

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Andressa Bammesberger

**VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DOS RIOS VACACAÍ E VACACAÍ-MIRIM**

Santa Maria, RS  
2020

**Andressa Bammesberger**

**VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DOS RIOS VACACAÍ E VACACAÍ-MIRIM**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestra em Engenharia Agrícola**.

Orientador: Prof. Ph.D. Alexandre Swarowsky

Santa Maria, RS  
2020

Bammesberger, Andressa  
VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DOS RIOS VACACAÍ E VACACAÍ-MIRIM / Andressa  
Bammesberger.- 2020.  
86 p.; 30 cm

Orientador: Alexandre Swarowsky  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2020

1. Precipitação Pluviométrica 2. Cluster 3. Kruskal  
Wallis 4. Eventos Extremos I. Swarowsky, Alexandre II.  
Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

---

© 2020

Todos os direitos autorais reservados a Andressa Bammesberger. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Barrão do Rio Branco, nº 798, centro, Ibirubá/RS.

E-mail: abammesberger@gmail.com

**Andressa Bammesberger**

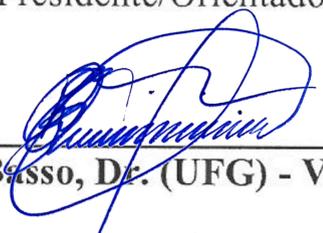
**VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DOS RIOS VACACAÍ E VACACAÍ-MIRIM**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestra em Engenharia Agrícola**.

**Aprovada em 12 de março de 2020:**

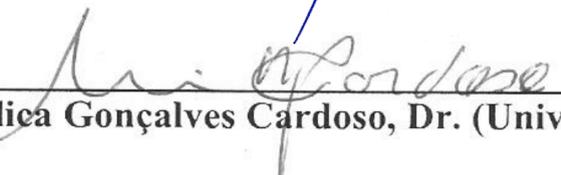
---

**Alexandre Swarowsky, Ph.D**  
(Presidente/Orientador)



---

**Raviel Eurico Basso, Dr. (UFG) - Videoconferência**



---

**Maria Angélica Gonçalves Cardoso, Dr. (Univates) - Videoconferência**

Santa Maria, RS  
2020

## DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, Melânia e Derli Bammesberger, às minhas irmãs Bibiana e Daiana, aos meus sobrinhos Laura, Murilo e Gabriel e a minha avó Edith Zart. Obrigada por todo o amor, o carinho e a compreensão nesta trajetória.*

## AGRADECIMENTOS

*zação desse trabalho só foi possível pelo apoio, compreensão, paciência e  
rsas pessoas, em especial, agradeço:*

- Aos meus guias espirituais por toda a proteção e orientação, fazendo com que esse sonho fosse realizado.*
- À minha mãe Melânia. Por todo o incentivo, as palavras de força e os conselhos, que foram fundamentais para chegar até aqui. Por ter lutado dia a dia comigo, mesmo estando distante fisicamente, mas presente no coração. Amo você!*
- Ao meu pai Derli. Obrigada pela mão estendida em todos os empecilhos; pelas poucas palavras ditas, mas sempre sábias, prudentes e fundamentais para o meu melhor. Amo você!*
- Às minhas amadas irmãs Bibiana e Daiana, por serem meus exemplos de garra e determinação. Obrigada por todos os conselhos e por sempre estarem ao meu lado.*
- Aos meus sobrinhos, Laura, Murilo e Gabriel, eu amo vocês!*
- À minha avó Edith Zart, por ser a minha segunda mãe, por ter sempre acreditado e comemorado comigo todos os passos desse ciclo que se finaliza.*
- Ao meu orientador, Alexandre Swarowsky, pelos ensinamentos, paciência, e por ter me auxiliado sempre que necessário. Muito obrigada!*
- Aos meus amigos de Ibirubá (RS), por toda compreensão na minha ausência e pela amizade sincera.*
- Aos meus amigos de Santa Maria (RS), vocês foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.*
- À Chaiane Bazana, que mesmo morando no Mato Grosso, sempre se fez presente no desenvolvimento deste trabalho.*
- À Universidade Federal de Santa Maria, em especial, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, ao corpo docente, pela oportunidade de aprendizado, o qual, no dia a dia nos fizeram acreditar em um horizonte pleno.*
- Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão de bolsa de estudo.*
- Gratidão a todos que contribuíram de alguma forma.*

*“Deixe um sinal de alegria, onde passes.”*  
(Francisco Candido Xavier)

## RESUMO

### VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS VACACAÍ E VACACAÍ-MIRIM

AUTORA: Andressa Bammesberger  
ORIENTADOR: Alexandre Swarowsky

O objetivo geral do presente estudo foi analisar a influência da altitude na distribuição e a tendência dos regimes sazonais de séries históricas da precipitação pluviométrica na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim, Rio Grande do Sul. A homogeneidade média das precipitações máximas e mínimas, foi analisada através do método de Cluster, e a análise de tendência da precipitação pluviométrica, médias das máximas e mínimas, em função da altitude através do método de Análise de Componentes Principais (PCA). Após, optou-se por utilizar três estações pluviométricas inseridas dentro da bacia hidrográfica em questão, representadas por altitudes diferentes, estação e6 (Faixa 2, 200 m), e8 (Faixa 1, 120 m) e e9 (Faixa 3, 420 m). Foi avaliada a tendência pluviométrica do verão (dezembro, janeiro e fevereiro), outono (março, abril e maio), inverno (junho, julho e agosto) e primavera (setembro, outubro e novembro). Utilizou-se o método estatístico de Kruskal-Wallis e de Regressão Linear para analisar a tendência da distribuição da precipitação pluviométrica. Conclui-se que a altitude entre faixas foi heterogênea, entretanto, a precipitação em cada Faixa demonstrou-se homogênea, havendo pouca variação de volume de precipitações nas estações pluviométricas. E também, ocorre a tendência de aumento de precipitação pluviométrica nas estações do ano do verão, inverno e primavera nas estações pluviométricas e6, e8 e e9 ao longo dos anos. O outono apresentou diminuição da precipitação pluviométrica no decorrer dos anos. O fenômeno de El Niño tem grande participação em eventos extremos nas três estações pluviométricas estudadas. E também, mesmo com altitudes diferentes apresentaram similaridade de volume pluviométrico nas estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) em diversos anos, e em vários eventos extremos.

