isto se estabeleceu em virtude de os municípios não possuírem postos pluviométricos ou os localizados não possuírem informações faltantes, o que acarretou na impossibilidade de utilizá-los para a análise pretendida. A numeração dos postos pluviométrico corresponde ao Quadro 3.

Figura 21 -Distribuição dos postos pluviométricos utilizados para a pesquisa



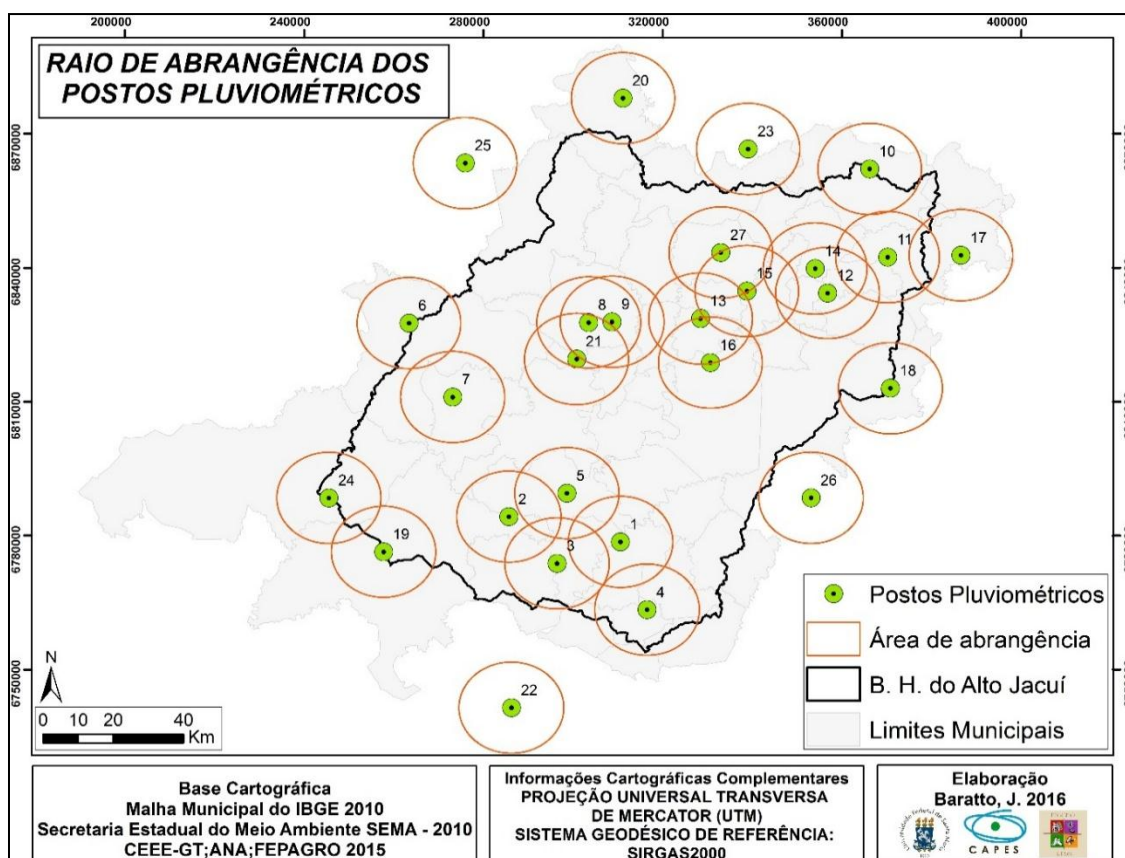
Fonte: Autora.

Dos 27 postos pluviométricos selecionados, 18 são controlados pela CEEE-GT e estão localizados próximos aos rios e reservatórios. Os dados pluviométricos da ANA foram escolhidos conforme a disponibilidade de informações e que abrangesse a bacia, ou próximos dos seus limites, sendo um total de 7 postos selecionados. E por fim, foi selecionado apenas 1

posto pluviométrico da Fepagro, para ter melhor abrangência de dados em toda a bacia e nos seus limites.

A OMM (1994), recomenda que para os postos pluviométricos localizados em áreas planas e no interior do continente a densidade mínima de bases para a análise em climatologia são de 575 km<sup>2</sup>. Assim, o raio de abrangência de cada posto pluviométrico seria de 13,5 km. Assim a área de abrangência corresponde a 53,10% da área total da bacia hidrográfica do Alto Jacuí (Figura 22).

Figura 22 - Área de abrangência de cada posto pluviométrico



Fonte: Autora.

Após a aquisição dos dados, os mesmos foram tabulados e organizados. Nesta fase de análise preliminar dos dados pluviométricos pode-se notar algumas falhas, que para Tucci e Berloni (1993) são justificadas em virtude de erros humanos, pela falta de manutenção no entorno dos postos pluviométricos ou até mesmo por alguma danificação do aparelho registrador.



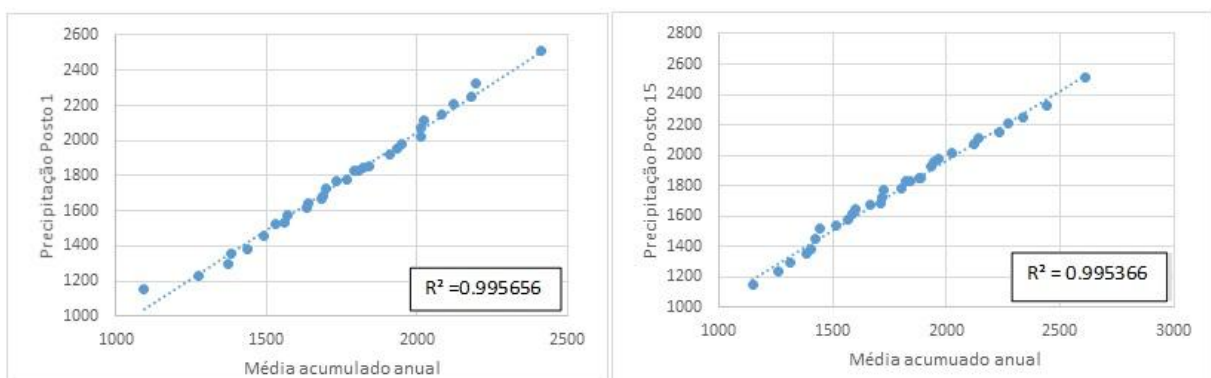
Para o preenchimento das falhas na série histórica da bacia hidrográfica do Alto Jacuí, precisou-se primeiramente identificar o dado faltante em cada posto, ao proceder esta assimilação, o referido mês e ano que não contivesse o registro, precisou-se encontrar o posto vizinho de menor distância, o qual seria coletado o dado real para o preenchimento das falhas do posto faltante.

Zandonadi e Pascoalino (2012), em seus estudos sobre a caracterização da distribuição têmporo-espacial das chuvas nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí, também apresentaram a necessidade de preenchimento das falhas dos dados faltantes e utilizaram como método o dado real dos postos vizinhos mais próximos.

Após concluído o preenchimento das falhas existente no banco de dados, foi utilizada para a consistência dos mesmos a técnica de dupla massa recomendada por Berloni e Tucci (1993). Conforme os autores, o método foi desenvolvido pelo Geological Survey (USA). Esse método consiste em selecionar os pontos de uma região e plotar num gráfico cartesiano onde os valores acumulados são correspondentes ao posto a consistir (nas ordenadas) e de um outro posto confiável adotado como base de comparação (nas abscissas). Como bem salientado pelos autores, uma possibilidade de melhoramento do método está na obtenção dos valores médios das precipitações mensais, ou anuais acumuladas em vários postos da região.

Dessa forma, foram calculadas as médias anuais acumuladas de todos os postos utilizados, para assim aproveitar como base e posteriormente fazer a comparação com os 27 postos pluviométricos. Na Figura 23, tem-se o exemplo da técnica de dupla massa para os postos 1 e 15, tendo como referência a média pluviométrica histórica anual.

Figura 23 – Gráficos representativos da aplicação da técnica de dupla massa dos postos pluviométricos



Fonte: Autora.

Assim, os valores do posto a consistir são proporcionais aos observados na base de comparação, os postos devem-se alinhar segundo uma única reta. A declividade da reta determina o fator de proporcionalidade entre ambas as séries. Silveira (2012) também utilizou a técnica da dupla massa para a consistência do seu banco de dados referente à precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do Rio Vacacaí, RS

Assim, a partir da análise da Figura 24, podemos concluir que os postos 1 e 15 apresentam boa correlação com os valores médios dos 27 postos pluviométricos inseridos dentro e no entorno da bacia hidrográfica. Esse procedimento foi realizado para todos os demais postos pluviométricos e apresentaram elevada correlação, com  $R^2$  variando entre 0,7 e 0,9 (conforme Anexo 1)

Com os dados pluviométricos, realizou-se o tratamento estatístico clássico, assim, para Pires, et al (2011) a Estatística descritiva (ou Clássica) tem por objetivo descrever a realidade observada, usando método numérico e método gráfico. O tratamento estatístico dos dados pluviométricos foi baseado nos trabalhos realizados por Zavattini e Boin (2013) e Chieri e Landim (2014). Sendo efetivada a estatística descritiva básica por meio da tendência central (média aritmética) da variabilidade (desvio padrão e coeficiente de variação).

A média segundo Gerardi e Silva (1981), é encontrada adicionando-se todos os valores e dividindo-se o resultado pelo número total de ocorrências. As medidas de variabilidade ou dispersão que para Gerardi e Silva, (p.50, 1981) estão ligadas “ao grau com que os dados tendem a dispersar-se em torno de um valor central”, será calculado para a bacia o desvio-padrão e o coeficiente de variação (CV), que conforme os referidos autores, esses índices que mostram a variabilidade (ou dispersão) dos dados analisados.

Este desvio-padrão indica a dispersão nas mesmas unidades de medidas dos dados originais, assim, como foi trabalhado com dados em milímetros o fator citado também será nesta unidade. O desvio padrão é a raiz da média dos quadrados dos desvios em relação à média do conjunto, se os valores são próximos uns dos outros, a soma dos quadrados é pequena e, desta forma, também o desvio padrão. E se os valores estão bem distantes uns dos outros, a soma dos quadrados é grande. Assim, quanto maior for o desvio padrão maior será a variabilidade dos dados analisados (GERARDI; SILVA,1981).

Zavattini e Boin (2013) salientam que a CV se trata da medida de dispersão relativa, sendo resultado dado em porcentagem, para Andriotti (2013), a mesma representa a medida que vale o resultado da divisão do desvio-padrão pela média aritmética, cujo o resultado do mostra o quanto maior (ou menor) o desvio-padrão é da média, ressalta ainda que o CV mostra uma

ideia de regularidade ou homogeneidade da amostra. Assim, valores elevados representam amostras com grande heterogeneidade e valores abaixo de cerca de 0,4 refletem homogeneidade da amostra.

Com isso, nos dados pluviométricos totais anuais dos 27 postos pluviométricos foram aplicados o tratamento estatístico com a finalidade de descrever de forma quantitativa os dados pluviométricos.

#### **4.2 Média da série histórica da precipitação pluviométrica**

Nessa etapa analisou a série histórica dos dados de precipitação pluviométrica da área de estudo. Os dados referentes à precipitação da bacia, do período de 1 de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2010 foram transferidos para uma planilha do Programa *Microsoft Office Excel 2013*. Buscou-se estudar a série temporal dos dados pluviométricos para analisar e descrever as variações ao longo do tempo os dados da bacia hidrográfica do Alto Jacuí representando por meio dos gráficos.

No *Microsoft Office Excel 2013* foram obtidas as médias das precipitações pluviométricas para o período mensal, sazonal entre todos os postos pluviométricos no período de 31 anos. E também foram obtidas as médias das precipitações totais anuais por posto pluviométrico. Para representar as estações do ano foram utilizados os meses de dezembro, janeiro e fevereiro como o verão. Março, abril e maio como os meses de outono, e junho, julho e agosto como referente os meses de inverno, conforme sugere Wollmann (2011).

Ainda com o mesmo programa computacional, foram gerados gráficos representativos da média mensal, sazonal e também a média total anual de cada posto pluviométrica da bacia em análise.

Também optou-se por fazer uma análise média mensal entre as 3 décadas, sendo a primeira décadas correspondente aos anos de 1980 a 1989, a segunda entre os anos de 1990 a 1999 e a última de 2000 a 2009. Assim, não foi considerado nesta análise o ano de 2010 para não mascarar as outras duas décadas. Procurou-se fazer essa análise para melhor entender a tendência da série histórica numa escala mensal. Com isso, foi gerado no *Microsoft Office Excel 2013* gráficos da média mensal das 3 décadas afim, de obter uma melhor comparação entre a precipitação média mensal e a média histórica da bacia do Alto Jacuí.

### 4.3 Classificação dos Anos-Padrões

Para isso, foi utilizada a proposta de Tavares (1975), onde o autor coloca de forma estatística a seleção dos anos-padrões. Nessa perspectiva, foram analisados os anos por meio do desvio-padrão, sendo realizada primeiramente a média da precipitação entre todos os anos.

Na classificação dos anos-padrões para a bacia do Alto Jacuí foi necessário organizar os dados em uma planilha do *Microsoft Office Excel 2013*, e posteriormente foi calculado o desvio-padrão a partir da média total da bacia. Os anos que ficaram dentro do desvio padrão (positivo e negativo) foram classificados como anos normais, e os anos acima do desvio serão classificados com anos mais chuvosos, e os anos abaixo do desvio negativos foram classificados como anos menos chuvosos (TAVARES, 1975).

Os anos-padrões foram classificados conforme Wollmann e Sartori (2009), os quais que para o Rio Grande do Sul, os anos-padrões são classificados como ano-padrão habitual, anos-padrão menos chuvosos e anos-padrões mais chuvosos. Nessa perspectiva, foi utilizado o quadro 4 para representar os anos-padrões da bacia.

Quadro 4- classificação dos anos-padrões da bacia do Alto Jacuí

Ano mais chuvoso	$P > P_m + \sigma$		Onde: Pm: Precipitação média $\sigma$ : Desvio padrão p: precipitação
Ano habitual	$P_m - \sigma/2 < P < P_m + \sigma/2$		
Anos menos chuvosos	$P < P_m - \sigma$		

Fonte: Adaptado de ANTUNES (2015 Apud SANTA'ANNA NETO, 1995).

Após classificados dos anos como mais chuvoso, menos chuvoso e ano habitual foram classificados os anos representativos de cada um ano-padrões. Para isso se fez necessário analisar a distribuição mensal das chuvas de todos os anos a fim de se escolher os três mais representativos de uma circulação atmosférica que resultasse em situações habituais, mais chuvosas e menos chuvosas (WOLLMANN E SARTORI, 2009).

Assim, para classificar os anos típicos foi necessário calcular o desvio-padrão para cada mês a partir da média mensal dos 31 anos. Para cada ano foi criado gráficos contento a precipitação mensal e o desvio- padrão positivo e negativo. Foi considerado ano-padrão habitual o ano que apresentou a maioria dos meses com a distribuição da precipitação mensal dentro do desvio-padrão. Já o ano-padrão menos chuvoso foi considerado o ano que teve a

maioria dos meses com a distribuição da precipitação mensal abaixo do desvio-padrão. E o ano-padrão mais chuvoso foi considerado aquele ano que teve a maioria dos meses com precipitação acima do desvio-padrão ou próximo ao desvio padrão positivo. Os gráficos, em forma de barras, foram construídos com auxílio do aplicativo *Microsoft Office Excel 2013*.

#### **4.4 Painel espacial- temporal**

O modelo gráfico do Painel “Têmporo-Espacial”, consiste na geração de uma malha construída por meio da interpolação dos totais pluviais de cada posto pluviométrico, distribuídos dentro do universo temporal em análise (BORSATO, et al. (2012). Essa técnica segundo Zavattini e Boin (2013), consiste na representação baseada no gráfico cartesiano, isto é, em eixos ortogonais. Onde o eixo das abscissas (eixo X) representa o espaço geográfico e o eixo das coordenadas (eixo Y) o tempo (cronológico). E na intersecção desses dois eixos (Z) são lançados os valores de chuva.

Para a elaboração do painel foram utilizados os dados dos totais anuais da precipitação dos 27 postos para o período de 1980 a 2010. A planilha foi elaborada seguindo uma sequência contínua e ordenada dos postos no sentido montante a jusante da bacia conforme orientam Baldo (2006) e Dziubate (2013) pois assim, esse tipo de organização seria a melhor forma de representar a variabilidade pluvial e os padrões predominantes na escala anual e/ou mensal ao longo de todo o eixo da bacia. Com isso, buscou-se a construção do painel para melhor visualizar a dinâmica da precipitação pluviométrica anual da área de estudo.

Para a confecção do painel temporal-espacial, os dados foram lançados em uma planilha do programa Surfer, versão 8, cujas colunas respeitaram o formato de um dos seus métodos de interpolação da krigagem linear. A primeira coluna (X) da planilha Surfer, versão 8, foi montada para representar o eixo das abscissas o que foram distribuídos os postos. Já à segunda coluna (Y) da planilha foram lançados os anos, em tempo cronológico, do período desejado, na última coluna foram inseridos os valores da precipitação anuais (mm) nos respectivos pontos conforme orientações de Zavattini e Boin (2013), a partir da interpolação foi gerado o painel espaço temporal.

#### **4.5 Espacialização dos dados pluviométricos**

Para a espacialização da distribuição pluviométrica da bacia hidrográfica do Alto Jacuí foram organizadas no *Microsoft Office Excel 2013* tabelas referentes a precipitação pluviométrica média mensal, média sazonal e a precipitação total anual de cada ano em análise, além da precipitação sazonal e anual dos anos classificados como anos-padrões que posteriormente seriam importadas ao *Software ArcGIS 10.1*.

Antes de importá-las para o referido software foi necessário determinar o número de classes que cada cartograma. Assim, foi utilizado o método de Sturges para determinar o número de classes, sendo estabelecidas diferentes classe para cada cartograma. Em relação a precipitação pluviométrica mensal foram estabelecidas nove classes com intervalos iguais de 14 mm entre elas, sendo que as classes variam de 94 - 108 mm; 109 - 123 mm; 124 - 138 mm; 139 - 153 mm; 154 - 168 mm; 169 - 183 mm; 184 - 198 mm; 199 - 213 mm; 214 - 228 mm.

Para a precipitação média sazonal foram estabelecidos pelo método de Sturges oito classes com intervalos de classes iguais de 28 mm, sendo que os intervalos variam ente 377 - 395 mm; 396 - 425 mm; 426 - 454 mm; 484 - 521 mm; 522 - 541 mm; 542 - 570 mm; 571 - 599 mm. Para a precipitação média anual foram estabelecidas seis classes com intervalos iguais de 55 mm, sendo as classes de 1637 - 1691 mm; 1692 - 1747 mm; 1748 - 1803mm; 1804 - 1859 mm; 1560 - 1915 mm; 1916 - 1971 mm. Em relação a precipitação pluviométrica total anual foram estabelecidas onze classes com intervalos iguais de 188 mm sendo elas, 888 - 1076 mm; 1077 - 1265 mm; 1266 - 1454 mm; 1455 - 1643 mm; 1644 - 1832 mm; 1833 - 2021 mm; 2022 - 2210 mm; 2211 - 2399 mm; 2400 - 2588 mm; 2589 - 2777mm; 2778 - 2966 mm.

Com os anos-padrões menos chuvoso, habitual e mais chuvoso também foi aplicada a técnica de Sturges para selecionar os números de classes de cada ano. Para os anos-padrões foram utilizados os dados da precipitação sazonal, sendo selecionado 8 classes para cada ano, porém com intervalos diferentes para cada ano. O ano-padrão menos chuvoso (1991) teve intervalo de classes de 66 mm, sendo as classes estabelecidas entre 131 - 204 mm; 205 - 271 mm; 272 - 338 mm; 239 - 405 mm; 406 - 472 mm; 473 - 539 mm; 540 - 606 mm; 607 - 673 mm.

No ano-padrão habitual (1992) o intervalos entre as classes estabelecido de 55 mm, sendo as classes estabelecidas entre 212 - 288 mm; 289 - 354 mm; 355 - 420 mm; 421 - 486 mm; 487 - 618 mm; 619 - 684 mm; 685 - 750 mm. No ano-padrão mais chuvoso (2002) o intervalo de classes estabelecido foi de 80 mm, sendo as classes estabelecidas de 258 - 263mm; 264 - 444 mm; 445 - 525 mm; 526 - 606 mm; 607 - 687 mm; 688 - 768 mm; 769 - 849 mm; 850 - 930 mm. A cor foi a variável visual utilizada nestes cartogramas, sendo que as escalas de azuis

utilizados cujos os tons mais escuros correspondem a maior precipitação pluviométrica e os tons mais claros a menor precipitação pluviométrica.

Após a classificação dos intervalos das classes as planilhas contendo as precipitações pluviométricas foram importadas ao Software ArcGIS 10.1, desenvolvido pela ESRI. Assim, para cada cartograma foi criada uma planilha contendo as coordenadas de cada ponto e a sua precipitação, criando-se uma planilha para a precipitação pluviométrica média mensal, outra para a precipitação média sazonal, e outra para a precipitação média total anual. Também foi gerada uma planilha contendo os dados de precipitação total anual dos 31 anos em análise e outra, referente a precipitação sazonal dos anos classificados como anos-padrões.

Por meio do programa computacional (ArcGIS 10.1), foram geradas as isoietas pelo método de interpolação geostatística krigagem ordinária, cujo modelo de semiovariograma utilizado foi o esférico, pois segundo Wollmann (2011) a krigagem ordinária é um método muito utilizado para a espacialização de dados climáticos.

O interpolador krigagem é muito utilizado na climatologia brasileira, para especializar principalmente a precipitação pluviométrica. Dentre os autores que utilizaram essa técnica, podemos destacar Baldo (2006), que a empregou para especializar variabilidade pluviométrica na bacia hidrográfica do Rio Ivaí – PR. Zavattini e Boin (2013) também usaram a krigagem para a espacialização dos anos-padrões no Oeste Paulista.

Após gerar as isoietas referente a cada mapa os mesmos foram organizados em cartogramas para melhor análise dos dados. Com isso, foram gerados 10 cartogramas, sendo 3 deles referente a precipitação pluviométrica total anual, 3 referente a precipitação pluviométrica sazonal e anual dos anos-padrões, optou-se por espacializar os dados sazonais e anual dos anos-padrões para melhor análise dos dados. E por fim, foram espacializados os dados da precipitação pluviométrica média mensal e média sazonal, a fim de aumentar a credibilidade das análises, as mesmas foram separadas por período sazonal.