**Palavras-chave:** Cluster. Kruskal-Wallis. Análise de Componentes Principais.

## **ABSTRACT**

### **VARIABILITY OF RAINFALL IN THE HYDROGRAPHIC BASIN OF THE VACACA AND VACACA-MIRIM RIVERS**

AUTHORA: Andressa Bammesberger

ADVIDOR: Alexandre Swarowsky

The general objective of the present study was to analyze the influence of altitude on the distribution and the trend of seasonal regimes of historical series of pluviometric precipitation in the Hydrographic Basin of the Rivers Vacacaí and Vacacaí-Mirim, in Rio Grande do Sul. An average homogeneity of maximum and minimum, was analyzed using the cluster method, and an analysis of rainfall estimation, maximum and minimum media, as a function of altitude using the principal component analysis (PCA) method. Afterwards, choose to use three pluviometric stations inserted in the hydrographic basin in question, represented by different altitudes, station e6 (Range 2, 200 m), e8 (Range 1, 120 m) and e9 (Range 3, 420 m). The rainfall (summer, December, January and February), autumn (March, April and May), winter (June, July and August) and spring (September, October and November) were evaluated. Use the Kruskal-Wallis statistical method and linear regression to analyze the trend in the distribution of rainfall. He concluded that the altitude between the bands was heterogeneous, however, the tendency to capture in each band shown is homogeneous, with little variation in the volume of precipitation in the pluviometric stations. In addition, there is a tendency to increase rainfall in the summer, winter and spring seasons in the e6, e8 and e9 rain seasons over the years. The fall showed a reduction in rainfall over the years. The El Niño phenomenon plays a major role in extreme events in the three studied rainfall stations. And also, even with different altitudes, similar to the similarity of the pluviometric volume in the seasons (summer, autumn, winter and spring) in several years, and in several extreme events.

**Keywords:** Cluster. Kruskal-Wallis. Principal Component Analysis

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO I

Figura 1 - Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim com seus respectivos pontos e altitudes definidas.....	36
Figura 2 - Exemplo de precipitação pluviométrica (estação e7) na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim.....	39
Figura 3 - Análise de agrupamento pelo método de Cluster para 46 estações pluviométricas. Onde: (a) representa as médias máximas e (b) representa as médias mínimas.....	41
Figura 4 - Similaridade da distribuição das estações pluviométricas nos Grupos 1, 2 e 3 representada por cores.....	44
Figura 5 - Média das precipitações máximas das estações pluviométricas correlacionadas com a altitude.....	47
Figura 6 - Média das precipitações mínimas das estações pluviométricas correlacionadas com a altitude.....	49

### ARTIGO II

Figura 1 – Distribuição das estações pluviométricas.....	61
Figura 2 – Média da série histórica da estação pluviométrica e6.....	66
Figura 3 – Média da série histórica da estação pluviométrica e8.....	67
Figura 4 – Média da série histórica da estação pluviométrica e9.....	69
Figura 5 – Variação da média de precipitação anual para os meses de verão.....	71
Figura 6 – Variação da média de precipitação anual para os meses de outono.....	73
Figura 7 – Variação da média de precipitação anual para os meses de inverno.....	75
Figura 8 – Variação da média de precipitação anual para os meses de primavera.....	77

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO I

Tabela 1 - Localizações das estações pluviométrica e extensão das séries históricas.....	35
Tabela 2 - Faixas de altitudes das estações pluviométricas utilizadas na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim.....	38
Tabela 3 - Médias de precipitações de cada grupo formado pelo método de cluster.....	43
Tabela 4 - Pontos cardeais da distribuição pluviométrica das estações pluviométricas.....	45
Tabela 5 - Precipitações das médias máximas e mínimas de acordo com determinadas faixas analisadas na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim.....	51

### ARTIGO II

Tabela 1 - Localizações das estações pluviométrica e extensão das séries históricas.....	61
Tabela 2 – Ocorrências de El Niño e La Niña.....	65

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	15
2.1	OBJETIVO GERAL .....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	16
3.1	ÁGUA NA NATUREZA E A SUA DISTRIBUIÇÃO NA TERRA .....	16
3.2	CICLO HIDROLÓGICO .....	17
3.2.1	Precipitação pluviométrica .....	18
3.3	BACIA HIDROGRÁFICA .....	19
3.4	DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO .....	21
<b>3.4.1</b>	<b>Série temporal</b> .....	21
<b>3.4.2</b>	<b>Precipitação pluviométrica na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-mirim</b> .....	21
3.5	EVENTOS OSCILAÇÃO SUL (EL NIÑO E LA NIÑA) .....	23
3.6	ESTAÇÕES DO ANO .....	24
3.7	MUDANÇAS CLIMÁTICAS .....	25
3.8	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) .....	26
3.9	CLUSTER .....	27
3.10	KRUSKAL-WALLIS .....	28
3.11	REGRESSÃO LINEAR .....	29
<b>4</b>	<b>ARTIGO I - RELAÇÃO ENTRE A PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E ALTITUDE NA BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS VACACAÍ E VACACAÍ-MIRIM</b> 30	
<b>5</b>	<b>ARTIGO II - VARIABILIDADE SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS VACACAÍ E VACACAÍ-MIRIM</b> .....	56
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	82
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA</b> .....	83

## 1 INTRODUÇÃO

O entendimento relacionado ao comportamento hidrológico de uma determinada região está interligado a diversas atividades. Como de engenharias, hidráulicas, indústrias, agrícolas, abastecimento humano, entre outras (NEVES et al., 2017).

A precipitação pluviométrica é extremamente importante para o ciclo hidrológico e uma entre as variáveis mais importantes do meio ambiente. O excesso, a escassez, a distribuição temporal, intensidade das chuvas, são algumas, entre as principais características que afetam de forma direta ou indireta a população, meio ambiente e a economia. Embora o clima é representado pela distribuição pluviométrica, é representada pela influência de diversos sistemas, como geografia, relevo, latitude, maritimidade e continentalidade, a precipitação pluviométrica depende, sobretudo, da dinâmica atmosférica em função do relevo, que é responsável pelo fracionamento da distribuição espacial da precipitação pluviométrica (BRITTO et al., 2006).

Amplios ecossistemas podem enternecer de modo expressivo a climatologia e a hidrologia por meio das trocas de carbono e água com a atmosfera (ISABELLE et al., 2020). Logo, deve-se obter mais observações e entendimentos de diferentes escalas espaço-temporais (temperatura, evapotranspiração, caracterização da área, entre outros), inclusive frequência de eventos extremos para assim obter características da área e possuir um entendimento expressivo das condições microclimáticas em determinados lugares, auxiliando no planejamento local (GIORGIO; RAGOSTA; TELESCA, 2017).

Sendo assim, os dados obtidos de precipitação pluviométrica, são importantes principalmente pelo fato de que o regime de chuva influenciar diretamente no ciclo hidrológico, e também, nas variadas utilidades humanas. Os estudos realizados em bacias hidrográficas contribuem para a melhoria da eficiência da dinâmica hidrológica e juntamente, com a qualidade de vida da população. Onde os resultados obtidos contribuem de forma sistêmica e exploratória para assim facilitar na compreensão da dinâmica da bacia hidrográfica e o sistema hidrológico como um todo, auxiliando nas tomadas de decisões e também nas políticas públicas. Destacando assim, a importância da utilização da bacia hidrográfica como uma unidade de gestão e em conjunto com o entendimento das séries temporais da precipitação pluviométrica contribuindo para o planejamento da utilização dessa bacia (CLEMENTE et al., 2017).

O entendimento relacionado com o modo que ocorre a precipitação, poderá auxiliar como instrumento na gestão e planejamento de recursos hídricos da bacia hidrográfica. Concedendo análises referentes a disponibilidade da água de precipitação e assim, servindo de

auxílio para compreender se o volume de água será suficiente para atender a demanda hídrica da região (SILVA et al., 2018). Servindo como embasamentos referentes aos possíveis impactos sobre a subsistência local, o ecossistema e o gerenciamento dos recursos hídricos (ATIF et al, 2020) Logo, o entendimento sobre as tendências de precipitação pluviométricas, principalmente, se houve uma tendência de crescente ou decrescente ao longo do período de observação das séries temporais é extremamente importante (COCHRANE et al., 2020).

Salienta-se que a compreensão da distribuição pluviométrica e o volume precipitado analisado em escala temporal na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim é fundamental para servir como base nas tomadas de decisões. A qual abrange uma área com diversos municípios que dependem diretamente da bacia hidrográfica para abastecimento, agricultura, entre outras atividades.

O presente trabalho está constituído por dois artigos. O primeiro artigo tem como objetivo a analisar a influência da altitude na distribuição da precipitação pluviométrica, e o segundo artigo aborda a tendência dos regimes sazonais de séries históricas da precipitação pluviométrica na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim, Rio Grande do Sul.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O presente estudo tem como objetivo geral analisar a distribuição e variabilidade da precipitação pluviométrica na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar a influência da altitude na distribuição de precipitação pluviométrica; e
- Analisar a tendência dos regimes sazonais de séries históricas de precipitação pluviométrica.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 ÁGUA NA NATUREZA E A SUA DISTRIBUIÇÃO NA TERRA

A água é insubstituível em várias funções para a vida humana, como também, é responsável para manter o equilíbrio ambiental. Sendo assim, é uma necessidade à vida, a qual possui capacidade de se reestabelecer através das chuvas, e também por ter a capacidade de absorver nutrientes. Logo, é considerado um recurso renovável, mesmo sendo limitada pelo uso, que vai compatibilizar com a disponibilidade de quantidade e qualidade que a água apresenta (FREITAS, 2001).

A natureza, é encarregada por manter a umidade do ar, e de extrema importância para a estabilidade do clima. É utilizada para várias finalidades, desde abastecer a população, como também para diluir e transportar despejos. Portanto, em um lado requer qualidade e, no outro, quantidade (SNSA, 2007).

Até anos atrás, a Terra tinha a capacidade de sozinha se autopurificar, pois, os sistemas de filtragem eram suficientes para fazer a limpeza dos poluentes. O aumento populacional, urbanização, industrialização e a falta de conscientização, como também a redução de áreas verdes, são responsáveis pela degradação do meio ambiente, e assim, alterando a qualidade da água e do clima. No decorrer de bilhões de anos, a água está se renovando dia após dia, não havendo fronteiras e nem barreiras geográficas, fazendo assim, com que o seu uso seja feito de diversas formas e garantindo a vida na Terra. Em decorrência do seu circuito, entende-se que a água nunca irá acabar, porém, com o uso indiscriminado, a falta de saneamento básico e conscientização fará com que a água potável seja de difícil acesso, pois a poluição e a contaminação podem acontecer em qualquer estágio do seu ciclo (COSTA; BARRÊTO, 2006).

Vários fatores são responsáveis pela quantidade do volume de água recursos hídricos. Em razão do desenvolvimento que o Brasil vem tomando ao decorrer dos anos, houve, além do aumento populacional, a migração do campo para a cidade, devido à industrialização, havendo uma maior demanda local da quantidade de água. Durante os anos 70 e 80, a população começou a se conscientizar a respeito das ameaças sobre as condições e os comportamentos em relação aos recursos hídricos, havendo então, várias comissões interministeriais para assim procurarem meios para otimizar o sistema de uso múltiplo dos recursos hídricos (FREITAS, 2001).

### 3.2 CICLO HIDROLÓGICO

As águas estão em movimento permanente, caracterizando o ciclo hidrológico. O ciclo hidrológico é representado pela circulação fechada de água, a qual varia entre a superfície terrestre e a atmosfera, principalmente, através da energia solar ligada à gravidade e a rotação terrestre. Ele é resultado da água sólida ou líquida que é transformada em vapor pela energia do sol, e pela transpiração de organismos vivos, e volta para a atmosfera, que em seguida é resfriada e assim originam as nuvens. Portanto, essa água volta para a Terra por meio de precipitação, pela ação da gravidade (FREITAS, 2001; TUCCI, 2009).

Na atmosfera ocorre o movimento da água, por via das correntes aéreas, conduzindo-as tanto no estado de vapor como também nos estados sólidos e líquidos. Logo, essa troca entre as circulações da superfície terrestre e da atmosfera, no ciclo hidrológico, ocorre de duas formas: a) sentido superfície-atmosfera, onde o fluxo de água acontece na forma de vapor, resultância dos fenômenos de evaporação e de transpiração; b) sentido atmosfera-superfície, através da transferência da água acontece em estado físico, por exemplo, precipitações de chuva e neve (TUCCI, 2009).