#### **4.6 Realização de trabalhos de campo**

Durante o período da dissertação foram realizados dois trabalhos de campo para o reconhecimento da bacia hidrográfica do Alto Jacuí. O primeiro, no dia 21 de dezembro de 2015, no qual, pôde-se percorrer a parte central da bacia passando pelos municípios de Cruz Alta, Ibirubá, Tio Hugo, Ernestina, finalizando em Passo Fundo. Nesta investida buscou-se

compreender os principais usos dos corpos hídricos e o uso e ocupação do solo da área de estudo.

No segundo campo, em 17 de março de 2016, foi realizado na parte oeste da bacia próximo ao divisor d'água. Além de observar o uso do solo nessa região, foi realizada também uma visita ao Comitê de Bacia do Alto Jacuí (COAJU), sendo sua sede no município de Carazinho, a fim de observar a dinâmica destes locais.

Os dois trabalhos de campo realizados foram fundamentais para melhor análise e interpretações da paisagem da área de estudo e entender quais são os usos destinados aos recursos hídricos que é influenciado pelo objeto desta pesquisa. Os mesmos foram realizados com apoio do Programa Nacional de Cooperação Acadêmica da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES/Brasil.



## 5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 5.1 Análise estatística

Na análise dos dados totais anuais das chuvas da bacia do Alto Jacuí foram aplicadas as técnicas da estatística clássica destacando-se a medida de tendência central (média) e de variabilidade (ou dispersão). Tem-se na Tabela 3 a exemplificação dos valores do desvio-padrão do coeficiente de variação e da média das chuvas anuais. A tabela completa pode ser vista no Anexo B.

Tabela 3- Exemplificação dos valores da estatística aplicada nos dados de precipitação total por posto pluviométrico

(Continua)

Anos	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 27	Total	Média	D.P (mm)	C.V (%)
1980	1436,6	1446,1	1528,0	1512,9	42923,4	1589,8	133,5	8,4
1981	1094,5	1119,0	1094,5	1407,2	35275,1	1306,5	137,2	10,5
1982	2195,3	2205,3	2151,4	2439,2	53777,6	1991,8	228,3	11,5
1983	2118,9	2042,3	1953,0	2334,7	61963,0	2294,9	174,1	7,6
1984	2182,1	2124,3	2141,7	2270,5	59245,0	2194,3	136,5	6,2
1985	1681,9	1651,6	1653,9	1571,8	44335,4	1642,1	115,1	7,0
1986	2170,6	2068,7	1955,2	1764,7	51846,3	1920,2	188,3	9,8
1987	2010,2	1961,6	1985,6	2065,3	55170,0	2043,3	149,4	7,3
1988	1489,2	1338,6	1372,0	1633,9	43275,3	1602,8	151,4	9,4
1989	1840,7	1562,8	1468,9	1987,2	46657,8	1728,1	167,1	9,7
1990	2014,9	2055,9	1859,9	2072,1	57182,9	2117,9	246,3	11,6
1991	1380,8	1276,4	1276,4	1180,3	33874,6	1254,6	153,3	12,2
1992	1734,1	1508,7	1512,1	2047,1	50282,2	1862,3	233,1	12,5
1993	1685,9	1697,6	1673,6	1810,5	49470,5	1832,2	159,0	8,7
1994	1766,2	1745,4	1659,8	1889,4	51156,0	1894,7	176,8	9,3
1995	1572,0	1340,6	1356,2	1287,6	36085,7	1336,5	185,7	13,9
1996	1557,7	1466,3	1338,8	1754,8	45063,5	1669,0	172,7	10,3
1997	1791,7	1743,0	1656,4	2421,1	56067,5	2076,6	183,1	8,8
1998	1935,2	1767,3	1778,0	2111,9	56102,9	2077,9	190,7	9,2
1999	1530,1	1424,7	1290,3	1577,8	39645,6	1468,4	93,0	6,3
2000	1806,4	1608,2	1644,2	1960,9	47393,6	1755,3	182,6	10,4
2001	2020,5	1774,7	1894,2	2192,8	49592,0	1836,7	239,3	13,0
2002	2411,3	2212,5	2161,6	2731,5	66648,3	2468,5	210,6	8,5
2003	2080,5	1882,0	1977,8	1857,2	49996,1	1851,7	192,2	10,4
2004	1276,3	1470,8	1099,1	1361,7	35400,1	1311,1	140,2	10,7
2005	1638,8	1269,6	1301,1	1893,3	48231,5	1786,4	194,8	10,9

Tabela 3- Exemplificação dos valores da estatística aplicada nos dados de precipitação total por posto pluviométrico

Anos	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 27	Total	Média	(conclusão)	
							D.P (mm)	C.V (%)
<b>2006</b>	1371,7	1184,3	1038,1	1439,0	35442,45	1312,7	108,7	8,3
<b>2007</b>	1821,7	1579,7	1709,6	1904,4	46902,3	1737,1	188,9	10,9
<b>2008</b>	1632,4	1358,4	1419,8	1406,0	42407,3	1570,6	193,8	12,3
<b>2009</b>	1911,6	1407,4	1691,0	2041,8	52764,1	1954,2	201,6	10,3
<b>2010</b>	1947,0	1491,36	2099,7	1999,5	49364,87	1828,3	213,2	11,7
<b>Total</b>	55106,8	50785,2	50741,9	57928,1				
<b>Média</b>	1777,6	1638,2	1636,8	1868,6				
<b>D.P (mm)</b>	300,6	304,6	323,3	366,5				
<b>C.V (%)</b>	16,9	18,6	19,8	19,6				

Fonte: Autora.

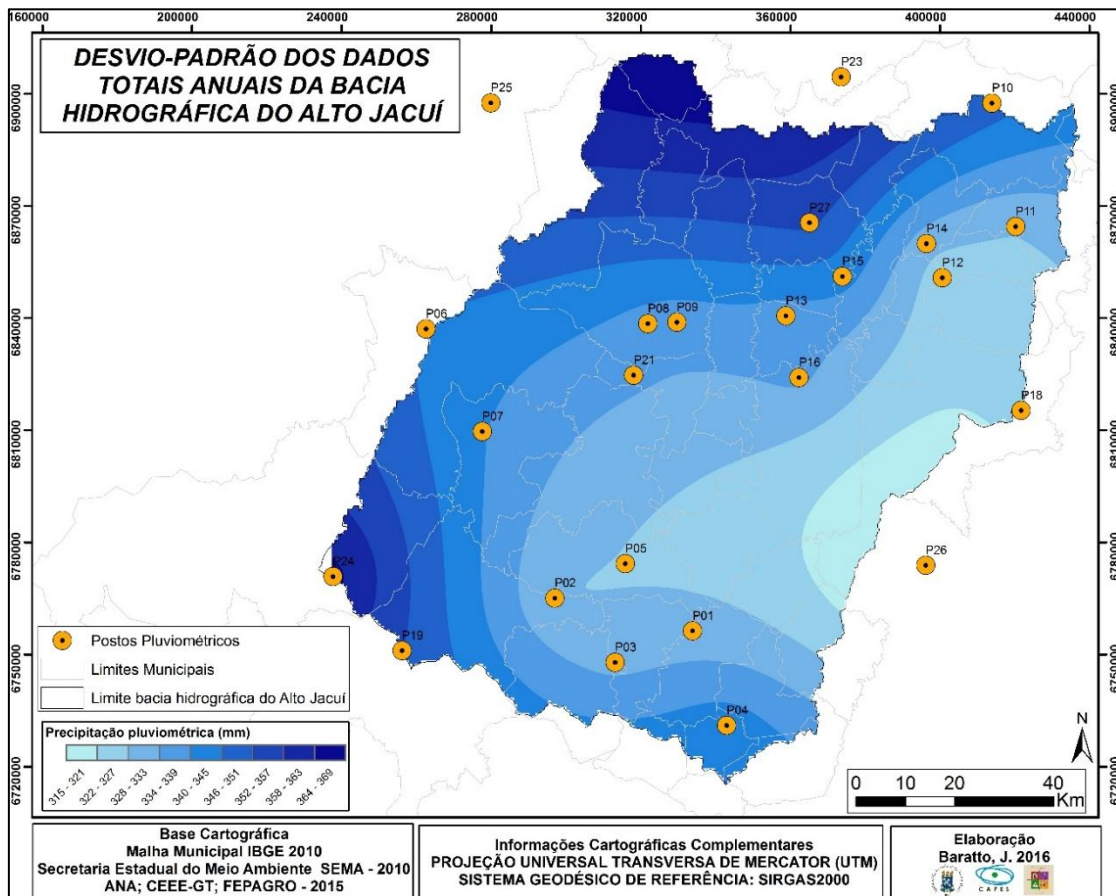
Por meio da análise de posto pluviométrico e por ano, pode-se perceber que o Coeficiente de Variação (CV) foi mais heterogêneo no período temporal do que espacial. Na variação espacial o CV apresentou a maior variação no ano de 1995 (13,9%), já o ano em que se observa o menor CV foi o de 1984 (6,2%). Na variação temporal o CV tem o maior valor, assim o posto 24 foi o de maior variação com 21% e o posto 26 o de menor variação com 15,6% de CV.

Em relação às médias pluviométricas dos postos em análise e dos anos da bacia hidrográfica do Alto Jacuí, estas serão discutidas posteriormente, quando for abordado a média histórica da área de estudo.

Na Figura 24, é possível evidenciar o desvio-padrão dos dados pluviométricos totais anuais de cada posto pluviométrico. O ano que apresentou o menor desvio-padrão entre todos os postos pluviométricos foi o de 1999, com um desvio-padrão de 93mm. Em relação ao período temporal o posto 26 foi o de menor variação do desvio-padrão com 283mm. E o posto 25 foi o de maior variação com 391,6mm.

Dessa forma, pode-se considerar que a precipitação temporal é homogênea para a área de estudo. Porém, os resultados mostraram que os valores menos elevados dos desvio-padrão estão das áreas mais chuvosas, indo ao contrário do que foi apontado por Chierice (2013) que salienta que os valores mais elevados dos desvio-padrão ocorreram nas áreas mais chuvosas, para o seu estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu localizada no estado de São Paulo.

Figura 24 - Variação do desvio-padrão na bacia hidrográfica do Alto Jacuí



Fonte: Autora

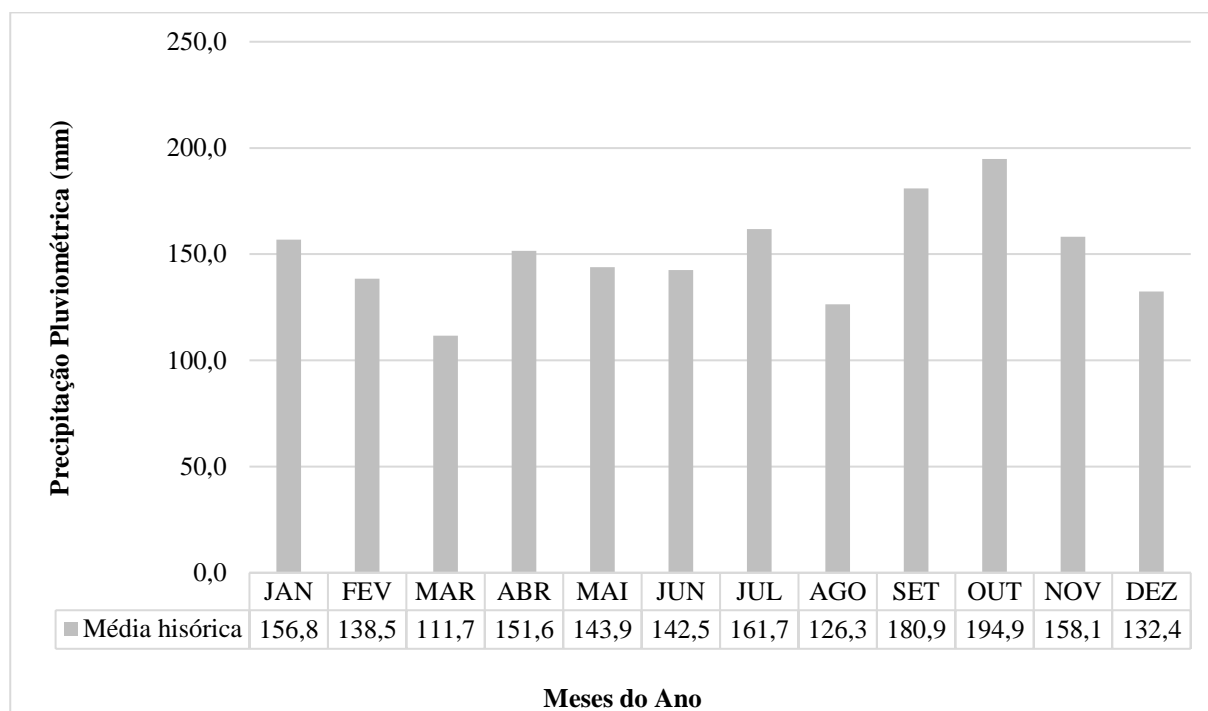
Optou-se por espacializar os dados de desvio-padrão a fim de obter uma melhor visibilidade do mesmo. Com isso, por meio da espacialização pode-se observar (Figura 24) que os maiores valores destes estão na região norte da bacia hidrográfica com uma variação entre 364-369 mm, enquanto que o setor oeste também se destaca, por obter os maiores valores do desvio-padrão com 358-363 mm. Já no setor leste ocorrem os menores valores que variam entre 315-321 mm nesta região da bacia apresentam as maiores altitudes, assim a variação espacial da precipitação não é muito significativa.

## 5.2 Análise da série histórica dos dados pluviométricos

Na Figura 25, é possível observar a variação da série histórica mensal da bacia hidrográfica do Alto Jacuí, na qual foi observado, que março foi o mês de menor média histórica

para a bacia, com 111,7 mm, para os dados referentes ao período de 1980-2010. Obteve-se no mês de outubro a maior média histórica mensal. Setembro teve a segunda maior média, corroborando com os resultados de Sartori (1993), o qual afirma que os meses mais chuvosos no Rio Grande do Sul são setembro e outubro.

Figura 25 - Precipitação pluviométrica média mensal para a bacia hidrográfica do Alto Jacuí

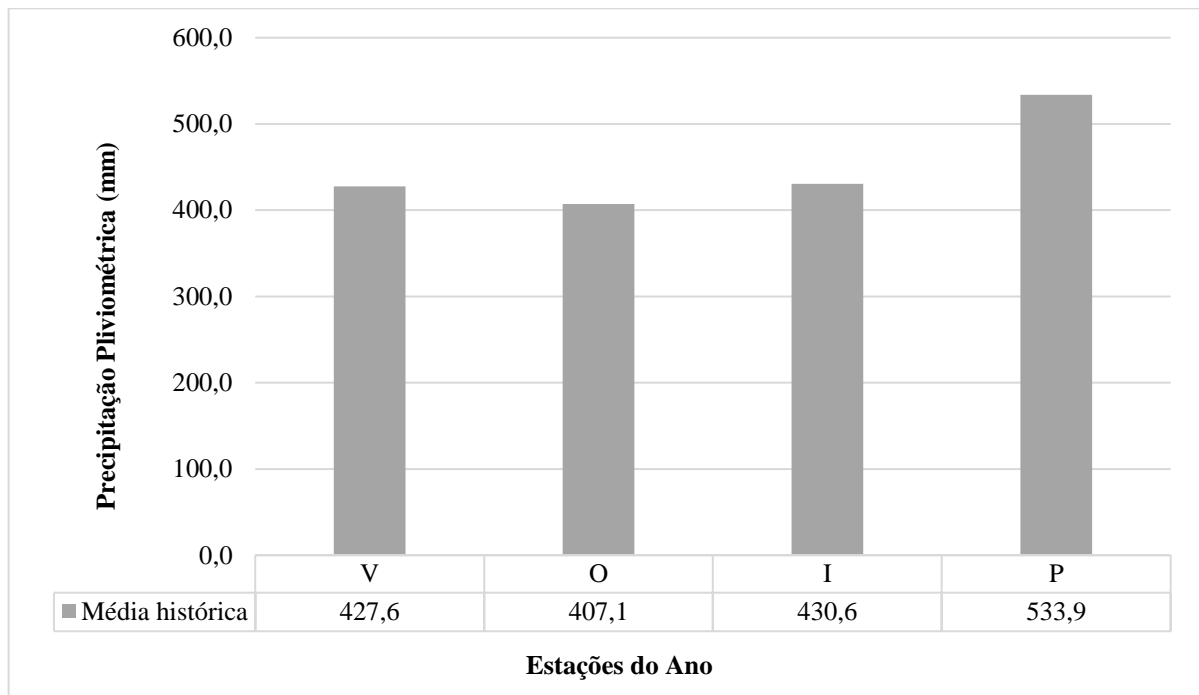


Fonte: Autora.

Os meses de maio e junho tiveram médias bem próximas, sendo maio com uma média de 143,9 mm e junho 142,5 mm. Dessa forma, para o período mensal observou-se que a média histórica da precipitação pluviométrica para a bacia apresentou considerada variação nos meses do ano, não havendo a homogeneidade da precipitação mensal.

Em relação à média histórica sazonal da bacia do Alto Jacuí (Figura 26), observa-se que a primavera (P) alcançou a maior média sazonal, com 533,9 mm. Já o outono (O) obteve a menor média, com 407,1 mm. Para o período do inverno (I) a média histórica da bacia foi de 430,6 mm, já para o verão (V) a média ficou de 427,6 mm. Dessa forma, para a bacia hidrográfica do Alto Jacuí a primavera foi o período mais chuvoso, bem como salientava Sartori (1993) que a primavera apresentava índices sazonais mais elevados, entorno de 300-600mm para o estado, sendo também os meses mais chuvosos.

Figura 26- Série história Sazonal para a bacia hidrográfica do Alto Jacuí



Fonte: Autora.

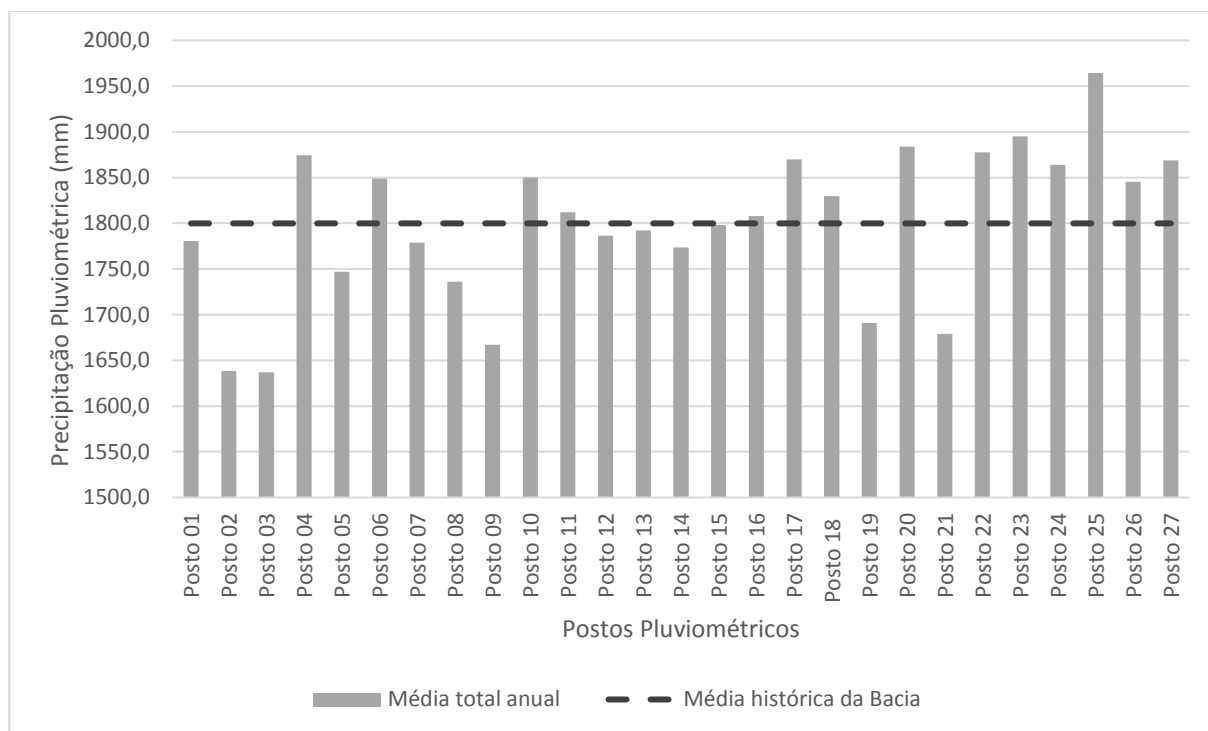
A primavera ficou com 30% da distribuição das chuvas para esse período em análise. Já o verão e o inverno ficaram, ambas, com 24%. Com relação ao outono, esse período sazonal foi o menos chuvoso representando 23% da precipitação pluviométrica. Assim, corroborando com Sartori (1993) que salienta que para todas as regiões do estado não apresentam estações secas ou chuvosas, porém a uma tendência de o período sazonal da primavera ser mais chuvosa.

Analisando-se a média total da precipitação dos postos pluviométricos com relação à média da bacia hidrográfica (1799.3 mm) pode-se observar a existência de alguns postos com precipitação pluviométrica acima da média da bacia.

Em relação à média histórica anual em cada posto pluviométrico, foi observado que dentre os 27 postos, o 25 registrou- a maior média histórica, com 1986,8mm e o posto 03 obteve a menor média com 1636,8 mm, os Postos 04 (Coloninha, Arroio do Tigre); Posto 10 (Pessegueiro, Passo Fundo); Posto 17 (Marau); Posto 20 (Chapada); Posto 22 (Dona Francisca); Posto 23 (Colônia Xadrez, Carazinho); Posto 25 (Condor) e o Posto 27 (Não-Me-Toque), foram os que apresentaram média elevada em relação à bacia, merecendo destaque o posto 25 que apresenta uma quantidade de quase 2000mm de chuva em média.

Alguns postos tem a média pluviométricas totais abaixo da média histórica da bacia hidrográfica do Alto Jacuí, com destaque o posto 02 (Usina Avaí, Júlio de Castilhos); Posto 03 (Itauba, Arroio do Tigre); Posto 19 (Júlio de Castilhos) e o Posto 21 (Santa Clara do Ingaí, Cruz Alta). Nos demais, as médias estão situadas abaixo ou acima da média histórica, alguns inclusive com a mesma média total de precipitação, enquadrando-se na média da bacia em questão. No que se refere à média da bacia hidrográfica (Figura 27), percebe-se que a maioria dos postos pluviométricos não apresentam discrepância em sua média relacionada a total anual.

Figura 27- Média histórica total anual em cada posto pluviométrico



Fonte: Autora.