A precipitação é reconhecida por toda a água que cai da atmosfera em direção à superfície da Terra, podendo ocorrer na forma de chuva, neve, granizo e orvalho. Após a precipitação, parte pode infiltrar no solo, como também, partir através do escoamento superficial. A infiltração no solo acaba formando lençóis de água, logo, essa água subterrânea é responsável por abastecer os corpos de água superficiais e dos aquíferos. O escoamento superficial ocorre através da locomoção da água sobre o terreno por meio do declive, assim, formando lagos e rios. E por último a evapotranspiração, a qual acontece através do fenômeno de evaporação e transpiração das plantas (VON SPERLING, 2014).

De acordo com Torres (2011), o ciclo hidrológico tem a seu início na evaporação das águas, após a formação de nuvens (condensação) e após, a precipitação. Estando diretamente interligado com a distribuição da energia advinda do Sol, sendo o ciclo energético da Terra. Logo, essa energia está incumbida pela passagem da água pelos estados sólidos, líquidos e gasosos, além de auxiliar no processo de circulação da água no globo.

Torres (2011) salienta que a evaporação ou vaporização é representada pela passagem da água do estado líquido para o estado de vapor. Sendo representada também pela evapotranspiração (transpiração da água nos seres vivos, animais e vegetais). Logo, para ocorrer a evaporação da água é necessário a temperatura (calor). Já a condensação é representada pelo vapor de água que está no ar atmosférico e é modificada e transformada em água líquida. E a

precipitação é representada pelo processo pela qual a água condensada na atmosfera e após atinge a superfície terrestre em forma líquida, via chuva ou chuveiro e na forma sólida, granizo, saraiva ou neve.

### 3.2.1 Precipitação pluviométrica

Entre as principais variáveis da climatologia, está a água. A qual serve de manutenção da vida no planeta. Para ocorrer a precipitação pluviométrica, é necessário que o volume seja superior às forças que as mantêm em suspensão, obtendo assim, uma velocidade de queda superior às componentes verticais ascendentes dos movimentos atmosféricos. Sendo assim, muitas vezes as nuvens não conseguem produzir chuvas, e com isso, demonstram a indispensabilidade de processos que estimulam a precipitação (TUCCI, 2009; TORRES, 2011).

Pode-se classificar as chuvas em três tipos principais, de acordo com sua gênese (TORRES, 2011):

- a) Chuvas convectivas: são representadas pelas nuvens de convecção que são formadas com ascensão de uma massa de ar úmido em regiões quentes. São representadas por chuvas pesadas e intensas, e com duração mais curta. Esse tipo de chuva ocorre basicamente no verão.
- b) Chuvas frontais ou ciclônicas: está representada pela instabilidade ocasionada pelo encontro de massas de ar, sendo duas, com peculiaridades térmicas diferentes. Sendo uma massa de ar quente e uma massa de ar fria. A precipitação ocorre relativamente intensa, contínua e que normalmente, afeta áreas extensas.
- c) Chuvas orográficas: ocorre por conta da ascensão forçada de ventos úmidos, ante um obstáculo do relevo. O ar ao se elevar para transpor o obstáculo, se resfria com a altitude e pode ocorrer de ficar saturada. E do outro lado do obstáculo, o ar descendente é seco, e de modo geral, frio.

A variação da precipitação também é influenciada pela sazonalidade, tendência e aleatoriedade. A versatilidade, distribuição e volume de precipitação pluviométrica em bacia hidrográfica depende de vários fatores (relevo, vegetação, caracterização da área, altitude, entre outros). E essa versatilidade e a distribuição da precipitação pluviométrica decorre das influências advindas das peculiaridades de diversos processos climáticos, como por exemplo, o movimento de massas de ar e o fenômeno El Niño e La Niña. Logo, as observações de dados pluviométricos são importantes para entender a variabilidade espacial e temporal, onde

normalmente, está interligada diretamente com as peculiaridades da região estudada (BAPTISTA; SEVERO, 2018; DAHRI et al., 2016).

A precipitação pluviométrica é extremamente importante para a agricultura. Pois, a partir dela é possível fazer a escolha quanto ao cultivo agrícola para determinadas culturas agrícolas de uma região e nas tomadas de decisões das técnicas produtivas mais adequadas, levando em consideração, que cada cultura tem suas peculiaridades, principalmente quando for analisar a exigência hídrica de determinada cultura para alcançar produtividades elevadas. Logo, o estudo e o entendimento entre a precipitação pluviométrica e a produção agrícola ao longo dos anos, proporciona um melhor planejamento de políticas públicas voltadas a esse setor (SILVA; ALMEIDA, 2017).

### 3.3 BACIA HIDROGRÁFICA

Toda a área de captação de água é através de meio natural, onde ocorre o escoamento superficial para o canal principal e seus tributários é caracterizado por uma bacia hidrográfica. Entretanto, o limite superior de uma bacia hidrográfica é representado por divisores topográficos, e a delimitação inferior, é através do exutório (LIMA, 2008).

De acordo com a divisão adotada pela Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, são oito as grandes bacias hidrográficas no País: a do rio Amazonas, a do rio Tocantins, as do Atlântico Sul, trechos Norte e Nordeste, a do rio São Francisco, as do Atlântico Sul, trecho Leste, a do rio Paraná, a do rio Paraguai, e as do Atlântico Sul, trecho Sudeste (TUCCI; HESPANHOL; NETTO, 2001).

O Rio Grande do Sul está entre um dos estados que possui maior volume de água superficial do Brasil. Sendo que ele é composto uma grande malha hidrográfica superficial e possui três grandes bacias hidrográficas: a Região Hidrográfica do Rio Uruguai, a Região Hidrográfica do Guaíba e a Região Hidrográfica do Litoral. A Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim está localizada na Região Hidrográfica do Guaíba. Contudo, a Região Hidrográfica do Guaíba abrange 30% do Rio Grande do Sul (ATLAS, 2020; SEMA, 2019).

As características da bacia hidrográfica, como por exemplo, forma, topografia, geologia, solo, cobertura vegetal, entre outros, são responsáveis pelo seu comportamento hidrológico. Como também, o conjunto de fator de forma e os processos hidrológicos, os quais definem as características da bacia. Logo, o funcionamento de uma bacia depende das manifestações de formas, de processos e as inter-relações (LIMA, 2008).