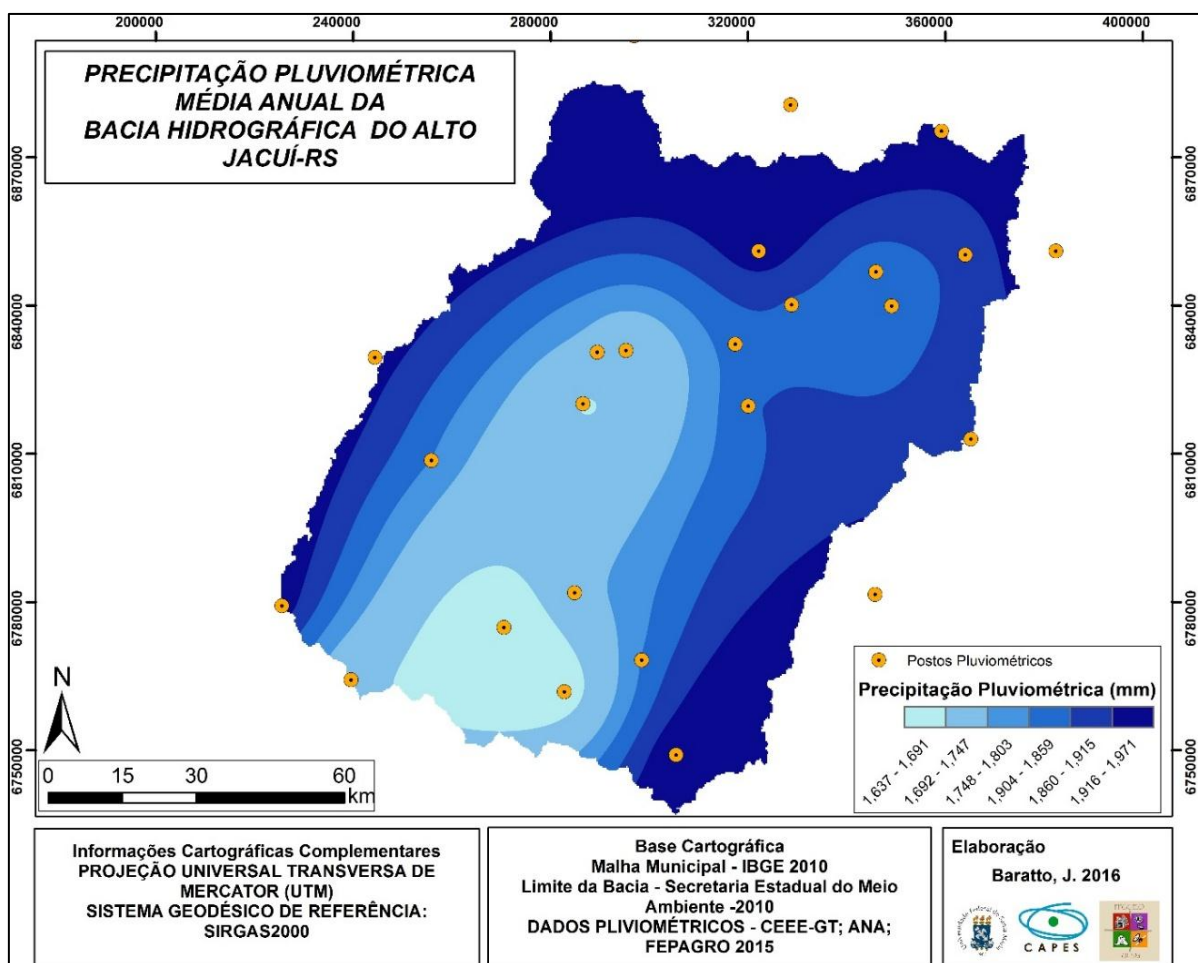
Em relação aos dados pluviométricos dos 27 postos selecionados, foi calculada a média histórica na escala mensal, sazonal e anual para a bacia hidrográfica e também se obteve a média total anual de 1799.3 mm para o período de 1980 a 2010. Com isso, foi perceptível a presença da variabilidade em relação as médias mensais e sazonais para os dados pluviométricos.

Em relação à média anual da precipitação pluviométrica o posto 03 que está localizado no setor sul da bacia a uma altitude de 218m foi o de menor média total anual para o período de 31 anos de análise, com precipitação de 1636,8mm. Enquanto que o posto 25, localizado a

uma altitude de 463m. apesar de não estar dentro da bacia estudada, apresentou a maior média total com 1986,8mm.

Na Figura 28, é possível ver a distribuição da precipitação pluviométrica média total da bacia, na qual é possível entender que os setores norte e sudeste tiveram as maiores média totais anuais com variação entre 1816-1971mm. Na região central-sul da bacia foram os de menores valores de precipitação, sendo que ao sul os valores da média total variam ente 1637-1691mm. Enquanto que na região central essa variação é de 1692-1747mm. Nesse setor da bacia também se localizam as menores altitude com variação de 85m a 375m e os principais reservatórios da mesma, como o Passo Real, Engenheiro Maia Filho e Itaúba. Assim, os maiores volumes de precipitação se concentram próximo aos divisores de água da bacia, onde também se localizam as maiores altitudes variando de 496m a 776m.

Figura 28- Distribuição espacial da precipitação pluviométrica média total



Fonte: Autora.

Assim, observa-se que existe uma grande variação espacial da precipitação média total anual dos 31 anos em análise. A região central e sul tem uma menor precipitação média, bem como as menores altitudes da bacia. Já na região norte, leste e oeste estão os maiores volumes precipitados e as maiores altitudes da mesma, merecendo destaque a poção leste que tem as maiores altitudes. Dessa forma, as chuvas sendo concentradas nas cabeceiras dos rios vem reforçar o potencial para a geração de hidroeletricidade da área de estudo.

### 5.2.1 Análise da média mensal por década

Ao analisar a precipitação média mensal por décadas pode-se perceber que no mês de janeiro das 3 décadas em análise, a 1ª década (1980 a 1989) alcançou na maioria dos postos, a maior precipitação média mensal e também ficou acima da média histórica da bacia. A 3ª década (2000-2009) foi a que obteve a menor média entre as décadas, em comparação com a média da bacia. Assim, na maioria dos postos pluviométricos ocorreu uma tendência na diminuição da precipitação média entre as décadas. Isto é possível observar no Anexo D.

Em fevereiro a 2ª década (1990-1999) foi a mais chuvosa, ficando acima da média histórica da bacia, ao contrário do mês anterior, na maioria dos postos pluviométricos, com exceção do posto 26 que teve a 1ª década como a mais chuvosa. A 3ª década foi a que obteve a menor precipitação na maioria dos postos, ficando abaixo da média da bacia. Março obteve a menor média de todos os meses nas 3 décadas em análise, confirmando com o resultado da média histórica da bacia para este mês. Assim, para este mês as 3 décadas ficaram próximas a média da bacia.

Para abril a 1ª década foi a mais chuvosa ultrapassando a média da bacia. A 3ª década a menos chuvosa na maioria dos postos, ficando abaixo da média da bacia, com exceção dos postos 24 e 26 que tiveram como período mais chuvoso a 3ª e a 2ª década respectivamente. Mesmo assim, foi possível observar uma tendência na diminuição da precipitação da 1ª para a 3ª década. Em maio a 1ª década se destaca como sendo a mais chuvosa ficando acima da média da bacia. Na 2ª e na 3ª década é possível observar uma homogeneidade da precipitação média, não apresentando grandes diferenças entre ambos os postos analisados. Nos meses de abril e maio pode-se perceber que os postos localizados na região centro-sul da bacia tiveram as maiores média na primeira década.

No mês de junho foi possível observar uma homogeneidade da precipitação média nas 3 décadas. Contudo, a 2ª e a 3ª décadas tiveram as médias bem próximas a média da bacia. Nos



primeiros postos que estão localizados na região centro-sul da bacia têm a 1 década como a mais chuvosa. A partir do posto 08 é observado que a última década é a mais chuvosa, na maioria dos postos.

Em julho a 1º década foi a mais chuvosa em todos os postos ficando próximo ou acima da média da bacia. Assim, nos dados analisados ocorreu uma tendência em diminuir a precipitação média da 1ª para 3ª década na maioria dos postos, com exceção do posto 20 da 3ª década que obteve a maior média em relação as outras décadas. Com isso, na 2ª e na 3ª década a média da precipitação ficou abaixo da média da bacia na maioria dos postos analisados

No mês de agosto a 1ª e a 3ª década foram as mais chuvosas, havendo uma regularidade entre as precipitações média nos postos nas duas escalas de análise. Assim, essas duas décadas tiveram suas médias bem próximas ou acima da média da bacia. Na 2ª década ocorreu uma diminuição da precipitação média em todos os postos, ficando bem abaixo da média da bacia.

Em setembro a 1ª década obteve a maior média da precipitação pluviométrica, ficando acima da média da bacia, na maioria dos postos. Nas duas outras décadas a precipitação média ocorreram muito semelhante, sendo a média da 2ª década um pouco mais chuvosa na maioria dos postos analisados. Porém, a 2ª e a 3ª década ficaram abaixo da média da bacia.

Ao contrário dos meses anteriores, no mês de outubro a 2ª década foi a mais chuvosa, permanecendo na maioria dos postos a média da década acima da média da bacia. A 3ª década é a menos chuvosa. Neste mês os postos 20 e 25 destacam-se por apresentar um elevado valor médio com 250,4 mm e 252,7mm respectivamente. Contudo, a 2ª e a 3ª década ficaram abaixo da média da histórica da bacia.

Em novembro a menor precipitação média ocorreu na 2ª década de análise, ficando abaixo da média da bacia em quase todos os postos analisados. Assim, a 1ª e a 3ª década alcançaram aproximadamente as mesmas médias em todos os postos e também a maioria dos postos permaneceram acima da média da bacia.

No mês de dezembro a 1ª década foi a que obteve a menor precipitação média, muito diferente dos outros meses, assim, esse mês na 1ª década ficou bem abaixo da média da bacia. Na 2ª e na 3ª década se manteve praticamente a mesma média nos postos analisados. A média dessas décadas ficaram próximas ou acima da média da bacia. O posto pluviométrico 20 merece destaque na última década com o maior valor médio para este mês.

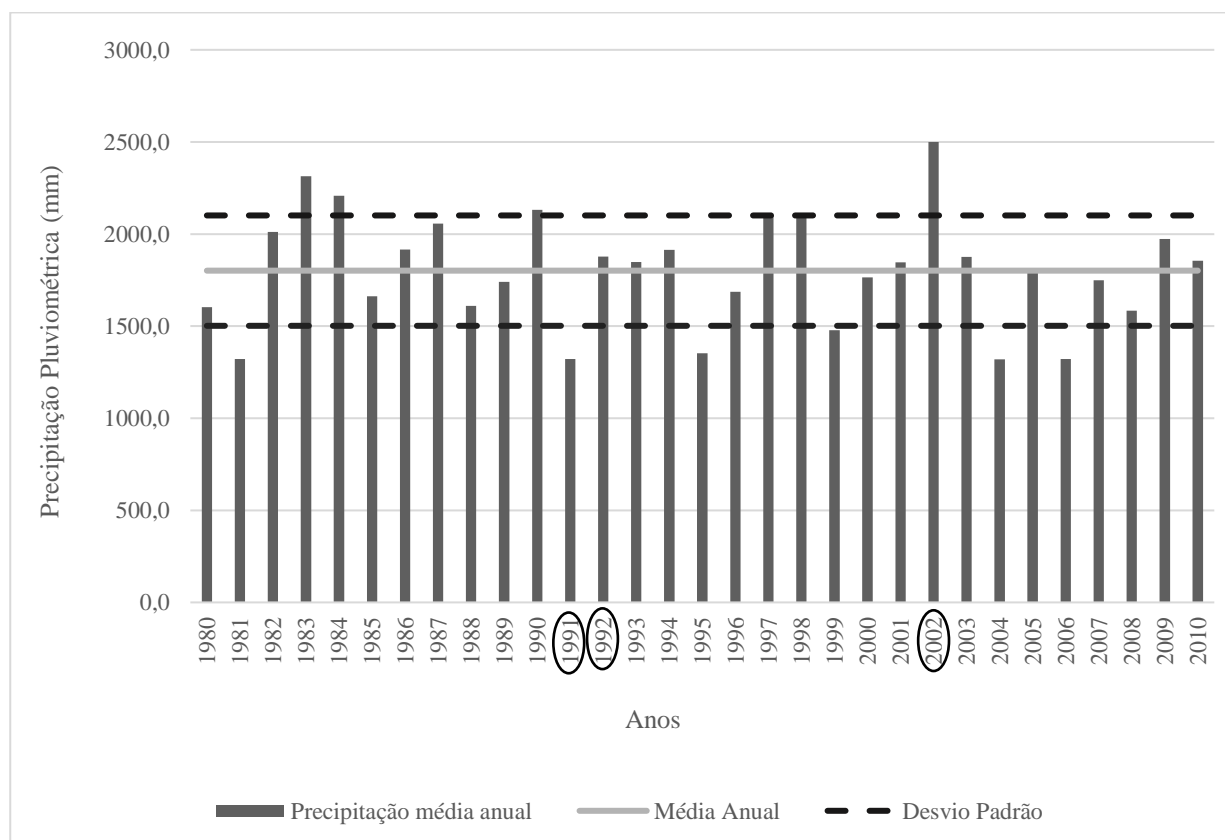
Com essa análise pode-se observar que a 1ª década é mais chuvosa nos meses de janeiro, março, abril, maio, junho, julho, agosto e setembro. A 2ª e a 3ª década geralmente permaneceram homogênea as médias das décadas, com exceção dos meses de fevereiro,

outubro e dezembro que obteve a 2ª década como a mais chuvosa. Assim, analisando na escala mensal das 3 décadas pode-se perceber que ocorre uma tendência da diminuição da precipitação média mensal, sendo que a 1ª década é mais chuvosa, já a 2ª e a 3ª década menos chuvosas. Com isso, observa-se que os meses mais chuvosos nas décadas são os meses de primavera (setembro, outubro e novembro) e o mês menos chuvoso março na média das 3 décadas analisadas. No anexo D é possível observar a variação da precipitação média mensal das décadas analisadas em comparação com a média da bacia hidrográfica.

### 5.3 Classificação dos Anos-padrões

Ao analisar os valores das médias anuais da precipitação pluviométrica da bacia (Figura 29), em relação ao desvio-padrão (positivo e negativo) da média da bacia pode-se verificar que a maioria dos anos ficam dentro do desvio-padrão.

Figura 29- Distribuição das médias anuais da precipitação na Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí/RS

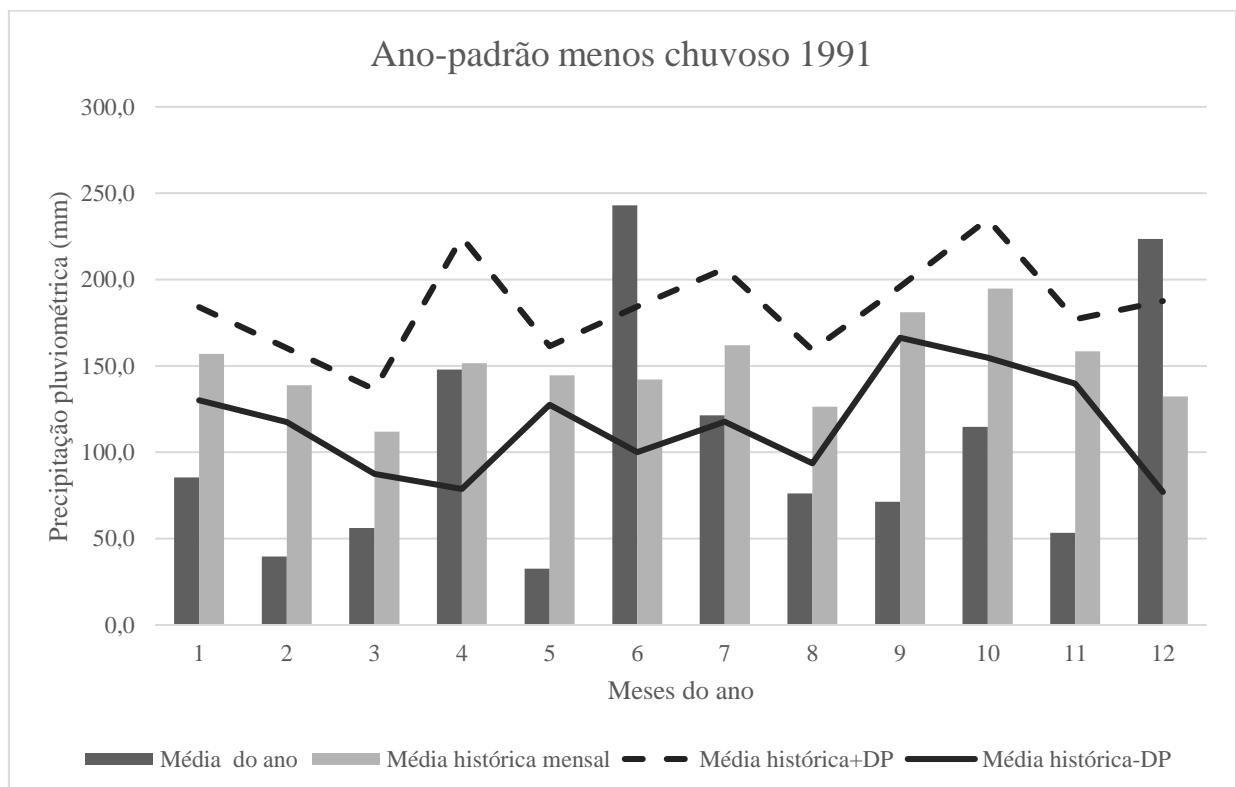


Após o cálculo do desvio-padrão (um para positivo e um negativo) realizou-se a classificação dos anos-padrões para a bacia em análise, assim, foram obtidos 12 anos (1981, 1985, 1986, 1988, 1989, 1991, 1993, 1997, 2004, 2005, 2006 e 2008) como os menos chuvosos.

Foram também classificados 16 anos como habituais, os quais são 1980, 1982, 1987, 1990, 1992, 1994, 1995, 1996, 1998, 1999, 2000, 2001, 2003, 2007, 2009 e 2010. Também pode-se classificar 3 anos como os mais chuvosos sendo eles, 1983, 1984 e 2002. No anexo C, é possível ver a classificação dos anos menos chuvosos, anos habituais e os anos mais chuvosos.

Na classificação dos anos-padrões foram selecionados os anos de 1991, 1992 e 2002, como anos representativos menos chuvoso, (Figura 30), habitual e mais chuvoso respectivamente. Dessa forma, foram classificados esses anos, pois apresentaram uma distribuição homogênea das chuvas ao longo dos meses, seja para mais, para menos, ou perto da média.

Figura 30- Gráfico com os dados pluviométricos do ano-padrão menos chuvoso da Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí



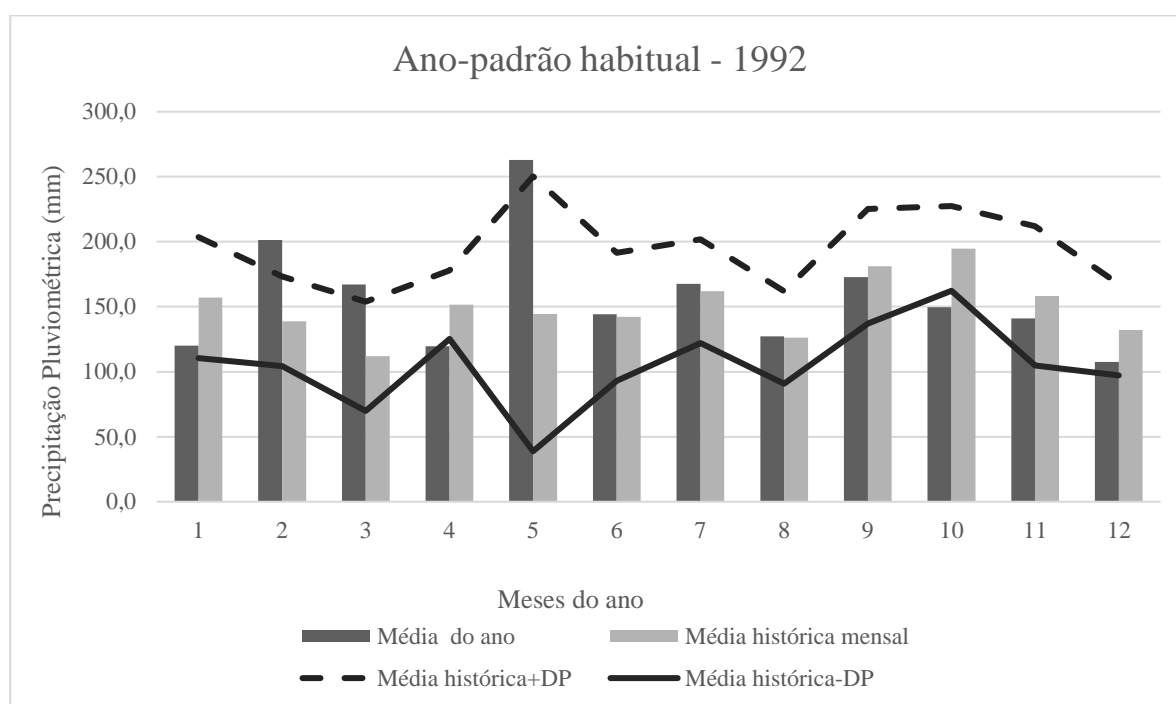
Fonte: Autora.

Ainda relacionado ao ano de 1991 (Figura 30) como menos chuvoso, o mesmo foi classificado assim por apresentar sete meses abaixo do desvio-padrão. Esse desvio-padrão foi calculado a partir da média dos meses dos 31 anos em análise. Neste caso somente os meses de junho e dezembro tiveram uma variação maior em relação à média deste determinado ano. O total pluviométrico do referido ano foi o menor registrado na bacia hidrográfica do Alto Jacuí no período dos anos de 1980 até 2010, totalizando uma quantidade de 1320,6mm durante todo o ano.

Na variação sazonal do ano de 1991, foi considerado como ano-padrão menos chuvoso, as chuvas ocorrem 34% no inverno, em segundo lugar vem o verão com 27% das chuvas. No outono ocorrem 20% das chuvas para a bacia do Alto Jacuí, e na primavera ocorre a menor porcentagem de chuva, cerca de 19% do total.

O ano selecionado como ano-padrão habitual foi 1992 (Figura 31), em que os totais mensais registrados estão quase todos próximo da normalidade pluvial. Desta forma, com a realização dos cálculos do desvio-padrão, 1992 apresentou pouca variação pluviométrica, no qual a maioria dos meses encontra-se dentro ou com pouca diferença em relação à média. Somente os meses de fevereiro e maio contiveram uma quantidade maior de chuva.

Figura 31- Gráfico com os dados pluviométricos do ano-padrão habitual da Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí

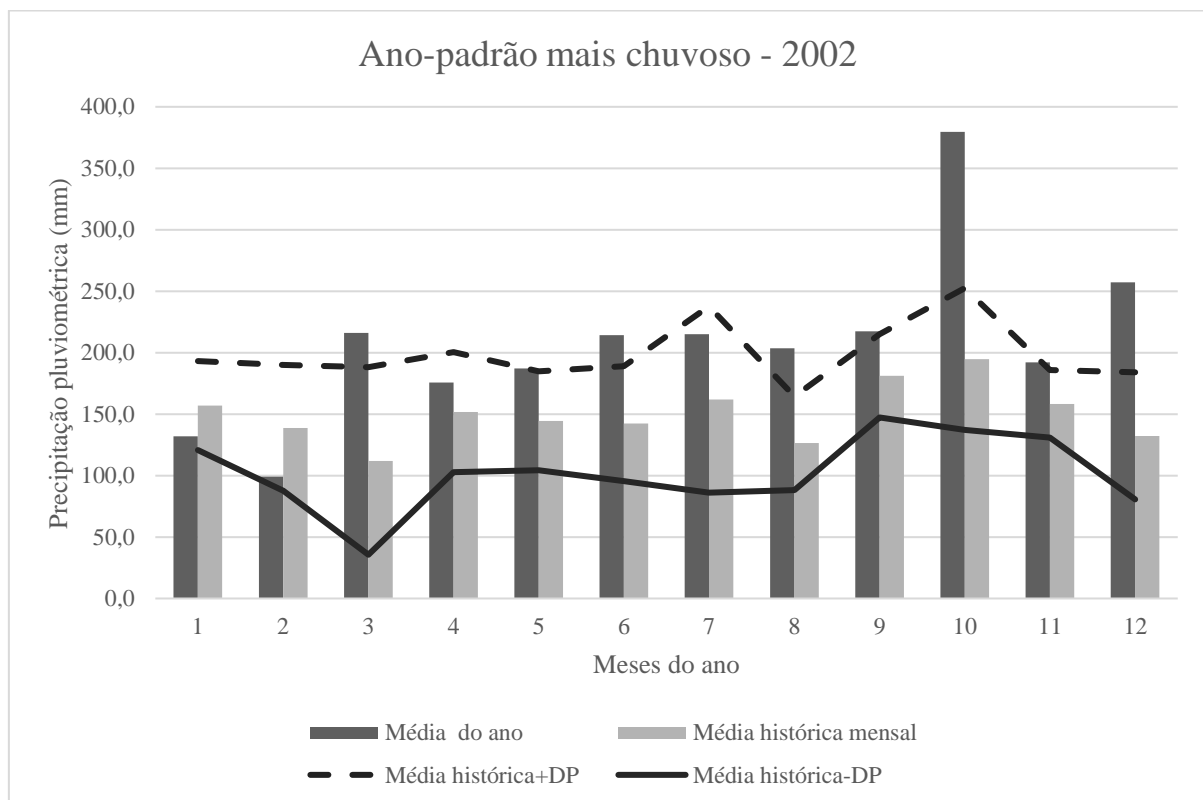


Com relação aos dados pluviométricos de 1992, este apresentou um total de 1878,3mm de chuva registrado, com isso, considerado o ano habitual e ano-padrão de precipitação pluviométrica dentro da bacia hidrográfica do Alto Jacuí.

Na variação sazonal do ano citado anteriormente, o regime das chuvas concentra-se cerca de 29% no outono, com a segunda estação mais chuvosa sendo a primavera com 25% das chuvas. No inverno e na primavera as chuvas ocorrem cerca de 23% em cada estação.

O ano de 2002, segundo os dados registrados, encerrou o maior índice pluviométrico da área de estudo com um total anual foi de 2.499,3mm (Figura 32). Essa ocorrência acima de média da chuva, segundo os dados do INMET, se deu em função do período de El Niño, presente no referido ano. Assim, foi possível constatar chuvas acima da média em quase todos os meses do ano de 2002.

Figura 32- Gráfico com os dados pluviométricos do ano mais chuvoso (2002) da bacia hidrográfica do Alto Jacuí



Fonte: Autora.

Na variação sazonal do ano de 2002, que foi considerado como ano-padrão mais chuvoso, as chuvas ocorrem predominantemente na primavera, cerca de 35% das chuvas anuais.

No outono e no inverno, caem a mesma quantidade de chuvas, cerca de 22% em ambas as estações. O verão tem a menor quantidade de chuvas precipitadas da bacia do Alto Jacuí cerca de 21%.

Nessa perspectiva os dados vão em conformidade com o estudo de Sartori (1993), o qual constatou que os meses mais chuvosos, na maior parte do Rio Grande do Sul, apresentam os maiores níveis em setembro e outubro, os quais são referentes à estação da primavera. Assim, merece destaque o mês de novembro (Figura 32) que se obteve uma média de 367,2 mm, quase o total esperado para a estação da primavera.

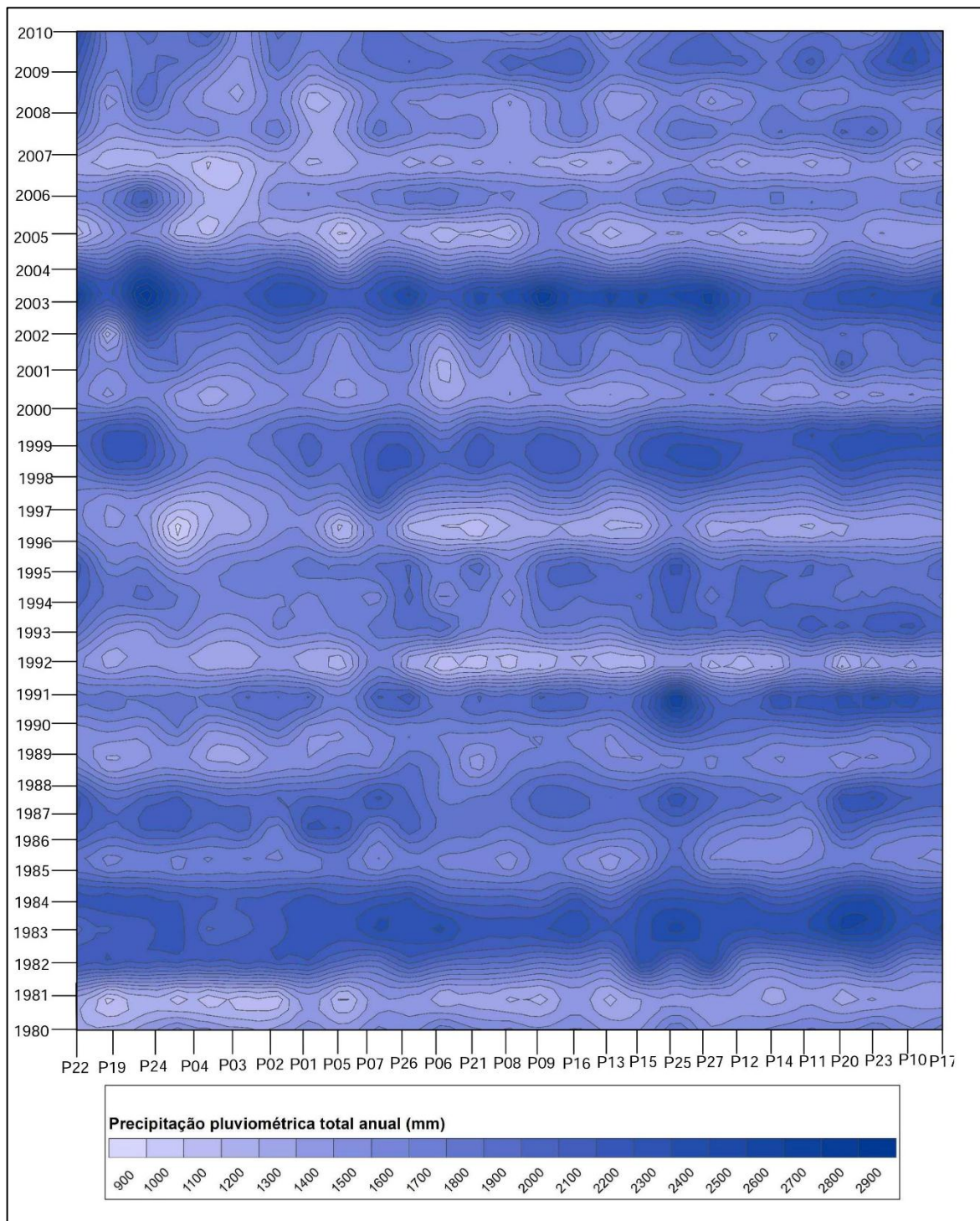
Ao correlacionar a classificação dos ano-padrões com o fenômeno ENOS pode-se verificar que no de 1991 e 1992, embora classificados como anos representativos menos chuvoso e habitual, respectivamente, ocorreu a atuação do fenômeno El Niño de forte intensidade, que tem a tendência a provocar chuvas abundantes no estado, conforme salienta Berlatto e Fontana (2003). Já o ano representativo mais chuvoso (2002) ocorreu a atuação do El Niño moderado, assim, os referidos autores ressaltam que para períodos de El Niño as chuvas concentram-se na primavera nos meses de outubro e novembro, bem como ocorreu nesse ano de análise. Contudo, não se pode afirmar que a atuação do fenômeno ENOS têm a influência na classificação dos anos classificados como representativos menos chuvoso, habitual e mais chuvoso para a bacia hidrográfica em análise.

#### **5.4 Painel espaço-temporal da precipitação pluviométrica**

Com o painel (Figura 33) foi possível analisar, de uma maneira geral, a precipitação total anual por posto e por ano. Os postos foram organizado de sudoeste para nordeste da área de estudo de modo que pudesse observar a influência da variação do relevo na precipitação.

Nos dois primeiros anos de análise (1980 e 1981) a precipitação pluviométrica total anual variou entre 900-1800mm. Nestes anos a precipitação foi similar entre todos os postos, não ocorrendo pontos de extrema precipitação pluviométrica. Em 2 anos (1982 a 1984) a precipitação total anual para a bacia hidrográfica foi mais elevada que nos anos anteriores. Sendo a variação das chuvas entre 2000-2400mm. Nestes anos os postos localizados mais na região nordeste da área de estudo tiveram os maiores volumes totais. Esse aumento no volume precipitado deve-se em função do fenômeno El Niño considerado forte que ocorreu nesses anos.

Figura 33- Painel espaço-temporal da precipitação pluviométrica total anual



Fonte: Autora.

Em 1985 a precipitação pluviométrica diminuiu em relação ao ano anterior, com uma variação entre 1200-1800mm. Nos anos de 1986-1987 a precipitação total anual para os postos da bacia hidrográfica variou entre 1900-2200mm. Neste período os postos localizados no

sudoeste tiveram os maiores valores. O aumento do volume precipitado deve-se ao fato da atuação do fenômeno El Niño de intensidade moderada. Os anos de 1988 e 1989 a precipitação total variou entre 1000-1600mm, assim, ocorreu uma diminuição da precipitação com relação aos anos anteriores. Nestes 2 anos ocorreu a atuação da La Niña de forte intensidade acarretando na diminuição das chuvas na bacia. Em 1990 a precipitação variou de 1700-2500mm, sendo que o ponto 25 merece destaque por ter a maior precipitação dentre os postos. Os postos localizados ao sul-sudoeste tiveram os menores totais, já os localizados ao norte-nordeste os maiores. Em 1991 todos os pontos apresentaram a precipitação total entre 900-1300mm, sendo que os pontos localizados no centro da bacia hidrográfica tiveram os menores totais, observando assim, uma diminuição da precipitação total em relação ao ano anterior.

Entre os anos de 1992 e 1994 a precipitação total anual variou de 1300-2300mm, ou seja, um aumento do valor total precipitado, sendo que os postos localizados na região norte e nordeste da bacia hidrográfica tiveram os maiores valores totais anuais. Os anos de 1995 e 1996 foram os de menor precipitação em relação anteriores, variando entre 900-1500mm. Nestes anos o posto 24 se destaca por ter precipitação mais baixa. Nos dois anos analisados ocorreu a atuação do fenômeno La Niña de fraca intensidade o que provocou o baixo volume precipitado para a área de estudo.

Entre 1997 e 1998 foi um período com precipitação entre 1500-2400mm, destacando-se os pontos localizado a nordeste com os totais anuais elevados. Assim, nesses anos ocorreu um aumento do volume total precipitado em decorrência da atuação do El Niño de intensidade forte. Nos anos de 1999 a 2001 ocorreu uma diminuição da precipitação em relação aos anos anteriores, sendo que a precipitação total variou entre 1100-1700mm. Nesse período, houve a atuação da La Niña de intensidade moderada causando a diminuição do volume total precipitado.

Entre os anos de 2002 e 2003 ocorreu um aumento da precipitação total registrada nos postos. Assim, os totais anuais se destacam por variarem entre 2200-2900mm, sendo o ano de 2002 o ano mais chuvoso da bacia. Nesses dois anos ocorreu a atuação do El Niño o que provocou o aumento no volume precipitado em todos os postos analisados.

No ano de 2004 ocorreu uma diminuição das precipitações totais anuais, com variação de 1000-1500mm. Sendo que os postos localizados ao sudoeste tiveram os menores totais e os que estão a nordeste dos maiores totais. No ano seguinte (2005) ocorreu um pequeno aumento do dados totais anuais, com destaque no posto 24 com que teve o maior total registrado para o ano. Nos anos de 2006 e 2007, os totais pluviométricos voltaram a diminuir, com exceção do



ano de 2007, onde os postos localizados a nordeste tiveram precipitação mais elevada. Nesse período de 2004 a 2007, embora sucedeu a ocorrência do fenômeno El Niño fraco, ocorreu uma diminuição da precipitação total anual, com exceção do ano de 2005.

Nos últimos três anos de análise (2008, 2009 e 2010) a precipitação total anual, novamente, começou a aumentar. No ano de 2010 os postos localizados a nordeste merecem destaques por terem os maiores volumes precipitados com variação entre 2000-2200mm. Nos anos de 2009 e 2010 ocorreu a atuação do fenômeno El Niño moderado o que acarretou no aumento do volume precipitado nesses dois últimos anos de análise.

Dessa forma, por meio da espacialização dos dados totais anuais no painel espaço-temporal (Figura 33) foi possível confirmar a seleção dos anos-padrões. Assim, no ano-padrão mais chuvoso (2002) todos os postos pluviométricos tiveram a precipitação elevada, variando de 2100mm a 2900 mm. No ano-padrão menos chuvoso (1991) todos os postos ficaram com a precipitação entre 900-1500mm. E o ano-padrão habitual (1992) teve a precipitação total anual em todos os postos entre 1500-2100mm. Com isso, pode-se perceber que os postos localizados na norte e nordeste tem uma tendência a terem uma maior precipitação pluviométrica na maioria dos anos analisados, evidenciando assim, um influência do relevo na precipitação total registradas nesses postos. Também pode-se dizer que a precipitação total anual dos postos da bacia hidrográfica em análise tem reflexo da atuação dos fenômenos El Niño e La Niña, sendo que na maioria dos anos de atuação desses fenômenos a precipitação tende a diminuir em anos de La Niña e aumentar em anos de El Niño.

## **5.5 Espacialização da Precipitação pluviométrica**

Neste item será discutida a análise espacial dos dados de precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do Alto Jacuí. Sendo destacado as áreas com maior e menor precipitação pluviométrica e como se distribui a precipitação ao longo do tempo e na bacia.

### **5.5.1 Análise mensal e sazonal dos dados pluviométricos**

Nos meses referentes ao período do verão (dezembro, janeiro e fevereiro) a precipitação pluviométrica média para os 31 anos em análise foi de 427,6mm como salientado anteriormente. No mês de dezembro o posto que teve a menor precipitação pluviométrica média sendo o posto 09, com 108,1 mm e que está localizado no município de Ibirubá Com relação

ao posto de maior média mensal foi o posto 25, com 169,8 mm que está localizado no município de Condor situado a noroeste da bacia. Na espacialização dos dados mensais de dezembro o setor norte da bacia hidrográfica obteve os maiores valores de precipitação pluviométrica variando entre 154-168mm. Na região central e sul tiveram os menores valores da média mensal, sendo elas estabelecidas entre as cotas de 109-123mm. Assim, para o mês de dezembro a precipitação pluviométrica se distribui de sudoeste para nordeste dentro da bacia.

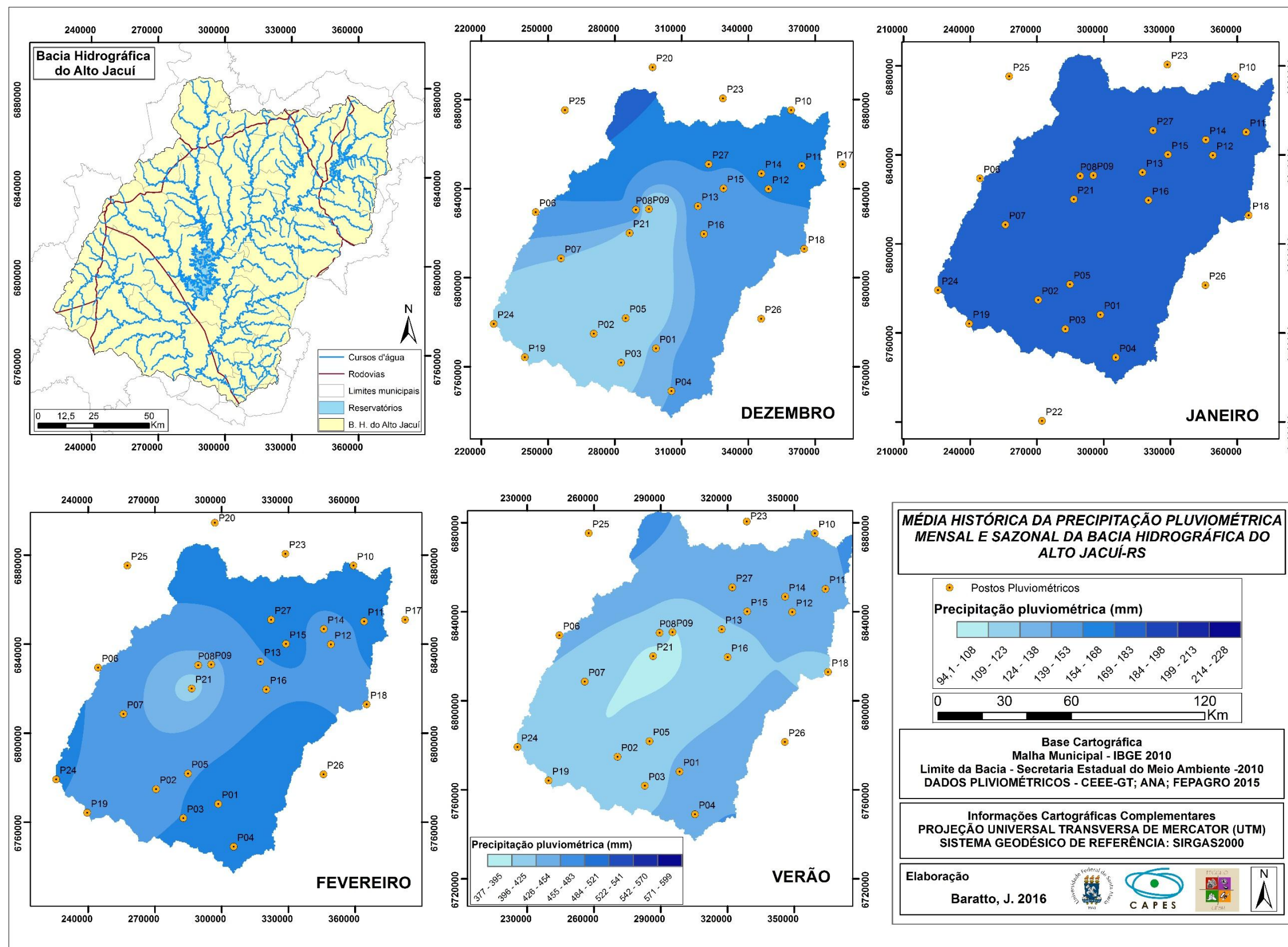
Para o mês de janeiro as médias máxima e mínima para o período foram nos postos 22 e o 21 com 171,1 mm e 144,8 mm, respectivamente. O primeiro posto está localizado no município de Quinze de Novembro, na região central da bacia, enquanto que o segundo no município de Dona Francisca, situado na região sul. Por meio da interpolação das médias mensais de todos os postos observou-se que ocorre uma homogeneidade nos dados de precipitação, assim, as distribuições de chuvas variaram entre 169-183mm.

No mês de fevereiro o posto 21 manteve-se como menor média mensal sendo de 114,7mm, enquanto que o de maior média foi o 17 com uma precipitação de 159,1 mm o qual está localizado no município de Marau. Neste mês os setores norte e sudoeste da bacia hidrográfica tiveram as maiores precipitações médias variando entre 154 -168 mm. Na região central da bacia hidrográfica concentrou-se uma ilhota de menor precipitação variando de 109-123 mm.

Assim, para o período considerado de verão o posto 21 foi o que teve a menor média sazonal, com uma precipitação de 379,6 mm, localizado na região central da bacia. Já o posto que obteve a maior média foi o 25 que está situado no município de Condor. Em relação a distribuição da precipitação pluviométrica, pequenas áreas da região norte da bacia hidrográfica tiveram as maiores médias. Na região central da bacia hidrográfica localizam-se os menores valores de precipitação média sazonal variando entre 377-395 mm.

De maneira geral, no verão os menores valores de precipitação média se encontram na região central próximo ao reservatório Passo Real, dados estes apresentados na figura 34, é possível observar a distribuição mensal e sazonal da precipitação média histórica do período do verão para a bacia hidrográfica do Alto Jacuí.

Figura 34- Distribuição da precipitação pluviométrica no período do verão



Fonte: Autora



No período sazonal do outono os meses representativos são março, abril e maio, os quais apresentaram uma precipitação média sazonal de 407,1mm. No primeiro mês, março, o posto 17 teve a menor precipitação pluviométrica mensal (94,3mm) que está localizado no município de Marau, já o posto 22 localizado em Dona Francisca foi o que teve a maior média mensal, com 137,9mm. Na variação espacial da precipitação o mês de março teve os menores valores de precipitação média no setor central e nordeste da bacia, sendo que os valores variam entre 94,1-108mm, nas outras áreas da mesma os valores de precipitação variam entre 109-123mm.

No mês de abril o posto 12 foi o que teve a menor precipitação média (135,0mm) este localizado no município de Passo Fundo. O posto 04, localizado em Arroio do Tigre na região sul da bacia, obteve a maior média com 1774,9mm, na interpolação dos dados de precipitação média para o mês em análise, o setor oeste e sul alcançou os maiores valores, os quais variam entre 184-198mm, enquanto que a região central e nordeste tiveram os menores valores de precipitação média mensal, com variação de 169-183mm.