De acordo com Tucci (2009) a bacia hidrográfica pode ser analisada como um sistema físico a qual a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório. Logo, os volumes de água evaporados, transpirados e infiltrados são conhecidos como perdas de água intermediárias. Sendo assim, o principal papel hidrológico da bacia hidrográfica é a transformação da precipitação do volume de água concentrada no tempo, em saída de água, através do escoamento distribuída no tempo (p. 41- 42)

Do ponto de vista hidrológico, ou seja, levando em conta o funcionamento hidrológico da bacia: deste ponto de vista, bacias hidrográficas são classificadas em grandes e pequenas não apenas com base em sua superfície total, mas também nos efeitos de certos fatores dominantes na geração do deflúvio. As microbacias apresentam, como características distintas, alta sensibilidade tanto a chuvas de alta intensidade (curta duração), como ao fator uso do solo (cobertura vegetal). Em bacias grandes, o efeito de armazenamento ao longo dos canais é tão pronunciado que a bacia não mais responder, ou perde sensibilidade àqueles dois fatores (LIMA, 2008, p. 51-52).

Embora que, a precipitação pluviométrica de uma determinada bacia hidrográfica não pode ser comparada com outra, pois, apresenta um desvio direcional, influência da topografia e exposição, as quais, estão agindo mutuamente com vários sistemas climáticos (DAHRI et al., 2016). Logo, é muito complexo obter o comportamento exato da precipitação pluviométrica, pois existe outros fatores muitos incertos que vão além da altitude das análises pontuais (ROLDÃO; SANTOS; OLIVEIRA, 2015)

Em comum acordo com Dahri et al., (2016), grande parte das estações pluviométricas estão localizadas nos vales, fazendo com que, obtêm-se a escassez de dados pluviométricos em locais com altas altitudes. Gerando assim, a falta de dados de determinadas localizações, não podendo ser analisadas de forma eficiente a distribuição da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica. As análises dos dados disponíveis são fundamentais, principalmente das estações na orografia pertencente a bacia hidrográfica, e com a falta dos mesmos, não se pode obter uma análise concreta relacionando a precipitação e altitude. Cândido e Nunes (2008), destacaram também, que a distribuição espacial das precipitações poderá ser mais ordinária em áreas com menor altitude e mais planas, onde a morfologia do terreno não possui muita influência no aumento da precipitação nesses locais.

O estudo referente a distribuição da precipitação pluviométrica é de extrema importância para a gestão dos recursos hídricos, salientando, que no ciclo hidrológico é representada pela entrada da água na bacia hidrográfica. O conjunto de informações sobre a distribuição da precipitação e outros fatores que interagem no meio, são responsáveis pelas respostas hidrológicas da bacia hidrográfica (VIOLA et al., 2010).

### 3.4 DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO

A determinação e o entendimento do movimento espacial da pluviosidade e de seus fatores são extremamente importantes. Pois, auxiliam na gestão dos recursos hídricos, na compreensão do ciclo hidrológico, no planejamento urbano e agrícola das bacias hidrográficas. Através da determinação da distribuição espacial da precipitação pluviométrica é possível analisar a partir de coletas de dados de séries temporais e análise estatística descritiva, onde são obtidos em diferentes postos pluviométricos pertencentes a bacia hidrográfica e, também, se necessário, optar os dados pluviométricos dos postos ao entorno da bacia hidrográfica (SOUZA; GALVANI, 2017).

#### 3.4.1 Série temporal

Por anos os estudos de variabilidade pluviométrica foram focados principalmente nas mudanças médias climáticas. Porém, tem a indispensabilidade de entender as mudanças climáticas não só em totais pluviométricos, mas também na maneira que o este elemento climático varia, como por exemplo, em eventos extremos de seco e/ou excesso de chuva. Onde esses estudos de mudanças climáticas globais avaliados através da base de dados meteorológicos são processados através das análises de séries históricas de elementos climáticos, como os dados pluviométricos. Sendo assim, com essa tendência pluviométrica desta variável em determinado local é possível analisar se houve mudança no clima local (NÓBREGA; FARIAS; SANTOS, 2015).

O entendimento referente a variabilidade temporal e a distribuição pluviométrica em uma determinada área é extremamente importante. Auxiliando nos projetos futuros, onde possam minimizar impactos socioeconômicos e ambientais, referentes a estiagem ou excesso de precipitação. Logo, quando ocorre a falta ou o excesso da precipitação pluviométrica, poderá ocasionar problemas no meio ambiente, e na economia para a população (BARATTO; WOLLMANN; HOPPE, 2015).

#### 3.4.2 Precipitação pluviométrica na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-mirim

A extensão territorial do Brasil é muito grande, possuindo diversos fatores que influenciam no clima, e com isso, obtêm-se uma diversidade de regimes pluviométricos de norte ao sul. Logo assim, dando ênfase que cada região possui características distintas. A região Sul

do Brasil, é representada por sistemas de altitude média, pelo fato da localização latitudinal, onde a precipitação anual é representada por sistemas frontais (NERY; CARFAN, 2014).

Ao passar do ano, os centros de altas e baixas pressões se deslocam, onde as massas de ar que agem no Brasil se alteram, visto que, essas massas de ar podem avançar ou voltar. Essas massas de ar representam o clima brasileiro, com os tipos climáticos de cada região. Como por exemplo, no Rio Grande do Sul, a frente polar se sobressai. As massas de ar que se retiram do continente Antártico vão nos oceanos onde se “aquecem” e com isso, de forma rápida recebe a umidade. Com a ausência da subsidência, elas se transformam e ficam instáveis e com essa estrutura adentram o continente sul-americano, entre os dois centros de desempenho, do Pacífico e do Atlântico, seguindo por duas direções diferentes sendo elas mPp (Massa Polar do Pacífico) e a forma que predomina o Rio Grande do Sul é a sob a forma de grandes anticiclones, a leste da cordilheira mPa (Massa Polar Atlântico) (TORRES, 2011).

A mPa é representada pela massa de ar polar atlântica que está interligada aos anticiclones que se configuram na região subantártica (GUERRA E GUERRA, 1997, p. 233 apud TORRES, 2011). Essa massa de ar é representada por um ar frio, seco e estável. Conforme vai se movimentando sobre o oceano Atlântico, a mPa recebe calor e umidade. Representando assim, as massas de ar frio e fenômeno de geada no Rio Grande do Sul. Entretanto, os anticiclones polares sucedem durante o ano, embora mais frequentes e fortes no inverno (TORRES, 2011).

O autor ainda destaca que a mPa progride no Brasil em três ramos, mas apenas dois ramos são representados no Rio Grande do Sul (RS). O primeiro avança pelo sentido do litoral, representando as características do inverno, onde a frente fria provoca inicialmente a chuva, após a queda de temperatura, alguns dias de tempo bom, e inicia o ciclo novamente. E com isso, a influência dessas massas de ar e de outras massas, o clima subtropical do RS recebe chuva durante todo o ano. Já o segundo ramo da mPa, desloca-se do RS e vai seguindo o relevo da América do Sul, com planície entre a cordilheira dos Andes e as regiões do planalto brasileiro. O segundo ramo, é representado pelas geadas nas lavouras no estado, além de ventos frios e neve em áreas elevadas.