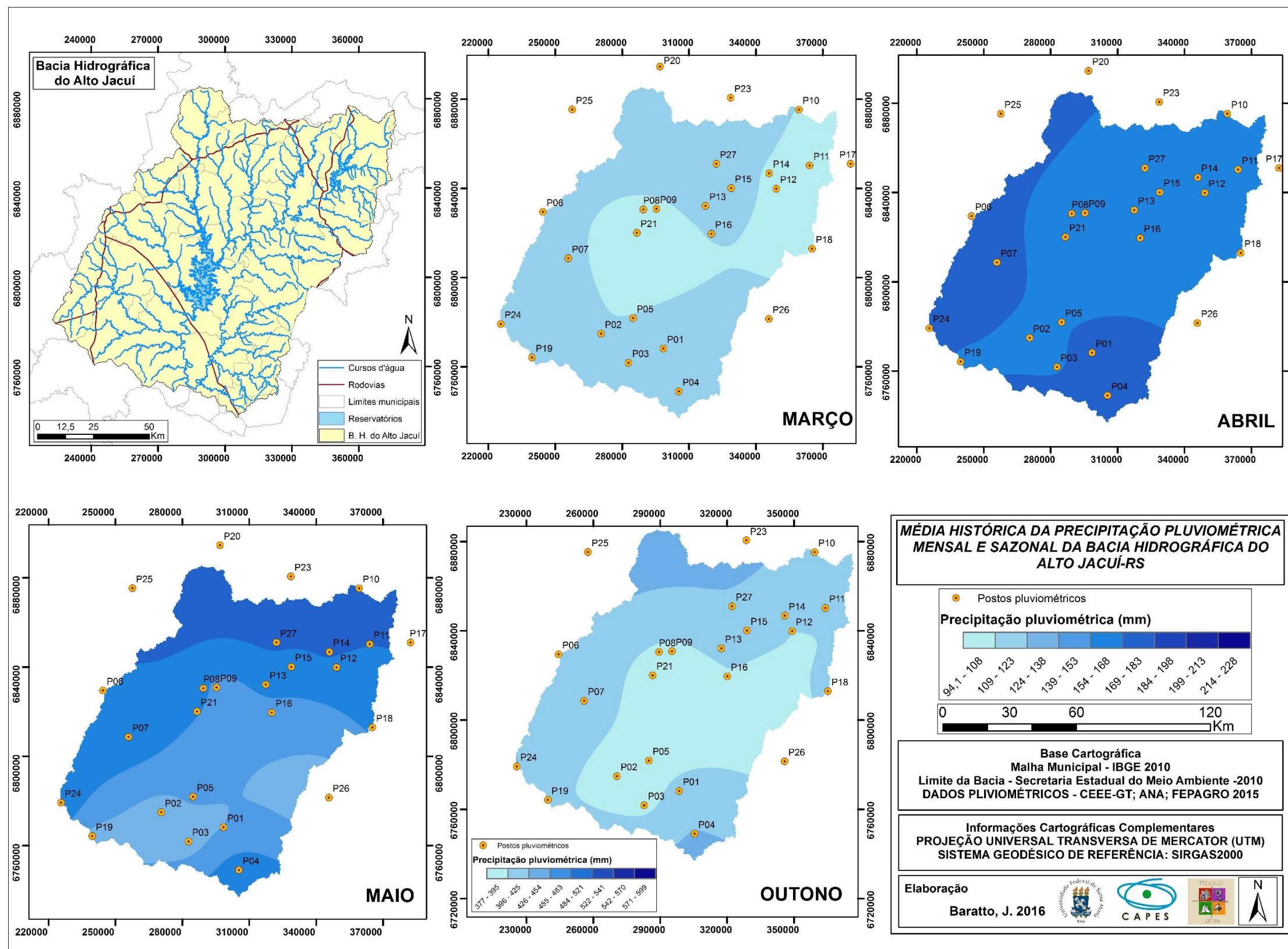
Para maio o posto 26 foi o que atingiu a menor média para o período com 120,9 mm estando localizado no município de Barros Cassal. O posto 25 foi o que obteve a maior média, sendo este localizado no município de Condor. Em maio, o setor norte da bacia hidrográfica obteve os maiores valores de precipitação variando de 154-168mm. Na região sudoeste da bacia hidrográfica e em uma pequena área na região leste contiveram as menores precipitações para o mês, com variação de 109-123mm, neste mês ocorreu um aumento da precipitação de sul para norte.

No período sazonal do outono o posto 03 (Figura 35), foi o que atingiu a menor precipitação média, com 366,9mm, e está localizado no município de Arroio do Tigre. O posto 22, localizado no município de Dona Francisca, alcançou a maior precipitação para o período com 460,5mm. Relacionada a distribuição espacial das chuvas, para o outono os maiores volumes concentraram-se no setor norte da bacia, assim o volume precipitado nessa área varia entre 426-454mm. Já na região centro-leste da bacia, tiveram os menores valores de precipitação com variação de 377-395mm. Os menores volumes de chuva foram próximos ao reservatório Passa Real e nas maiores altitudes da bacia, bem como analisado nos meses do período sazonal do verão.





Figura 35- Distribuição da precipitação pluviométrica no período do outono



Fonte: Autora.





No período do inverno, cujo os meses referentes são junho, julho e agosto, a precipitação média sazonal foi de 430,6mm. Para o mês de junho o posto 02 foi o que atingiu a menor média pluviométrica, com 126,3 mm sendo localizado no município de Júlio de Castilhos. O posto 24 alcançou a maior média para o mês de junho com 161,7mm, estando localizado no município de Tupanciretã. Neste mês com a interpolação dos dados pluviométricos não foi possível observar grande variação, assim a precipitação pluviométrica dentro de todos os postos ficou no intervalo de 154-168mm.

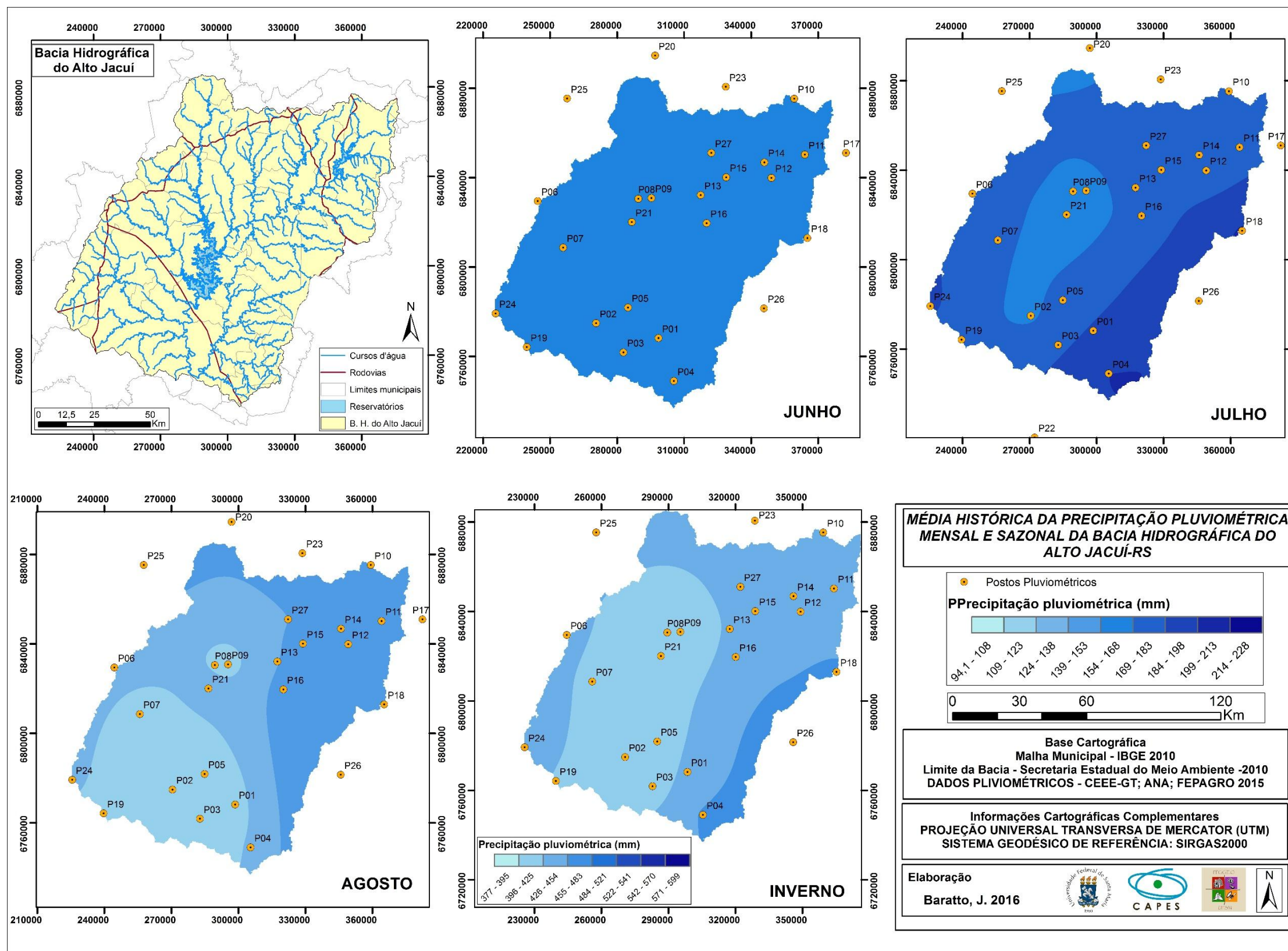
O segundo mês referente ao período do inverno, julho, o posto 09 atingiu a menor média mensal com 144,9mm. Já o posto 26 obteve-se a maior média com 187,0mm localizado no município de Barros Cassal. No mês de julho a região central da bacia hidrográfica atingiu os menores valores de precipitação, com variação de 154-168mm. Os maiores valores de precipitação média sazonal ocorreram na região sudeste da bacia, com variação de 184-198mm. As outras áreas da bacia hidrográfica tiveram a precipitação entre 169-183mm.

No mês de agosto o posto 03 foi o que atingiu a menor média com 105,1mm, que está localizado no município de Arroio do Tigre. O posto 26 obteve-se a maior precipitação média com 143,0mm. Neste mês pode-se observar que ocorreu grande variação da precipitação média na bacia. Na região sul e sudoeste localizando as menores variações da precipitação, variando entre 109-123mm. Na região central da bacia hidrográfica foi possível observar uma ilhota com precipitação média baixa. Os maiores valores de precipitação média estão localizados nos setores nordeste e leste, com variação de 139-153mm. Assim, foi possível verificar que a precipitação média mensal para a bacia hidrográfica no mês de agosto variou de sudoeste para nordeste, sendo que em sudoeste ocorreram os menores valores e a nordeste com os maiores valores de precipitação.

No inverno o posto 26 foi o que alcançou a maior precipitação média, com 478,0mm que está localizado no município de Barros Cassal, bem como no mês anterior. O posto 09 obteve a menor média para o inverno, com 388,1mm que está localizado no município de Ibirubá Na variação espacial dos dados da precipitação pluviométrica sazonal os menores valores de precipitação se localizam na região central da bacia, cuja variação é de 396-425 mm. Na região leste e oeste da bacia hidrográfica tiveram os maiores valores de chuva para o período do inverno, sendo a variação de 455-483mm. Dessa forma, na bacia hidrográfica para o período do inverno, as menores precipitações ocorreram na região central e as maiores próximo aos divisores de água da mesma. Na Figura 36, é possível ver a distribuição espacial das precipitações para o período em questão.



Figura 36- Distribuição da precipitação pluviométrica no período do inverno



Fonte: Autora.



No período sazonal da primavera que corresponde os meses de setembro, outubro e novembro, foi o período sazonal mais chuvoso. Assim, a precipitação pluviométrica média foi de 533,9mm. No mês de setembro, o posto 02 obteve a menor precipitação média com 152,5mm que está localizado no município de Júlio de Castilhos. O posto 25 atingiu a maior média mensal com 198,6mm localizado no município de Condor. Na região norte da bacia hidrográfica ocorreram os maiores valores de precipitação média mensal, variando entre 190-228mm. Na região sudoeste da bacia hidrográfica ocorreram os menores valores de precipitação mensal, variando entre 154-168mm. As distribuições das chuvas para a bacia hidrográfica no mês de setembro ocorreram de sudoeste para norte, sendo as menores médias localizadas na região sudoeste e as maiores no norte da mesma.

Para o mês de outubro o posto 03 obteve a menor precipitação média, com 161,9mm, localizado no município de Arroio do Tigre. O posto de maior média mensal continuou sendo o 25 com 223,3mm. Na espacialização das médias mensais de outubro pode-se perceber que a maior parte da bacia hidrográfica possui uma variação entre 190-228mm. Na região sudoeste ocorreram os menores valores de precipitação pluviométrica que variaram entre 154-168mm.

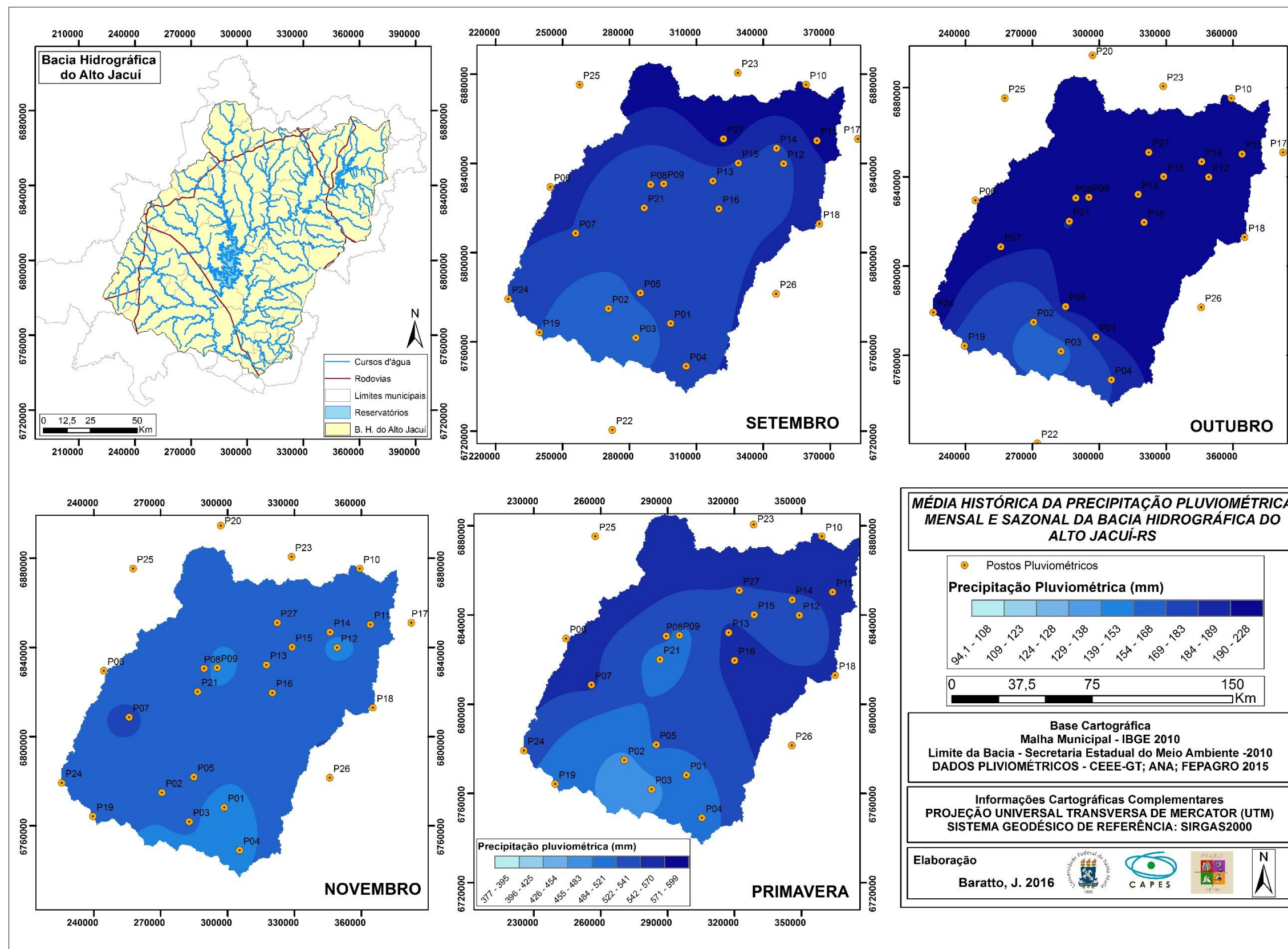
Em novembro o posto 25 continuou sendo o posto de maior média mensal com 172,6mm. Já o posto com menor média foi o 22 com uma precipitação de 145,8mm. Na espacialização dos dados do mês de novembro a maior parte da bacia hidrográfica obteve uma precipitação média mensal entre 154-168mm. Na região sul da bacia hidrográfica os valores de precipitação média variaram entre 139-153mm. Também pode-se observar algumas ilhotas com precipitação média mensal de 139-153mm. Nas proximidades ao ponto 07 a precipitação média mensal variou entre 169-183mm.

O período sazonal da primavera o posto que obteve a menor média foi o posto 3 com 472,1mm que está localizado no município de Arroio do Tigre. O posto que atingiu a maior precipitação média foi o posto 25 com 594,4mm. A região sudoeste da bacia hidrográfica ocorreram os menores valores de precipitação média sazonal, variando entre 455-483mm. Também foi possível constatar que na região central, próxima aos pontos P21, P08 e P09, uma ilhota com precipitação média sazonal de 484-521mm. Os maiores valores totais da precipitação se localiza no setor oeste, norte e leste da bacia hidrográfica, com precipitação de 542-570mm. Assim, os maiores volumes de chuvas, para a área de estudo na primavera, predominam na região norte da bacia. Na região sudoeste e sul concentram-se os menores valores de precipitação, conforme a Figura 37.





Figura 37- Distribuição da precipitação pluviométrica no período da primavera



Fonte: Autora.





Em relação aos períodos mensais pode-se observar que embora não haja uma similaridade nas distribuições das chuvas, a maioria dos meses apresentaram na sua região sul e sudoeste os menores valores de precipitação média mensal, enquanto que na região norte e nordeste os maiores valores, como por exemplo, em dezembro, maio, agosto setembro, outubro.

Dois meses (janeiro e junho) tiveram a precipitação média semelhante para todos os postos pluviométricos, seguido pelos meses de março e abril, os quais se comportaram da mesma forma, sendo que no centro-norte alcançaram as menores médias. O mês de abril obteve as médias maiores. Os meses de fevereiro, julho, novembro tiveram comportamentos diferentes da distribuição da precipitação em relação dos demais meses. Em fevereiro a porção central da bacia hidrográfica obteve as menores médias. O mês de julho atingiu uma precipitação média semelhante ao mês de fevereiro. Em novembro ocorreram ilhotas de maior e menores média.

Nos períodos sazonais a região central da bacia hidrográfica obteve as menores médias. Na primavera e no outono a região norte alcançou as maiores médias de precipitação pluvial. Já no inverno a região leste e sudoeste obteve as maiores médias. Contudo, vale ressaltar que nesse subitem foi especializado a precipitação média mensal e sazonal dos 31 anos em análise.

### 5.5.2 Análise anual dos dados pluviométricos

Os totais anuais foram separados em três décadas para a melhor análise dos dados, a primeira década corresponde os anos de 1980 a 1989, a segunda de 1990 a 1999 e a última de 2000 a 2010, tendo está última 11 anos de análise.

No ano de 1980 o posto 19 obteve a menor precipitação total anual com 1344,7mm. O posto 25 atingiu a maior precipitação total (1847,8mm). Sendo a variação da precipitação para o ano de 503,1mm. Neste ano período no setor norte da bacia hidrográfica ocorreram os maiores volumes de precipitação total, com valores entre 1644-1832mm, na região central da mesma, os valores de chuva variam entre 1455-1654mm. Na região sul da bacia hidrográfica a precipitação total anual varia entre 1266-1454mm, sendo os menores valores de precipitação, bem como, as menores altitudes.

No ano de 1981 o posto como a maior precipitação foi o 10, alcançando 1577,0mm, enquanto que o posto 19 obteve a menor precipitação total (1027,8mm) entre totais anuais, sendo observada uma variação entre os postos de 449,2mm. Na região sudoeste da bacia hidrográfica o total anual de cada posto variou entre 888-1107mm, sendo os menores valores de precipitação. Na região central da bacia hidrográfica foi possível observar uma ilha com

variação entre 1077-1265mm. Na maior área da bacia hidrográfica ocorreram chuvas entre 1266-1454mm, assim, este ano a precipitação aumentou de sudoeste para norte.

Em 1982, o posto 27 alcançou a maior precipitação total, com 2439,2mm e o posto 13 obteve a menor precipitação total com 1657,8mm. Sendo a variação entre os postos de 781,4mm, neste ano, a precipitação pluviométrica total anual variou no intervalo de 2022-2210mm para toda a bacia. O posto 20 alcançou a maior precipitação total para o ano de 1983 com 2626,4mm, enquanto que o posto 22 obteve a menor precipitação total com 1936,2mm, sendo a variação entre os pontos de 690,2mm. O setor norte da bacia hidrográfica e uma pequena área no divisor d'água na região leste da mesma, atingiram os maiores valores de precipitação total, com variação entre 2589-2777mm. Na região central ocorreram chuvas totais entre 2400-2588mm. Já no setor e sudoeste ocorreram as menores precipitações com 2022-2210mm.

No ano de 1984, o posto 23 atingiu a maior precipitação total com 2489,2mm, enquanto que a menor precipitação total foi registrada no posto 12, para este ano. A variação da precipitação neste período foi de 576,3mm. Na região central, próximo aos pontos P08, P09 e P21, ocorreram as menores precipitações totais variando entre 1830-2021mm, a maior região da bacia hidrográfica tem precipitação entre 2022-2210mm. Nas áreas próximas ao divisor d'água ocorreram, para este ano, as maiores precipitações com 2211-2399mm.

No ano de 1985 o posto 25 alcançou a maior precipitação total (2022,3mm), enquanto que o posto 13, com 1303,2 mm, foi o que obteve a menor precipitação, sendo a variação para este ano de 639,1mm. Na espacialização dos dados totais anuais as maiores precipitações ocorreram no oeste da área de estudo, com a variação pluviométrica entre 1644-1832mm. Na região leste da bacia hidrográfica ocorreram os menores totais pluviométricos com 1455-1643mm.

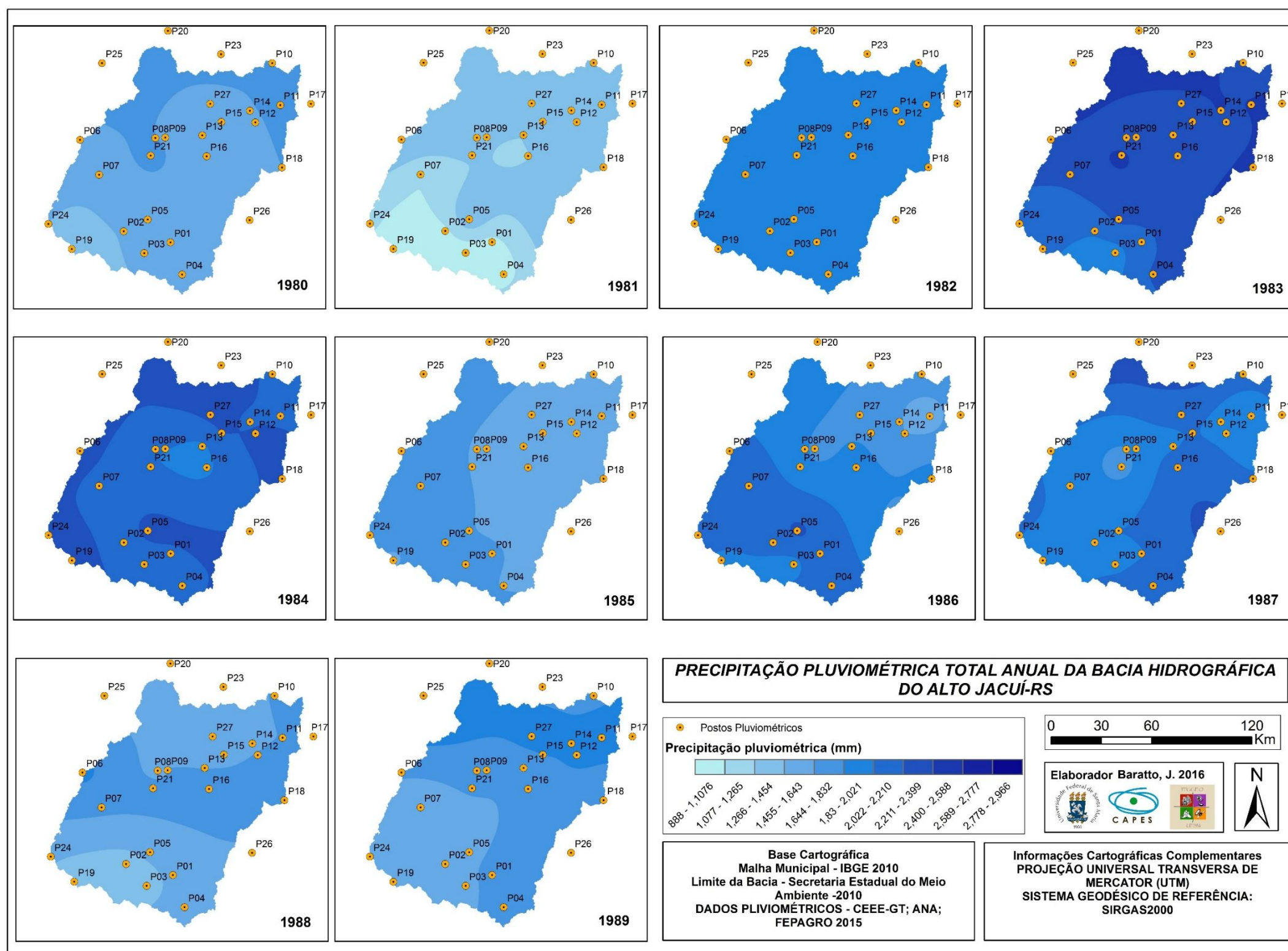
No ano de 1986 o posto 05 alcançou a maior precipitação total, sendo de 2253,4mm. E o posto 11 com a menor precipitação. A variação entre os postos foi de 707,5mm. O setor nordeste da bacia hidrográfica obteve a menor precipitação total com variação entre 1455-1832mm. Os maiores volumes totais estendem-se numa faixa de sul a oeste, com valores que variam entre 2022-2210mm.

Em 1987, o posto 23 alcançou a maior precipitação total com 2351,8mm. E o posto 21 como a menor precipitação, com 1756,6mm, sendo a variação entre os postos de 595,2mm. Neste ano, pequenas áreas na região norte, oeste e leste ocorreram os maiores totais de precipitação pluviométrica, com 2211-2399mm. Na região central da bacia hidrográfica

ocorreram os menores totais pluviométricos, com variação entre 1644-1832mm, conforme a Figura 38.



Figura 38- Distribuição da precipitação pluviométrica da primeira década de análise



Fonte: Autora



No ano de 1988 o posto 06 obteve a maior precipitação total, com 1935,8mm e o posto 02 a menor precipitação pluviométrica total. Cujas variações entre os dois postos foi de 597,2mm. Na região sudoeste ocorreram os menores totais anuais com 1077-1256mm. No setor central o maior valor total anual, com 1455-1643mm.

No ano 1989 o posto 25 alcançou a maior precipitação, em contrapartida o posto 03 obteve a menor, sendo 2152,5 mm para a maior precipitação e 1468,9 mm para a menor. Assim, a variação entre os postos foi de 683,6mm. Na região norte ocorreram os maiores valores totais anuais com precipitação entre 1644-1832mm, já os menores totais anuais localizam-se na região sudoeste-oeste, com 1266-1454mm.

Nesta primeira década de análise dos dados pluviométricos totais anuais os anos mais chuvosos foram 1983 e 1984 e os menos chuvosos foram os de 1981 e 1988. Nessa análise mostrou que há um comportamento similar dos dados totais anuais, sendo que, na maioria dos anos os menores valores de precipitação se encontram na região sudoeste da bacia hidrográfica e os maiores valores na região norte, evidenciando assim, a influência da altitude e das Frentes Frias na distribuição das chuvas, bem como ressaltado por Sartori (1993, 2003) e Rossato (2011).

Na segunda década de análise, o ano de 1990, o posto 25 atingiu a maior precipitação pluviométrica total de 2862,0mm, enquanto que o posto 07 obteve a menor precipitação com 1728,6mm. Esse ano foi um dos que ocorreu a maior variação entre os postos com 1133,4mm. Neste ano, pequenas áreas da região norte alcançaram a maior precipitação para o período com 2589-2777mm. Nas porções sul e sudoeste ocorreram as menores precipitações para a bacia, assim a precipitação variou entre 1644-1832mm.

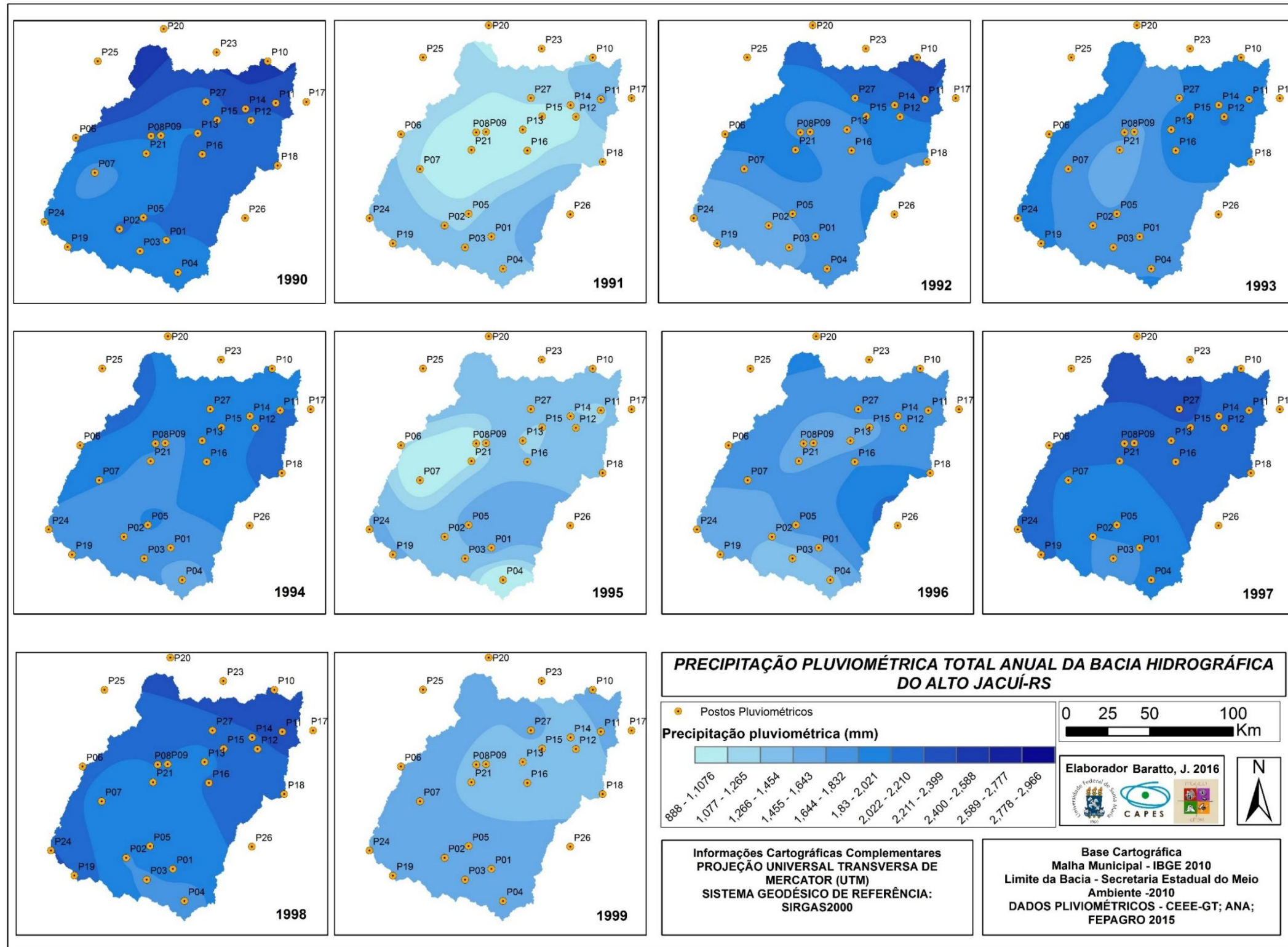
No ano de 1991 o posto 26 alcançou a maior precipitação total, com 1677,6mm enquanto que o posto 21 obteve a menor precipitação pluviométrica, com 991,2mm. A variação para este ano foi de 686,4mm, na região central da bacia hidrográfica ocorreram os menores valores de precipitação total anual, com variação de 888-1107mm. No setor noroeste e leste concentraram os maiores totais com 1266-1454m, sendo o ano classificado como ano-padrão menos chuvoso.

Em 1992, que foi classificado como ano-padrão habitual, o posto 10 atingiu a maior precipitação total com 2286,3mm. Já o posto 24 obteve a menor precipitação total com 1447,1mm. Sendo a variação entre os postos de 839,2mm. Por conta destes dados, este ano foi classificado como ano-padrão habitual, os menores valores de precipitações foram registrados na região sudoeste a bacia, já na região nordeste ocorreram os maiores valores de precipitação total, conforme mostra a Figura 39.





Figura 39- Distribuição da precipitação pluviométrica da segunda década de análise



Fonte: Autora



o ano de 1993 o posto 25 alcançou a maior precipitação para o ano, com 2150,0mm, enquanto que a menor precipitação total ficou no posto 21, a variação entre esses postos foi de 639,0mm. Neste ano na região central ocorreram as menores precipitações totais com 1454-1643mm. Nas porções noroeste e oeste ocorreram as maiores precipitações para a bacia, com precipitação total anual entre 1833-2021mm.

O posto 25, no ano de 1994, continuou sendo o posto de maior precipitação total com 2293,9mm, enquanto que o posto 04 obteve a menor precipitação para este ano. Sendo a variação entre estes postos 832,1mm. No ano de 1994 a menor precipitação concentrou-se na região sul da bacia. Em pequenas áreas no setor leste e oeste da bacia hidrográfica ocorreram as maiores precipitações totais, com 2022-2210mm.

No ano de 1995, o posto 22 atingiu a maior precipitação total, enquanto o 04 continuou sendo o posto de menor precipitação com 888,2mm, com uma variação entre de 778,2mm. Os menores valores de precipitação total para o ano de 1995 estão localizados na região oeste da bacia, com valores que variam entre 888-1107mm, no setor leste da bacia hidrográfica concentram os maiores valores de precipitação com 1455-1643mm. Nesse ano foi possível observar pequenas ilhotas com precipitação total de 1077-1265mm.

Em 1996, o posto 26 alcançou a maior precipitação total, com 2187,2mm, enquanto o posto 03 obteve a menor precipitação total de 1338,8mm, sendo a variação entre os postos de 848,4mm. No setor sul da bacia hidrográfica ocorreram as menores precipitações com 1077-1265mm, o setor leste acumulou as maiores precipitações pluviométricas com 2022-2210mm e no central da bacia hidrográfica foi possível observar uma ilhota com precipitação variando de 1266-1454mm.

No ano de 1997 o posto 27 atingiu a maior precipitação, sendo ela, de 2421,1mm, enquanto a menor precipitação total para este ano na bacia hidrográfica foi apresentada pelo posto 03, com uma variação pluviométrica entre os pontos de 764,7mm. Na espacialização dos dados no setor norte concentraram as maiores precipitações totais anuais, com variação de 2211-2399mm, no setor sul da bacia hidrográfica ocorreram os menores valores totais anuais, com precipitação variando de 1455-1643mm. Em 1997 a distribuição da precipitação estabeleceu os menores valores totais anuais na parte sul, para o norte com os maiores totais anuais.

Em 1998, o posto 23 alcançou a maior precipitação pluviométrica com 2411,6mm, enquanto que o 04 obteve a menor precipitação total, com uma variação entre os pontos de 711,2mm. O comportamento da distribuição das chuvas para o ano de 1998 foi semelhante ao

do ano anterior, sendo o setor sul com os menores valores totais anuais e o norte com os maiores valores, sendo os maiores valores variando entre 2211-2399mm e os menores valores entre 1455-1643mm.

No ano de 1999, o posto 24 alcançou a maior precipitação total (1690,0mm), enquanto que o posto 03 obteve a menor precipitação total com 12903mm. Neste ano ocorreu a menor variação da precipitação pluviométrica, sendo de 339.7mm, ao contrário dos dois últimos anos. Ainda no ocorrente ano, os maiores totais registrados ocorreram na região sul da bacia hidrográfica com precipitação entre 1455-1643mm, já a região centro-norte concentrou as menores precipitações totais com variação entre 1266-1454mm.

De maneira geral, nessa segunda década de análise pode-se verificar que a região central obteve os menores valores das precipitações totais, enquanto que os maiores totais de precipitação concentraram na região norte da bacia hidrográfica onde estão as nascentes dos principais rios que drenam a mesma, com as do Rio Jacuí-mirim, Rio Glória, Rio Jacuí. Assim, nessa década não pode-se evidenciar a influência das Frentes Frias na distribuição da precipitação total anual dos postos pluviométricos, mostrando-se dessa forma um comportamento diferenciado da década anterior.

Na terceira década de análise, no ano 2000, o posto 20 alcançou a maior precipitação total com 2151,9mm, já o posto com a menor precipitação total para a bacia hidrográfica foi o 21 com 1213,6mm, com uma variação pluviométrica de 938,3mm. Na espacialização dos dados totais anuais pode-se perceber que no setor central da bacia hidrográfica ocorreram as menores precipitações com variação entre 1226-1454mm, enquanto que os maiores valores localizaram-se em pequenas áreas no setor norte, leste e sul da mesma, sendo os valores nessas áreas, variando entre 1644-1832mm.

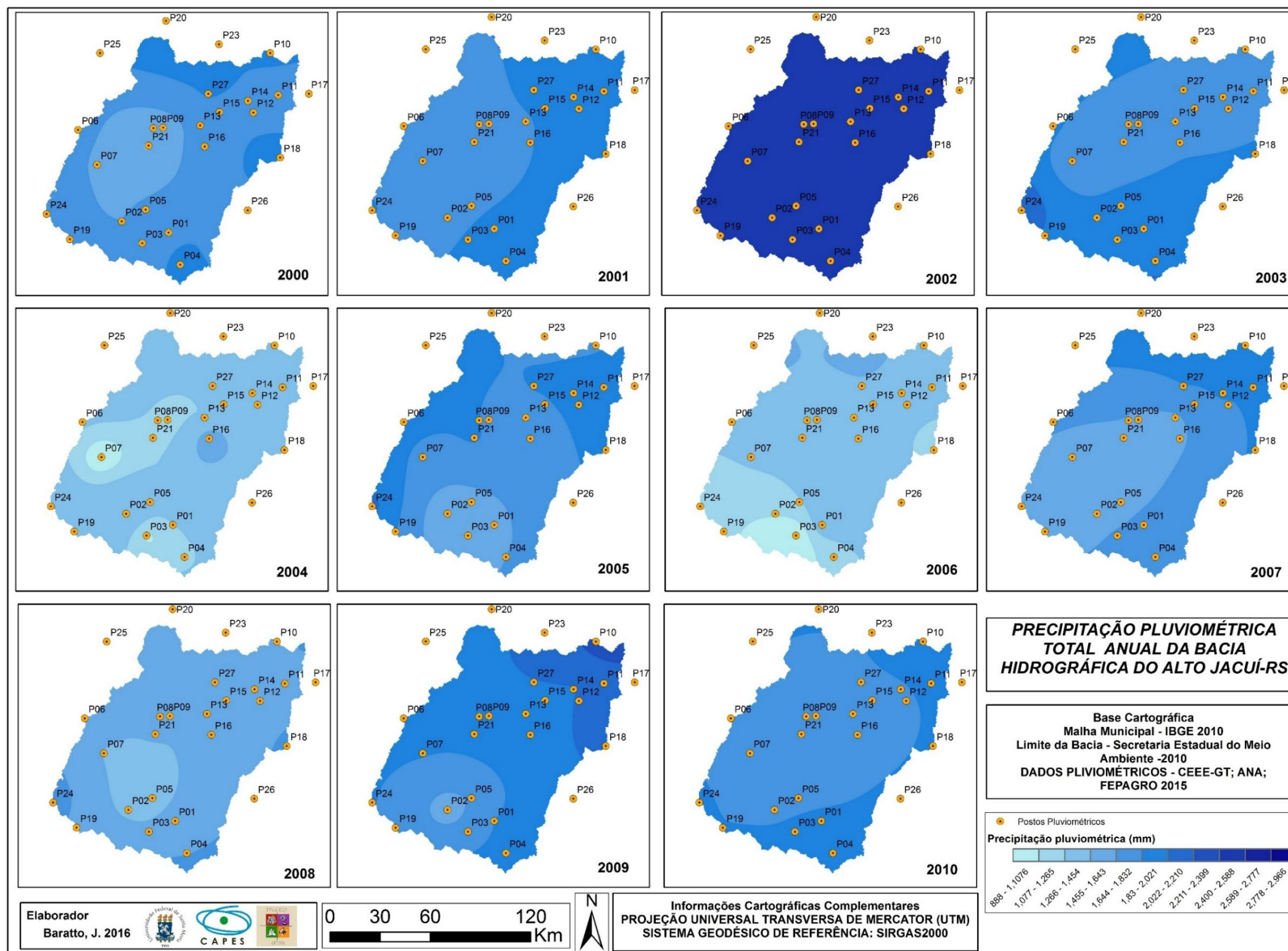
No ano de 2001 o posto 24 alcançou a maior precipitação total com 2326,2mm e o posto de menor precipitação foi o 19 com 1128,8mm. A variação pluviométrica nesse ano foi a maior registrada nos últimos 31 anos, com 1197,4 mm de diferença entre os pontos. No setor oeste da bacia hidrográfica ocorreu os menores valores totais de precipitação com variação entre 1644-1832mm, já no setor leste da bacia, os totais anuais de chuva variaram entre 1833-2021mm.

Em 2002, que foi considerado o ano-padrão mais chuvoso, o posto 24 alcançou a maior precipitação total com 2961,2mm, bem como no ano anterior, o 03 foi o de menor precipitação pluviométrica, com 2611,6mm, a variação espacial das chuvas ficou entre as classes de 2778-2966mm. Assim, toda a bacia hidrográfica obteve uma pluviometria elevada, confirmando

como sendo o ano mais chuvoso da mesma. Na Figura 40, é possível observar a precipitação pluviométrica da terceira década de análise.



Figura 40- Distribuição da precipitação pluviométrica da terceira década de análise



Fonte: Autora





No ano de 2003, o posto 24 alcançou a maior precipitação total com 2426,6mm e o posto de menor precipitação foi o posto 07 com 1433,5mm, a variação pluviométrica no ano foi de 993,1mm e as maiores totais anuais estão entre 2022-2210mm, localizado no setor sudoeste da bacia, próximo ao posto 24, enquanto que os menores valores de chuva estão na região centro-norte da bacia hidrográfica com uma precipitação de 1644-1832mm.

No ano de 2004, o posto 16 alcançou a maior precipitação total com 1640,3mm e o posto de menor precipitação, como no ano anterior, continuou sendo o posto 07 com 1011,9mm, apresentou uma variação pluviométrica de 628,4mm. Neste ano, o setor oeste da bacia hidrográfica concentrou os menores volumes precipitados com 888-1076mm, enquanto que na maior parte da bacia hidrográfica ocorreu uma precipitação entre 1266-1454mm. O maior volume precipitado concentrou-se próximo ao posto 16.

Em 2005 o posto 24 alcançou a maior precipitação total com 2298,9mm, já o posto de menor precipitação foi o 02 com 1269,6mm, a variação pluviométrica nesse ano foi de 029,3mm. Neste ano os maiores valores de precipitação ocorreram no setor oeste e leste da bacia, cujo valores variam entre 1833-2021mm, enquanto que os menores valores totais concentraram na região sul da bacia, com 1266-1454mm.

No ano de 2006, o posto 23 alcançou a maior precipitação total com 1563,7mm, já o de menor precipitação continuou sendo o posto 03, com 1038,1mm, a variação pluviométrica no ano foi de 525,6mm. No setor sudoeste da bacia hidrográfica ocorreram os menores totais pluviométricos com variação de 888-1106mm e no setor norte da mesma ocorreram os maiores volumes totais com 1455-1643mm. A região central da bacia hidrográfica a precipitação total anual variou entre 1266-1454mm, assim, a precipitação pluviométrica se estabeleceu de sudoeste pra norte.

Em 2007 o posto 26 obteve a maior precipitação total com 2075,9mm e o posto de menor precipitação continuou sendo o posto 05, com 1411,0mm, a variação pluviométrica no ano foi de 664,9mm. Neste ano os menores totais de precipitação se localizaram na região sudoeste, com variação de 1455-1643mm. E os maiores totais se localizam na região nordeste, com precipitação que variam de 1833-2021mm.