O Estado do Rio Grande do Sul (RS), tende a haver uma heterogeneidade na distribuição pluviométrica, pois são inúmeros fatores que interferem diretamente e indiretamente. De acordo com Forgiarini, Vendruscolo e Rizzi (2013) o RS possui uma grande heterogeneidade do regime pluviométrico distribuído entre o estado. WREGGE et al. (2018), encontrou seis zonas homogêneas de precipitação pluviométrica no estado do Rio Grande do Sul.

A Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim, está inserida no clima subtropical (temperado quente). O qual é representado pela transição entre o clima tropical e o clima temperado. Ocorre nas áreas onde possui uma alternância das massas de mPa (Massa Polar Atlântica), mTa (Massa Tropical Atlântica) e Mtp (Massa Térmica Pacífica), com predomínio de mPa e mTa. A temperatura média da região localizada no clima subtropical, fica em torno de 18 °C, com invernos mais frios por conta da influência da mPa nesta época. Esse tipo de clima ocorre em áreas extratropicais, sendo representadas pelas amplitudes térmicas com invernos frios e verões quentes. Ocorre a distribuição da precipitação em todos os meses do ano, indiferente da estação, sendo representados por 1000 mm a 2000 mm de precipitação por ano (TORRES, 2011).

### 3.5 EVENTOS OSCILAÇÃO SUL (EL NIÑO E LA NIÑA)

De acordo com Marengo (2006) os eventos de El Niño e La Niña são reconhecidos pelo aquecimento e resfriamento das águas superficiais do oceano Pacífico Tropical Central e do Leste. Por via do gradiente entre o Pacífico Central e do Oeste (oscilação sul) se encontra variações relacionadas ao esfriamento ou aquecimento do Pacífico Equatorial. Logo, a convergência entre a maneira como se comporta as anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Pacífico Tropical, e também as alterações na circulação atmosférica advindas desse aquecimento faz com que concebem o fenômeno de oceano-atmosfera, sendo citada na literatura de ENOS (El Niño Oscilação Sul).

O fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) que é responsável por modificar o tempo e o clima em diversos lugares do Brasil. O qual, reflete nas mudanças na circulação atmosférica, impactando nos elementos climáticos e meteorológicos, entre eles, a chuva. Na região Sul do País, os anos de El Niño são apresentando precipitação pluviométrica acima do normal. Já em anos de La Niña, a precipitação é frequentemente abaixo do normal. Logo, as peculiaridades das chuvas podem ser modificadas pelo ENOS, como por exemplo, a intensidade, o volume e a ocorrência (DE PAULA et al., 2010).

Impactos do fenômeno El Niño e La Niña têm sido observados nas regiões do país, mais intensamente nas regiões Norte, Nordeste (secas durante El Niño) e Sul do Brasil (secas durante La Niña e excesso de chuva e enchentes durante El Niño). Se o El Niño aumentar em frequência ou intensidade no futuro, o Brasil ficará exposto a secas ou enchentes e ondas de calor mais frequentes (MARENGO, p. 29, 2006).

### 3.6 ESTAÇÕES DO ANO

O Brasil possui uma grande área territorial, logo, as estações dos anos se diferenciam de acordo com determinadas regiões. Salientando que uma parte do território brasileiro está localizado entre a linha do equador e o trópico de capricórnio, não apresentando assim diferenças significativas nas estações do ano. Como por exemplo, no norte e nordeste do Brasil, apresenta-se principalmente duas estações (das chuvas e da seca), e no sul do país, as estações do ano são mais perceptíveis, sendo diferenciadas entre elas (LIMA 2006).

A Massa Polar Velha (MPV) pode prevalecer em torno de mais de 45% dos dias do verão. A Frente Polar Atlântica (FPA) cerca de 20% dos dias e a Massa Polar Atlântica (MPA) cerca de 19% dos dias de verão. Ao destacar os Sistemas Intertropicais, a Massa Tropical Atlântica (MTA), contendo a Continentalizada (MTAc) e a Massa Tropical Continental (MTC), estão entre as que possuem grande participação na circulação atmosférica regional, representando cerca de 5% dos dias cada uma. Embora esses sistemas predominem na região nas fases pré-frontais em troca à MPV, correspondente à fusão entre o Anticiclone Polar Atlântico (APA) e o Anticiclone Tropical Atlântico (ATA), gerando apenas um centro de alta pressão (SARTORI, 2003; BORSATO; MENDONÇA, 2015).

Quando ocorre essa fusão, registra-se um maior aumento das temperaturas e a diminuição da pressão atmosférica e da umidade relativa, mais destacado no domínio da Tropical Continental. Avante das massas de ar oriunda tropical, possui a presença das Instabilidades Tropicais ou de Noroeste e de Calhas Induzidas, representando cerca de 7% a 5% dos dias do verão, interligadas diretamente com as fases pré-frontais e autonômicas das massas de ar dominantes. Sendo assim, esse processo de circulação são responsáveis por ocasionarem eventos locais (chuvas fortes e rápidas, tempestades e precipitações de granizo), por causa das nuvens de cúmulo-nimbos (Cb) de avantajado de crescimento vertical que as acompanham, advindas das convecções térmicas efeitos do grande aquecimento do interior do continente no período do verão (SARTORI, 2003; BORSATO; MENDONÇA, 2015).

No outono ocorre o período de transição entre o verão e o inverno, a MPA (Massa Polar Atlântica) passa a ser a responsável pelo controle do tempo em mais de 45% dos dias, uma vez que o Anticiclone Polar Atlântico (APA) se intensifica, o que origina massas polares mais constantes. Enquanto a FPA (Frente Polar Atlântica) mantém sua participação no controle do tempo em cerca de 20% dos dias, a MPV (Massa Polar Velha) se vê reduzida a cerca de 30% (SARTORI, 2003).