Em 2008 o posto 22 atingiu a maior precipitação total com 2072,7mm, enquanto que o posto de menor precipitação foi o 05 com 1203,4mm, o que gerou uma variação pluviométrica de 869,3mm. Neste ano a maior parte da bacia hidrográfica obteve a precipitação pluviométrica variando entre 1455-1643mm, pequenas áreas da região sul, leste e oeste apresentaram oscilação que ficaram entre 1644-1832mm, as quais foram os mais altos índices registrados no

ano, já as menores precipitações ocorreram na região central da bacia, próximas aos postos P02, P05 e P07, com registro variando entre 1266-1454mm.

No ano de 2009 o posto 10 alcançou a maior precipitação total com 2358,4mm, enquanto que o menor índice foi o registrado pelo posto 02, com 1407,4mm, a variação pluviométrica no ano foi de 951,0mm. A precipitação total anual concentrou na região sul os menores valores, com variação entre 1455-1643mm, enquanto que na região nordeste ocorreram os maiores valores precipitados com 2211-2399mm. Assim, o comportamento das chuvas para este ano foi de sudoeste para nordeste.

Em 2010 o posto 22 obteve a maior precipitação total com 2421,0mm. E o posto de menor precipitação foi o posto 13, com 1471,6mm, a variação pluviométrica no ano foi de 949,4mm. No último ano de análise dos totais anuais, pode-se perceber que na região central da bacia hidrográfica ocorreram os menores totais entre 1644-1832mm, já na região sul, leste e norte concentram os maiores totais com variação de 1833- 2021mm.

Nessa última década pode-se observar a tendência de a região centro-sul ser menos chuvosas continua, na maioria dos anos. Sendo que a região norte e nordeste possui uma leve tendência a ser mais chuvosa nessa década. Porém não existe uma regularidade na distribuição espacial das chuvas para essa década.

Analisando os totais anuais dos 31 anos pode-se perceber que há uma tendência na região central e sudoeste da bacia hidrográfica em concentrarem os menores valores de precipitação pluviométrica. Com exceção, dos anos de 1982 e 2002 que tiveram uma precipitação homogênea em todo a bacia, assim, observa-se que a precipitação total anual para a bacia hidrográfica do Alto Jacuí na maioria dos anos tem uma orientação de sudoeste para nordeste, sendo que, sudoeste tem os menores totais e em nordeste os maiores totais anuais. Porém ao analisar cada ano separadamente não existe uma homogeneidade na distribuição espacial da precipitação pluviométrica total anual, assim, cada ano a precipitação ocorre de maneira diferenciada, principalmente nos dados de maior precipitação total. Contudo, a uma tendência da região central e sul ser a menos chuvosa na maioria dos anos.

### 5.5.3 Análise dos anos-padrões (sazonal e anual)

Nessa análise foi espacializada a precipitação total sazonal para os anos considerados padrões, afim de analisar com se estabelece a distribuição das chuvas para cada estação do ano nestes anos classificados.

Na espacialização dos dados pluviométricos do ano considerado como ano-padrão menos chuvoso (1991) pode-se perceber uma grande variação nos períodos sazonais. No verão o posto 21 alcançou a menor precipitação para o período com 228,9mm. Já o posto 26 foi o que obteve o maior total com 498,6mm. No período sazonal do verão os menores totais anuais estão na região central da bacia hidrográfica e se estendem até o norte, cuja precipitação varia de 272-338mm, enquanto que o restante da bacia hidrográfica tem a precipitação pluviométrica entre 339-405mm.

No período sazonal do outono o posto 12 obteve o menor volume precipitado com 138,1mm. E o posto 22 alcançou o maior total com 514,4mm. Os maiores totais de precipitação se localizaram na região sul da bacia, com variação de 339-405mm, já na região norte da mesma, concentram-se os menores valores de precipitação sazonal com valores entre 131-204mm.

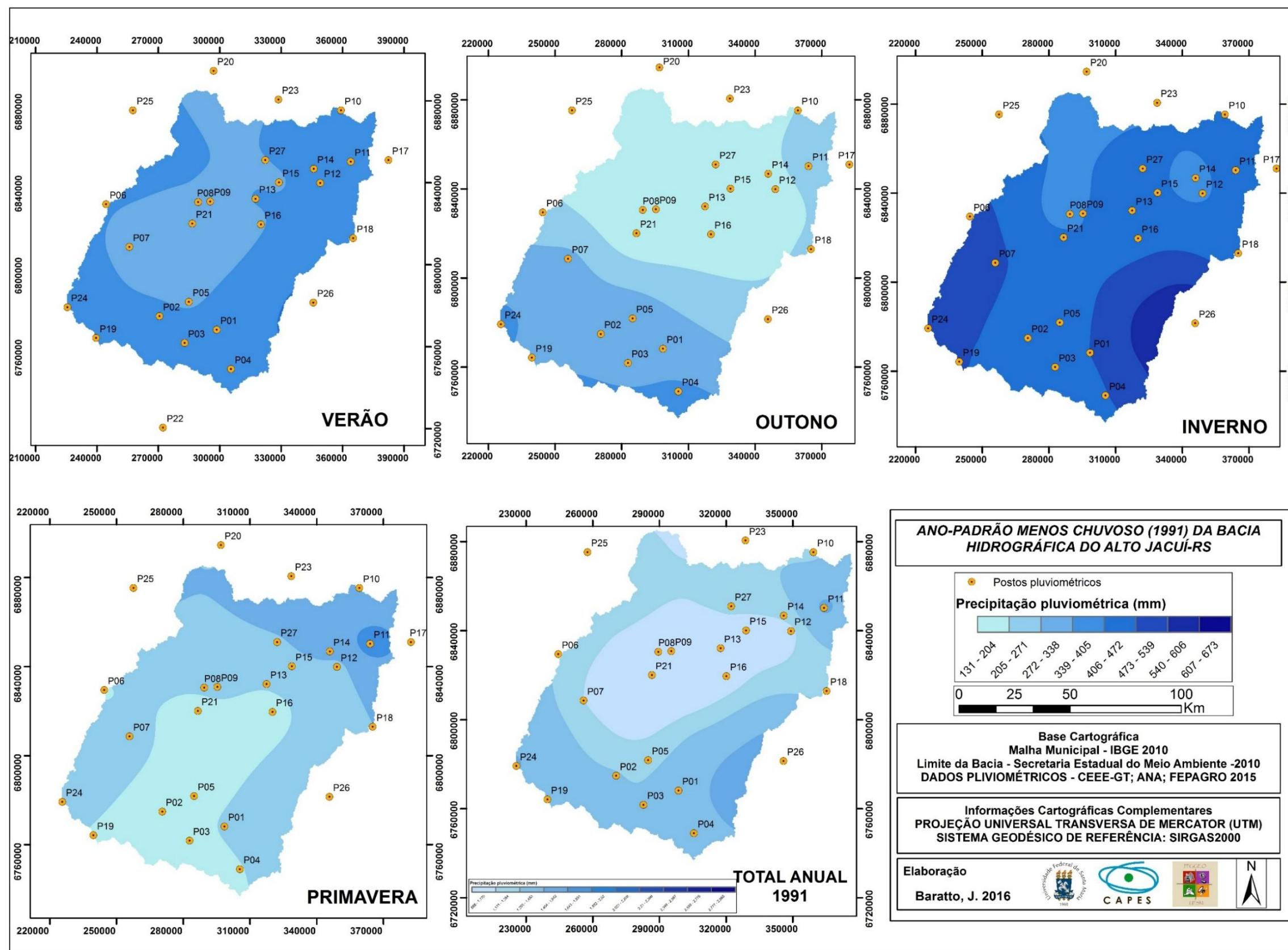
No inverno o posto 26 alcançou a maior precipitação na bacia, com 663,5mm e o posto 08 obteve a menor precipitação com 303,9mm. Assim, os valores de precipitação mais elevados se localizam na região sudeste da bacia, com totais de 607-673mm. Para o ano menos chuvoso o período invernal foi o período que apresentou os maiores índices pluviométricos.

Na bacia hidrográfica do Alto Jacuí na primavera o posto 11 alcançou a maior precipitação com 379,8mm, já o 22 obteve a menor precipitação total registrada com 160,2mm. Na espacialização dos dados totais sazonais na região centro-sul da bacia hidrográfica concentraram os menores valores totais anuais com variação de 121-204mm, enquanto que no setor nordeste, ocorreram os maiores valores de precipitação com variação de 339-405mm.

Neste ano-padrão no período sazonal do inverno ocorreu 35% das chuvas, sendo o período mais chuvoso deste ano. No verão 28% das chuvas ocorreram nesse período. No outono e na primavera ocorreram 19% em ambas as estações. Não foi possível verificar uma regularidade na distribuição da precipitação pluviométrica sazonal no ano-padrão menos chuvoso da bacia hidrográfica do Alto Jacuí, conforme a figura 41. Porém na distribuição total anual da precipitação pluviométrica pode-se perceber que a região central da bacia hidrográfica foi menos chuvosa. E em pequenas áreas, uma na região nordeste e outra na região leste, tiveram os maiores totais para este ano.



Figura 41- Distribuição da precipitação pluviométrica do ano-padrão menos chuvoso



Fonte: Autora.



No ano-padrão habitual (1992) o período sazonal do verão obteve como o ponto mais chuvoso o 22 com 552,3mm e o posto menos chuvoso 21 com 222,5mm. Na espacialização dos dados totais desse período pode-se observar que na região central da bacia hidrográfica concentraram os menores valores, com variação de 212-288mm, enquanto que na região nordeste ocorreram os maiores valores totais com 421-486mm. No outono o posto mais chuvoso foi o 20 com 734mm, já o posto 19 o menos chuvoso, assim, na região norte da bacia hidrográfica ocorreram os maiores valores de precipitação total anual com variação de 685-750mm, enquanto a região sul concentrou os menores valores de precipitação com 289-288mm.

No período invernal o posto 21 foi o mais chuvoso com 739,5mm e o posto 19 continuou sendo o menos chuvoso com 318,2mm. Na espacialização dos dados totais sazonais os valores de precipitação ficaram entre 421-486mm, assim, nesse período as chuvas foram homogêneas em toda a bacia.

Na primavera o posto 11 foi o mais chuvoso, com 615,4mm, e o 03 de menor precipitação total sazonal com 318,5mm. Na região sul da bacia hidrográfica ocorreram os menores valores totais desse período, com precipitação que variam entre 355-420mm. Na região central da bacia hidrográfica a precipitação pluviométrica variou entre 421-486mm, enquanto que no setor norte da mesma, ocorreram os maiores valores precipitados com variação entre 487-552mm.

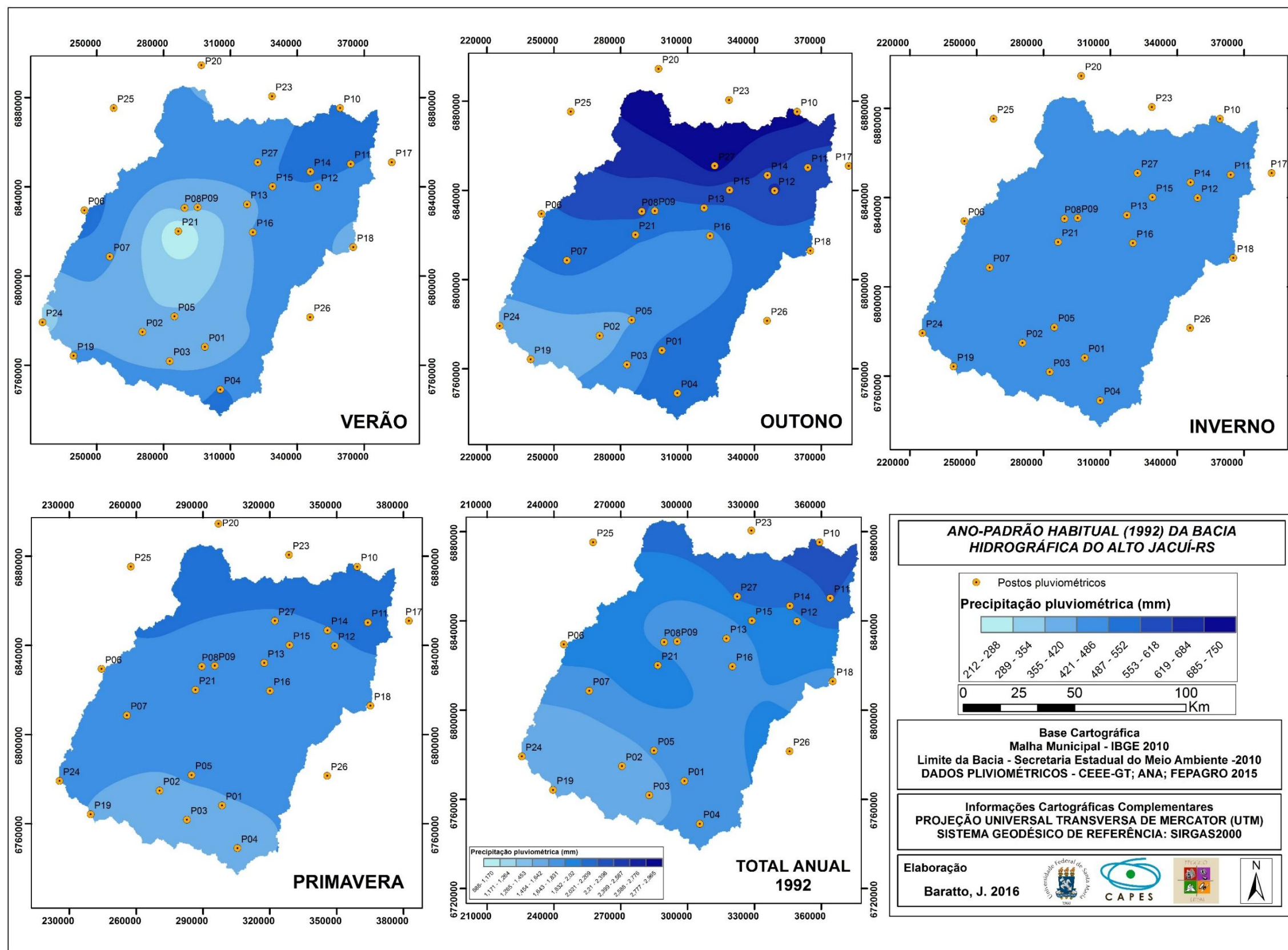
No ano habitual, o período sazonal do outono foi o mais chuvoso (29%) para a bacia, a primavera assume o segundo lugar como 25% das chuvas, já o verão e o inverno ficaram com 23% das chuvas para o ano-habitual de 1992. Com relação à distribuição das chuvas a região centro-sul foi menos chuvosa e a região norte da bacia hidrográfica a mais chuvosa para esse ano, assim, ocorreu um aumento da precipitação a montante da bacia, na região da nascente dos principais rios. Na Figura 42, é possível observar a distribuição da precipitação pluviométrica sazonal e total anual para o ano-padrão habitual.

Esse ano classificado como ano-padrão habitual, pode-se dizer, que melhor representa a distribuição da precipitação pluviométrica da bacia, pois se estabelece de forma semelhante a distribuição da precipitação média total da bacia. Sendo influenciada pelo efeito da altitude e da passagem das frentes frias pelo estado.





Figura 42- Distribuição da precipitação pluviométrica do ano-padrão habitual



Fonte: Autora.



No ano-padrão mais chuvoso (2002), na estação de verão o posto que apresentou maior nível pluviométrico foi o 02 com 282,9mm, enquanto que o menos chuvoso para este período foi o 13 com 696,0mm. A espacialização dos dados totais sazonais mostrou que na região sul da bacia hidrográfica concentrou os menores valores de precipitação com variação entre 258-363mm, já no setor norte-nordeste da mesma estão os maiores valores de chuvas, próximos ao posto 13.

No outono o posto 21 teve a menor precipitação total sazonal com 436,0mm, enquanto que o 27 alcançou a maior precipitação total com 769,4mm. Neste período sazonal pode-se observar que na maior parte da bacia hidrográfica ocorreram precipitações entre 526-606mm. Na distribuição da precipitação observou também pequenas ilhotas com precipitação entre 445-525mm, estas localizadas na região sul, na região central e também na região nordeste da bacia. Na região centro-norte foram observados os maiores valores de precipitação com 607-687mm.

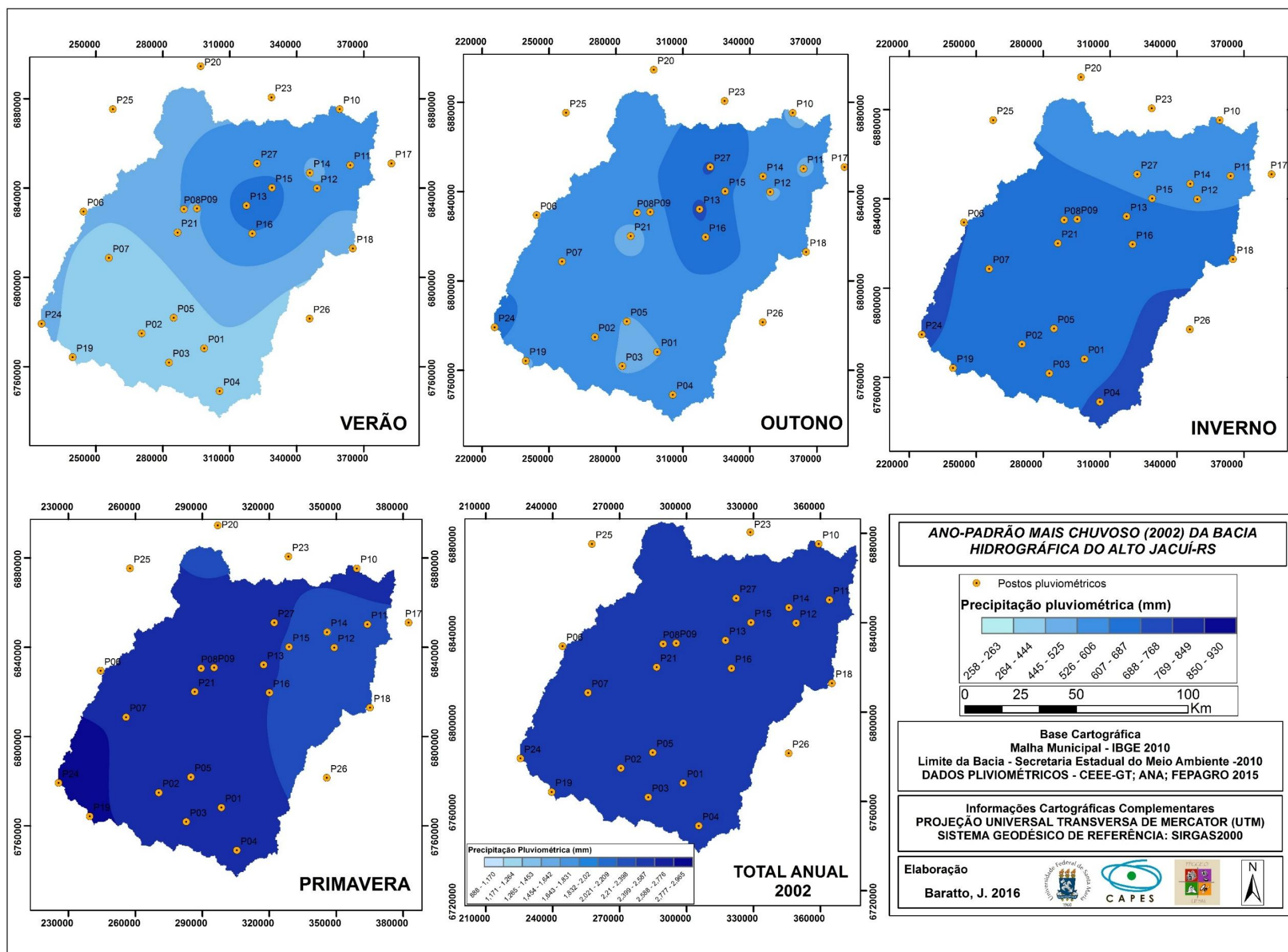
No inverno o posto 19 obteve a menor precipitação total com 482,9mm e o posto 24 com o maior valor precipitado com 871,2mm. Os maiores valores de precipitação estão localizados no setor leste e oeste da bacia hidrográfica com valores entre 688-768mm. Na região central da mesma estão localizados os valores de precipitação entre 607-687mm, enquanto que no setor sul estão situados os menores totais sazonais da precipitação com variação de 526-606mm.

Na primavera o posto 14 obteve a menor precipitação total. Já o posto 24 com 916,9mm foi o de maior precipitação total sazonal. No período da primavera os maiores valores de precipitação estão localizados na região sudoeste da bacia, ao contrário dos períodos anteriores, com variação entre 850-930mm, já os setores leste e nordeste, tiveram os menores valores de chuva, com uma variação de 688-768mm.

No ano considerado o ano-padrão mais chuvoso (Figura 43), no período da primavera ocorreram 32% das chuvas, sendo o período mais chuvoso para o ano, no inverno ocorreram 25%, no outono 23% e no verão 20%, sendo o perímetro menos chuvoso. Dessa forma, observa-se que nesse ano-padrão a distribuição espacial das chuvas sazonais não possui uma homogeneidade, assim, nesse ano, que ocorreu a atuação do fenômeno El Niño a precipitação pluvial sazonal não foi influenciada pelo efeito do relevo em pelas passagens das FF. Com isso, nesse ano a precipitação sazonal não seguiu nenhum padrão já citado.



Figura 43- Distribuição da precipitação pluviométrica do ano-padrão mais chuvoso



Fonte: Autora.



Ao analisarmos a precipitação sazonal e anual dos três anos-padrões pôde-se verificar que não existe uma regularidade das chuvas na bacia, com isso, no ano-padrão menos chuvoso (1991) a primavera é o período sazonal mesmo chuvoso e o inverno o mais chuvoso, as quais não seguem o mesmo padrão, porém a uma tendência de a região central da bacia hidrográfica ser menos chuvosa, verifica-se isso principalmente nos períodos de verão e primavera.

No ano-padrão habitual (1992), o período mais chuvoso é o outono, enquanto o verão e o inverno são as estações com períodos menos chuvosos. Em 1992, apenas o outono e a primavera tiveram uma certa similaridade na distribuição das chuvas, sendo a região sul da bacia, menos chuvosa e a região norte mais chuvosa, no verão a região central da bacia hidrográfica é menos chuvosa e no inverno toda a bacia hidrográfica tem uma precipitação regular. Nesse ano foi possível observar que a precipitação pluvial sazonal e anual segue uma regularidade na sua distribuição espacial, assim, tendo uma maior influência da altitude e das passagens das FF, na distribuição das chuvas, no que nos anos classificados como menos chuvoso e mais chuvoso para a bacia.