O autor citado acima destacou que na estação do inverno, a MPA passa a predominar em mais de 60% dos dias, devido principalmente ao aumento dos efeitos do APA, que são sentidos com maior frequência em latitudes médias e altas. O aumento das chuvas que pode ocorrer durante este período pode estar associado maior participação do FPA (cerca de 22% no inverno), o que pode gerar maiores frentes estacionárias e de ciclogênese. Por fim, nos meses da primavera, a MPV ultrapassa a MPA, controlando o tempo em cerca de 45% dos dias da estação. Além disso, a MTC (Massa Tropical Continental) passa a ganhar espaço, e aos poucos substitui a participação da MPV, especialmente conforme o verão se aproxima.

### 3.7 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A indagação sobre as mudanças climáticas tem aumentado de forma exponencial, como também, diferentes esforços de adaptação e mitigação estão sendo desempenhadas por todo o mundo, seja por governos e organizações. As mudanças em decorrência dos efeitos adversos das mudanças climáticas, bem como a diminuição de atividades que acentuam essas mudanças são indispensáveis, a fim de diminuir as imprecisões em relação ao futuro da humanidade (BRANDÃO, 2017). Cochrane et al., 2020 descreve que as mudanças climáticas podem impactar as peculiaridades das precipitações pluviométricas em determinados locais. Principalmente em relação ao volume precipitado, sazonalidade, variabilidade e entre outros

E com isso, principalmente para os países que estão em desenvolvimento, as mudanças climáticas apresentam ser um desafio. O interesse pelas mudanças climáticas vem de diversos setores, principalmente pelo fato de precisar de adaptações e mitigações onde têm sido realizados pelos governos e organizações. A agricultura, construção civil, geração de energia e abastecimento de água, estão entre os principais setores que necessitam de dados meteorológicos coerentes para desenvolver estratégias e elaborar adaptações se necessário (BRANDÃO, 2017; COCHRANE et al., 2020).

Para a maioria dos cientistas, as mudanças climáticas está entre um dos maiores desafios da atualidade, pois, os impactos e os riscos vinculados à ela estão acontecendo de forma natural, afetando sistemas naturais que são fundamentais para a subsistência humana, seja os recursos hídricos, biodiversidade, oceanos, calota polar, zonas costeiras, entre outros (BRANDÃO, 2017).

Dentro das mudanças climáticas, os eventos extremos vêm acontecendo de forma mais recorrente com o passar dos anos. E com isso, vem a necessidade de destacar que grande parte da população está localizada em áreas vulneráveis. Logo, necessita-se da gestão preventiva para

buscar alternativas de acordo com as tendências climáticas. Após a constatação sobre o risco, é relevante garantir a segurança social e a vida humana, mas, entretanto, é fundamental o entendimento da situação e procurar soluções eficientes (JACOBI; SULAIMAN, 2016).

De acordo com Cochrane et al., (2020), o aumento da precipitação pluviométrica não necessariamente é benéfico para a população nas regiões. Onde, as precipitações podem ser menos consistentes e os episódios de eventos extremos mais costumeiros. Para as áreas que dependem da precipitação pluviométrica para a subsistências agrícolas, necessitam de mais atenção. Logo, dependendo da área que apresenta eventos climáticos com excesso ou escassez de precipitação pluviométrica, podem não estar preparados com infraestruturas restritas (irrigação ou prevenção de inundações. Logo, conforme a dimensão e a magnitude dos eventos extremos de precipitações pluviométricas que atingem a sociedade de forma direta e indireta, podem ser descritos como desastres naturais (GOUVEA et al., 2018).

### 3.8 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA)

Através da Análise de Componentes Principais (PCA) pode-se distinguir as características retiradas dos dados a serem analisados. Esses dados resultam em representação de componentes mais relevantes nos eixos principais (KASSAMBARA, 2017). E com isso, através de análises estatísticas de variáveis climáticas, pode-se obter análises de dados multivariados, com grande variedade de dados e informações, representado em um banco de dados de boa qualidade. Analisando possíveis mudanças climáticas em determinados locais (GIORGIO; RAGOSTA; TELESCA, 2017).

A PCA é representada por um método de estatística multivariada altamente descritiva, utilizada para distinguir padrões nos dados obtidos de modo a salientar as analogias entre os dados. A PCA auxilia na redução da abundância dos dados, transformando-os de conjunto de  $r$  variáveis ou atributos originais em outro conjunto de variáveis não correlacionadas, denominadas de componentes principais. Através da PCA (Análise de Componente Principal), pode-se usar matriz de correlação ou matriz de covariância. Onde, a matriz de correlação é responsável por designar o mesmo grau de relevância a todas e cada uma das variáveis, devendo considerar que todas as variáveis são igualmente relevantes. Já a matriz de covariância, pode-se ser utilizada quando as variáveis possuem as mesmas unidades de medida. Entretanto, as novas variáveis, representadas por componentes principais, são obtidas como combinações lineares de  $r$  e as variáveis originais. Sendo assim, os componentes são estruturados conforme a porcentagem de variação que pode ser explicada. Todavia, o primeiro componente será o mais

importante, onde explica a maior porcentagem de variação de dados (LARA-ARELLANO; ESCALANTE-SANDOVAL, 2014).

Os autores destacam ainda que uma variável é caracterizada pela coordenada congruente a essa variável em cada um desses componentes. O conjunto de variáveis-ponto estão localizadas em uma área circular de raio 1. Sendo que, as contiguidades entre as variáveis demonstram o grau de similitude entre elas, logo, quando a similitude é igual a um, os pontos coincidem. Mas, quando as variáveis r não são correlacionadas, componentes r significativos serão alcançados. Em contrapartida, quando todas as variáveis possuem uma convergência perfeita, um componente simples é gerado. Este componente é representado por uma combinação linear das r variáveis, onde estão igualmente ponderadas e explica 100% a variação total. O conjunto de locais pontuais não são delimitados por um círculo de raio 1. Um local pontual localizado na parte extrema de um eixo, representa que essa estação está estreitamente concernente ao respectivo componente. Ao contrário, representa que não tem relação com os dois componentes. E a proximidade entre esses componentes é representada como comportamento semelhante. Sendo assim, quando esses conjuntos de pontos indicam a presença de uma subpopulação, logo, a PCA atinge esse propósito.

A análise de componentes principais é eficiente, pois, seleciona variáveis de baixa variabilidade ou redundantes por estarem interligadas com as variáveis de mais importante para dois componentes principais. Sendo assim, um número menor de variáveis pode ser utilizado para explicar a variação total, sem perda significativa de informação (HONGYU; SANDANIELO; OLIVEIRA JUNIOR, 2015). Rencher (2001) descreve sobre a importância de obter componentes satisfatórios na análise de componente principal para obter uma porcentagem especificada do total da variância, em média de 80%.