Em 2002, o ano-padrão mais chuvoso, a primavera foi o período sazonal mais chuvoso, e o verão o menos chuvoso. Nesse ano, bem como nos anos-padrões anteriores, também não obteve uma padronização na distribuição das chuvas. No verão e no outono ocorrem uma concentração das chuvas no setor norte da bacia, já no inverno e na primavera há uma tendência dos maiores volumes de chuva concentrarem-se na região sudoeste da bacia.

É de fundamental importância ressaltar que a bacia hidrográfica do alto Jacuí não apresenta uma regularidade na distribuição das chuvas, porém, em períodos menos chuvosos a mesma tende a apresentar uma regularidade, de sudoeste para nordeste, sofrendo assim, uma influência orográfica. Com isso, pode-se dizer que existe uma grande variabilidade das chuvas nos anos-padrões da bacia.





## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

A precipitação média anual para a bacia hidrográfica do Alto Jacuí no período de 1980-2010 foi de 1799,3mm, neste período o posto 25 apresentou os maiores níveis pluviométricos, contudo, está localizado fora dos limites da bacia, na região noroeste, já o posto 03, localizado na região central da bacia hidrográfica foi o menos chuvoso.

Em se tratando da análise de distribuição da precipitação pluviométrica média total anual da bacia, pode-se perceber que na região sul concentram-se os menores valores e na região norte e sudoeste os maiores valores de precipitação média anual. Assim, pode-se dizer que a distribuição das chuvas médias totais acompanha o deslocamento das Frentes Frias, também sofrendo a influência da altitude, sendo que no sul e sudoeste da bacia hidrográfica ocorrem os menores valores de precipitação média total e os maiores se localizam na região norte-nordeste da mesma. A altitude também influencia na distribuição das chuvas pois a região leste da bacia hidrográfica apresenta as maiores altitudes.

Para o período mensal, observou-se que ocorreram grandes variações nos meses do ano na média histórica da precipitação pluviométrica para a bacia. Sendo o outubro o mês mais chuvoso da bacia hidrográfica e março o mês menos chuvoso. Assim, nos meses da primavera ocorre o maior volume precipitado. Isso também ocorre na análise entre as décadas, sendo que a média desses períodos permanecem maior nos meses de primavera (setembro, outubro e novembro) e o mês menos chuvoso março na média das 3 décadas analisadas.

Nos períodos sazonais também ocorreram grande variabilidade da distribuição das chuvas, onde na primavera observa-se a estação mais chuvosa para a bacia, enquanto que nos períodos sazonais a região central da bacia hidrográfica obteve as menores médias. Na primavera e no outono a região norte alcançou as maiores médias de precipitação pluvial, já no inverno a região leste e sudoeste obtiveram as maiores médias.

No ano-padrão menos chuvoso as ocorrências de precipitação foram mais expressivas no inverno (34%); em 1992, tido como ano padrão habitual, as chuvas ocorrem predominantemente no outono, cerca de 29% das chuvas anuais. Em relação ao ano-padrão mais chuvoso, as chuvas ocorrem 35% na primavera. Na distribuição da precipitação pluviométrica sazonal e anual dos anos considerados padrões pode-se perceber que nos anos mais e menos chuvosos a distribuição das chuvas não seguem nenhum padrão, sendo pouco influenciado pela altitude e pela FF Porém no ano habitual, a distribuição das chuvas vai em

conformidade com a distribuição da precipitação média total anual da bacia, sendo influenciado pelos dois fatores citados anteriormente.

Com isso, é possível considerar que existe uma grande variação na distribuição espacial das chuvas em função da orografia na bacia hidrográfica do Alto Jacuí. Foi possível identificar que a localização geográfica da bacia, contém uma grande variação hipsométrica ao longo da sua extensão fazendo-se que haja esta grande variação na distribuição espacial das chuvas em função da orografia na bacia. Dessa forma, é compreensível considerar que o efeito orográfico é um fator importantíssimo na variação pluviométrica. Porém, há uma tendência na região central e sudoeste a ter os menores valores. Assim, observa-se que a precipitação total anual para a bacia hidrográfica do Alto Jacuí na maioria dos anos tem uma orientação de sudoeste para nordeste, sendo que, sudoeste tem os menores totais e em nordeste os maiores totais anuais.

O fator de maior impacto deste trabalho está direcionado no auxílio do planejamento dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Alto Jacuí. Dessa forma, a homogeneidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica na área de estudo se torna importante para o seu aproveitamento hidroelétricos. Afinal, conhecer a dinâmica pluviométrica deste local permite maior propriedade ao se desenvolver projetos de desenvolvimento para a região de influência. Trazendo com isso a melhor utilização do potencial energético e hídrico da bacia, com base nos fatores de qualidade e a sustentabilidade dos recursos hídricos do objeto de estudo.

## REFEÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIOTTI, J.L.S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. 2ª reimpressão. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. 2016. **Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico - SIGEL**. Ministério de Minas e Energia. Disponível em <<http://sigel.aneel.gov.br/brasil/viewer.htm>>. Acesso em: 14 mar. 2016.

ANTUNES, A de S. **Fenômeno de precipitação pluvial intensa: análise da espacialidade e variabilidade na bacia hidrográfica do rio Piracicaba-SP**. 2015. 103 p. Dissertação (Mestre Ciência - Geografia Física) -Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

AYOADE, J. O. **Introdução a Climatologia para os Trópicos**. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.

BALDO, M. C. **Variabilidade pluviométrica e a dinâmica Atmosférica na bacia hidrográfica do rio Ivaí – PR**. 2006. 171, p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2006.

BARATTO et al., Análise histórica da precipitação pluviométrica em passo fundo e cruz alta e municípios da bacia hidrográfica do Alto Jacuí/rs. in: XII simpósio brasileiro de climatologia geográfica, 2016, Goiânia. **Anais...** XII simpósio brasileiro de climatologia geográfica variabilidade e suscetibilidade climática: implicações ecossistêmicas e sociais. Goiânia: gráfica UFG, 2016. v. 1. p. 1829-1940.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: UFRGS, 2003.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:750.000. CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Mapa de Geomorfologia do Estado do Rio Grande do Sul. RADAMBRASIL – IBGE. Escala 1:750.000.

BRITTO, F. P.; BORLETTA, R.; MENDONÇA, M. Regionalização sazonal e mensal da precipitação pluvial máxima no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, Vol. 2, p. 35-51, dez. 2006.

CEEE - GT. **Plano de uso e ocupação do solo no entorno do reservatório da UHE Ernestina**. 2011. Disponível em:<  
[http://www.cee.com.br/pportal/cee/archives/solo/jacui/reservatorio\\_ernestina.pdf](http://www.cee.com.br/pportal/cee/archives/solo/jacui/reservatorio_ernestina.pdf) >. Acesso em: 18 ago. 2014.

\_\_\_\_\_. **Plano de uso e ocupação do solo no entorno do reservatório Maia Filho – UHE Governador Leonel de Moura Brizola.** 2011. Disponível em:<  
[http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/archives/solo/jacui/reservatorio\\_maia\\_filho.pdf](http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/archives/solo/jacui/reservatorio_maia_filho.pdf)>.  
 Acesso em: 11 ago. 2014.

\_\_\_\_\_. **Plano de uso e ocupação do solo no entorno do reservatório da UHE Passo Real.** 2011. Disponível em:<  
[http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/archives/solo/jacui/reservatorio\\_passo\\_real.pdf](http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/archives/solo/jacui/reservatorio_passo_real.pdf) >.  
 Acesso em: 11 ago. 2014.

\_\_\_\_\_. **Plano de uso e ocupação do solo no entorno do reservatório da UHE Itaúba – Zoneamento final e plano preliminar de uso e ocupação do solo no entorno do reservatório da UHE Itaúba.** 2011. Disponível em:<  
[http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/archives/solo/jacui/Reservatorio\\_Itauba.pdf](http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/archives/solo/jacui/Reservatorio_Itauba.pdf) >. Acesso em: 12 ago. 2014.

CHIERICE, R. A. F. & LANDIM, P. M. B. Variabilidade Espacial e Temporal de Precipitação Pluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 33, n. 1, p.157-171, 2014. Disponível em: <[http://www.revistageociencias.com.br/33/volume33\\_1\\_files/33-1-artigo-12.pdf](http://www.revistageociencias.com.br/33/volume33_1_files/33-1-artigo-12.pdf)>. Acesso em: 15 de Abr. 2015.

CORREA, M. G. G. **Distribuição espacial e variabilidade da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Piquiri-PR.** Dissertação (Mestre em Geografia Física) -Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

COMITE DE GERENCIAMENTO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO JACUÍ. **Plano de gerenciamento da Bacia hidrográfica do Alto Jacuí:** Relatório-T2. Passo Fundo, 2009.

COMITE DE GERENCIAMENTO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO JACUÍ. **Plano de Bacia.** Carazinho, 2016. Disponível em: <[http://www.coaju.com.br/plano\\_de\\_bacia](http://www.coaju.com.br/plano_de_bacia)>. Acesso em: Jan. 2016.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Rio Grande do Sul.** 2012. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br/>>.

DZIUBATE, E.R. **Análise da distribuição espacial e temporal da pluviosidade na bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR.** 2013. 71, p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2013.

ERNEST, W.G. **Minerais e Rochas.** Tradução Evaristo Ribeiro Filho. São Paulo: Ed Ed Edgard Blucher Ltda, 1996. Título original: Earth Materials.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER – RS. **Qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Jacuí,** Porto Alegre, 2016. Disponível em: <[ww.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade\\_jacui/jacui.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_jacui/jacui.asp)>. Acesso em: 15 mar. 2016.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PESQUISA AGORPECUÁRIA. **Atlas Climático do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2011. Disponível em <<http://www.cemet.rs.gov.br/conteudo/4731/?Refer%C3%Aancia>>. Acesso em: 05. Out. 2016.

FUNDAÇÃO DE ESTATÍSTICA E ECONOMIA. **FEE Dados**. Disponível em: <[http://feedados.fee.tche.br/consulta/sel\\_modulo\\_pesquisa.asp](http://feedados.fee.tche.br/consulta/sel_modulo_pesquisa.asp)>. Acesso em 24 de julho de 2015.

GALVANI, E. (Org.); LIMA, N. G. B. de (Org.). **Climatologia Aplicada: Resgate aos estudos caso**. 1. ed. Curitiba: Editora CRV, 2012. v. 1. 192 p.

GALVANI, E.; LUCHIARI A. Critérios para Classificação de Anos com Regime Pluviométrico Normal, Seco e Úmido. **Anais,.... VI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**, Aracaju, SE, 2004.

GERARDI, L.H.de O.; SILVA, B.C.N. **Quantificação em Geografia**. São Paulo: DIFEL, 1981.

GRIMM, A. M.. **Meteorologia Básica**. Setembro, 1999. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/index.html>>. Acesso em: 20 fev. 2014.

HASENACK, H.; WEBER, E.(org.) **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul** - escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD).

HOPPE I.L, et al. Comparação Entre Um Abrigo Meteorológico De Baixo Custo e a Estação Meteorológica Oficial Do Inmet em Santa Maria (RS). **Anais... V Simpósio Internacional De Climatologia**.

Disponível em:< <http://www.sic2013.com/inexx/anais>>. Acesso em: 01 Jul. 2014.

IBGE. **Mapa de clima do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2002: color. 1: 5000000.

IBGE. **Cidades@: censo 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 04 set. 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidade**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=430637&search=rio-grande-do-sul|dilermando-de-aguiar|infograficos:-informacoes-completas>> Acesso em 04 de jul. 2014.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. MAPA- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Normais Climatológicas do Brasil 1961 -1990**. Edição revista ampliada. Brasília, 2009. 253p.

KÖEPPEN, W. **Climatología. México** - Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica. 2º edição. 1931.

MACHADO, F.P. **Contribuição ao estudo do clima do Rio Grande do Sul**. IBGE, Rio de Janeiro, 1950.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: Noções básicas e climas do Brasil**. Oficina de Textos: São Paulo, 2009. 63.

MENDONÇA, F. ; MONTEIRO, CARLOS. A. F. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MONTEIRO, C. A. F. O clima da região Sul. In: CATALDO, D. M. (Org.). **Geografia do Brasil, Grande Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 1963. p. 117-169.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1979. p. 9-19.

ONZI, J. G. et al. Monitoramento pluvial na bacia hidrográfica Taquari-Antas. **II Congresso de Pesquisa e Extensão da FSG**. Caxias do Sul – RS, Maio de 2014. Disponível em: <<http://ojs.fsg.br/index.php/pesquisaextensao>>. Acesso em 22 de Maio de 2015.

PIRES, C.A da F.; STRIEDER, A.J.; DAL'ASTRA, A.P. **Geoestatística: caderno técnico**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2011.

RIO GRANDE DO SUL. **Atlas Socioeconômico Rio grande do Sul**. Unidades geomorfológicas. Disponível em: 67  
<[http://www.scp.rs.gov.br/atlas/conteudo.asp?cod\\_menu\\_filho=791&cod\\_menu=790&tipo\\_menu=APRESENTACAO&cod\\_conteudo=1330](http://www.scp.rs.gov.br/atlas/conteudo.asp?cod_menu_filho=791&cod_menu=790&tipo_menu=APRESENTACAO&cod_conteudo=1330)>. Acesso em 18 set.2015.

RIO GRANDE DO SUL. **Atlas Socioeconômico Rio grande do Sul**. unidades geomorfológicas. Disponível em:<[http://www.scp.rs.gov.br/atlas/conteudo.asp?cod\\_menu\\_filho=791&cod\\_menu=790&tipo\\_menu=APRESENTACAO&cod\\_conteudo=1330](http://www.scp.rs.gov.br/atlas/conteudo.asp?cod_menu_filho=791&cod_menu=790&tipo_menu=APRESENTACAO&cod_conteudo=1330)>. Acesso em 01 out.2014.

ROSSATO. M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. 2011. 253 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SARTORI, M. da G. B. A Circulação Atmosférica Regional e os Principais Tipo de Sucessão do Tempo no Inverno do Rio Grande do Sul, RS. **Ciência e Natura**, UFSM, 15: 69-93, 1993a.

\_\_\_\_\_. Distribuição das Chuvas no Rio Grande do Sul e Variabilidade Temporo-Espacial no Período 1912-1924. **Anais,...** Simpósio de Geografia Física, V, São Paulo. p. 275- 280, 1993b.

\_\_\_\_\_. As Variações Pluviométricas e o Regime das Chuvas na Região Central do Rio Grande do Sul. **Boletim de Geografia Teórica**, 23 (45-46): 70-84, 1993c.

\_\_\_\_\_. **A dinâmica do clima no Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimentos científicos**. Terra Livre, São Paulo, Ano 19, vol. I, n. 20, p. 27-49, jan./jul. 2003.

\_\_\_\_\_. Gênese E Características do Vento Norte Regional em Santa Maria, Rs. . **Anais,.... X Simpósio Brasileiro De Geografia Física aplicada**, Rio de Janeiro, RJ. 2003. Disponível em: <<http://www.cibergeo.org/XSBGFA/eixo3/3.4/146/146.htm> >. Acesso em: 30 maio. 2014.

SEPLAG. **Mapa Geomorfológico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. 2008. 1 mapa, color. Escala 1:4000.000. Porto Alegre, dezembro, 2008. Disponível em <[http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/conteudo.asp?cod\\_menu\\_filho=791&cod\\_menu=790&tipo\\_menu=APRESENTACAO&cod\\_conteudo=1330](http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu_filho=791&cod_menu=790&tipo_menu=APRESENTACAO&cod_conteudo=1330)>. Acesso em 21 out. 2015.

SILVEIRA, P. da C. **Precipitação pluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí, RS**. 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado em Geográfica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SUTILI, F.J; DURLO, M.A; BRESSAN, D.A. Hidrografia de Santa Maria. História Natural de Santa Maria. **Ciencia&Ambiente**. nº 38 (jan/jun. 2009).

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife, 2005. Disponível em: <[http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA\\_E\\_CLIMATOLOGIA\\_VD2\\_Mar\\_2006.pdf](http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf)>. Acesso em: 20 Maio 2014

WOLLMANN, C. A. **Zoneamento Agroclimático para a Produção de Roseiras (Rosaceae spp.) no Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Geografia Física). Universidade de São Paulo. 2011. 382p. 2. V.

WOLLMANN, C. A.; GALVANI, E.. Caracterização Climática Regional Do Rio Grande Do Sul: Dos Estudos Estáticos Ao Entendimento Da Gênese. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 8 – Vol. 11 – JUL/DEZ 2012.

WOLLMANN, C. A., SARTORI, M. da G. B. O Clima Do Rio Grande Do Sul No Verão: Análise Sobre A Circulação Atmosférica Regional E Os Principais Tipos De Sucessão Do Tempo Em Três Casos Típicos. **Geografia: Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 13 n. 1, p. 3342, 2009a.

\_\_\_\_\_. Frequência mensal e sazonal da participação de sistemas atmosféricos no verão do Rio Grande do Sul: análise sobre três casos típicos (1986/1987, 1997/1998 e 2004/2005). **Ciência e Natura**, UFSM, 31 (1): 141 - 161, 2009b.

\_\_\_\_\_. Variação Mensal E Sazonal Da Nebulosidade Em Santa Maria, Rio Grande Do Sul, No Período De 1969 A 2005. **Revista Geografar** Curitiba, v.5, n.2, p.32-44, jul./dez. 2010. Disponível em: < [www.ser.ufpr.br/geografar](http://www.ser.ufpr.br/geografar) >. Acesso em: 23 abr. 2014.

\_\_\_\_\_. A nebulosidade como fator condicionante à percepção da pluviometria anual pela população urbana e rural de São Sebastião do Caí/RS. **Revista Brasileira de Geografia Física** 03 (2010) 01-12. Disponível em:< [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe) >. Acesso em: 03 mar. 2014.

\_\_\_\_\_. Variação Mensal E Sazonal Da Nebulosidade Em Santa Maria, Rio Grande Do Sul, No Período De 1969 A 2005. **Revista Geografar**, Curitiba, v.5, n.2, p.32-44, jul./dez. 2010. Disponível em: < [www.ser.ufpr.br/geografar](http://www.ser.ufpr.br/geografar) >. Acesso em 15 mai. 2014.

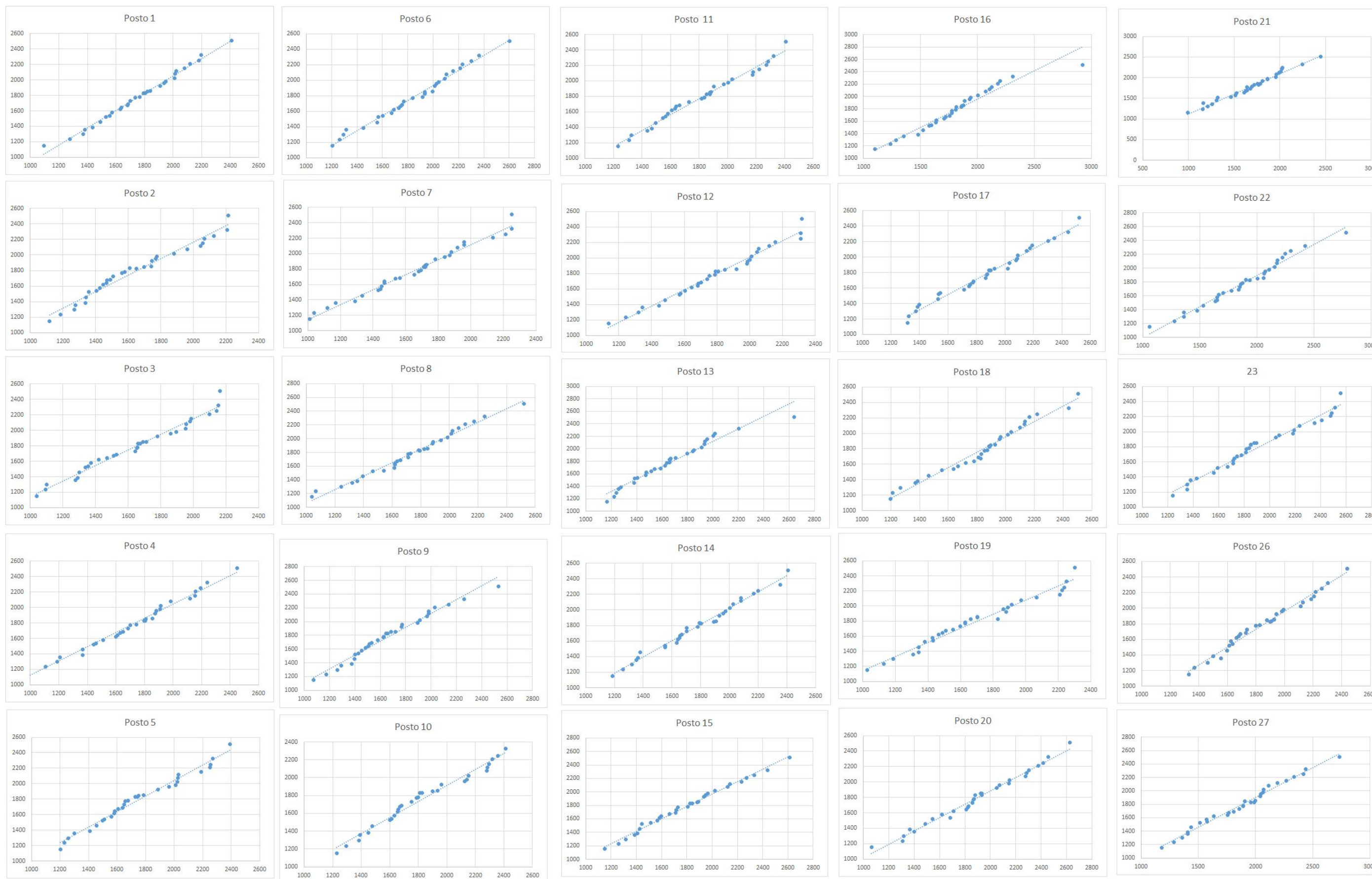
ZAVATTINI, J.A; BOIN, M.N. **Climatologia Geográfica: Teorias e Práticas de Pesquisa**. Campinas: Editora Alínea, 2013.





## **ANEXO A - APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE DUPLA MASSA**





**ANEXO B – APLICAÇÃO DA ESTATÍSTICA DESCRITIVA NOS DADOS DE  
PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL**





**ANEXO C – CLASSIFICAÇÃO DOS ANOS-PADRÕES**





Anos	Menos Chuvoso	Habitual	Mais chuvoso
1980			
1981			
1982			
1983			
1984			
1985			
1986			
1987			
1988			
1989			
1990			
1991			
1992			
1993			
1994			
1995			
1996			
1997			
1998			
1999			
2000			
2001			
2002			
2003			
2004			
2005			
2006			
2007			
2008			
2009			
2010			



**ANEXO D – DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL POR DÉCADA**