### 3.9 CLUSTER

A técnica empregada para formar grupos homogêneos dentro da estatística multivariada é a Análise de *Cluster*. Fundamenta-se em correlacionar dados observados por intermédio de medidas de proximidade, semelhança, similaridade ou correlação. O método precisa ser integralmente numérico, onde ordinariamente o número real de grupos que vão estar sendo criados é desconhecido. Logo, o propósito é usar os valores de determinadas variáveis para estruturar e unificar os objetos de estudos em grupos de objetos semelhantes. Se as variáveis utilizadas nesta técnica possuem escalas diferentes, é necessário standardizar as mesmas, gerando novas variáveis onde cada uma possuirá média igual a zero e desvio padrão igual a 1.

Evitando assim, que a análise sofra interferência da grandeza da escala de mensuração (RODRIGUES; FACHEL; PASSUELLO, 2012).

O cluster hierárquico é uma técnica para agrupar clusters e tende a conceber uma classificação entre eles. Os clusters hierárquicos podem ser representados por dois tipos: os aglomerados, onde apresentam um comportamento ascendente no qual cada observação inicia em seu respectivo cluster, e os pares de clusters são mesclados de acordo com que alguém sobe na hierarquia; já os dissociativos, apresentam um comportamento descendente, onde primeiramente as observações começam em um cluster principal, e as divisões surgem respectivamente à proporção que se desce a hierarquia (LARA-ARELLANO; ESCALANTE-SANDOVAL, 2014).

Para definir quais clusters devem ser estruturados pelo o método aglomerativo ou se o cluster deve ser dividido pelo método dissociativo, é pertinente uma medida de semelhança entre os conjuntos em análise. Entretanto, na maioria dos métodos utilizados em agrupamento hierárquico, são através da medida de distância entre pares de observações, além de um critério de ligação que possa particularizar a diferença de conjuntos em função das distâncias pares de observações nos mesmos. A escolha da métrica adequada induzira a forma dos clusters. O processo de ligação define a distância entre conjuntos de observações em encargo das distâncias em pares entre as observações. Para realizar os critérios de ligação pode ser utilizado o método de variação mínima de Ward (LARA-ARELLANO; ESCALANTE-SANDOVAL, 2014). É possível selecionar diversos agrupamentos de clusters, de acordo com a necessidade observada nos dados. A seleção é efetuada através da análise das mudanças nas distâncias em que os clusters estão inseridos. Uma medida utilizada para realizar esse agrupamento é através da distância, sendo que, a distância é representada pela dissimilaridade entre os clusters. (RENCHER, 2001).

### 3.10 KRUSKAL-WALLIS

O teste de Kruskal-Wallis, proposto por Kruskal e Wallis (1952), está entre os testes mais conhecidos de análise de variância não-paramétrica. O qual é responsável pela comparação abrangendo mais de dois tratamentos sem o uso do controle local, sendo representado pelas características dos delineamentos inteiramente casualizados (PONTES, 2000).

O teste de Kruskal-Wallis (também chamado teste H) é um teste não paramétrico que usa postos de amostras aleatórias simples de três ou mais populações independentes para testar a hipótese nula de que as populações têm a mesma mediana (TRIOLA, 2017).

### 3.11 REGRESSÃO LINEAR

Devore (2018) descreve que a conexão matemática determinística entre duas variáveis  $x$  e  $y$  é uma vinculação linear  $y = b_0 + b_1x$ . Logo, o conjunto de pares  $(x,y)$  para o qual  $y = b_0 + b_1x$  determina uma linha reta com a inclinação  $b_1$  e intercepto  $b_0$ .1. Pode-se usar a equação de regressão para fazer prognósticos para valores de variáveis de algum valor próprio da outra variável (TRIOLA, 2017)

Sendo assim, se duas variáveis não padecerem concorrente, para um valor fixado de  $x$ , a segunda variável será representada de modo arbitrária. Logo, normalmente a variável escolhida para o  $x$ , será chamada de variável independente, e no  $y$  será chamada de variável dependente. Contudo, as análises serão realizadas a partir de inúmeros conjuntos de variáveis  $x$  (variáveis independentes) (DEVORE, 2018).

#### **4 ARTIGO I - RELAÇÃO ENTRE A PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E ALTITUDE NA BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS VACACAÍ E VACACAÍ-MIRIM**

##### **Resumo**

O presente estudo objetivou analisar a influência da altitude na distribuição da precipitação pluviométrica na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim, Rio Grande do Sul. A homogeneidade média das precipitações máximas e mínimas, foi analisada através do método de Cluster, e a análise de tendência da precipitação pluviométrica, médias das máximas e mínimas, em função da altitude através do método de Análise de Componentes Principais (PCA). Houve homogeneidade das médias de precipitações, separadas em três grupos heterogêneos pelo método de Cluster, onde, 29 estações pertenceram ao mesmo grupo, tanto na análise das médias mínimas, como também para a análise das médias máximas. A altitude entre as Faixas foi heterogênea, entretanto, em cada faixa demonstrou-se precipitação pluviométrica homogênea, havendo pouca variação de volume de precipitações nas estações pluviométricas em cada Faixa.

**Palavras-chave:** Tendência; Cluster; Análise de Componentes Principais.

## ABSTRACT

### **RELATIONSHIP BETWEEN PLUVIOMETRIC PRECIPITATION AND ALTITUDE IN THE VACACAÍ AND VACACAÍ-MIRIM RIVERS HYDROGRAPHIC BASIN**

The present study aimed to analyze the influence of altitude on the distribution of rainfall in the Hydrographic Basin of the Rivers Vacacaí and Vacacaí-Mirim, Rio Grande do Sul. The average homogeneity of maximum and minimum rainfall was analyzed using the Cluster method, and the analysis of trend of rainfall, average highs and lows, as a function of altitude using the Principal Component Analysis (PCA) method. There was homogeneity of precipitation averages, separated into three heterogeneous groups by the Cluster method, where 29 stations belonged to the same group, both in the analysis of the minimum averages, as well as for the analysis of the maximum averages. The altitude between the ranges was heterogeneous, however, the trend in each range showed homogeneous rainfall, with little variation in the volume of precipitation in the rainfall stations in each range.

**Keywords:** Trend; Cluster; Principal Component Analysis.

## INTRODUÇÃO

Através das análises das predisposições de precipitação pluviométrica, pode-se compreender os impactos decorrentes das mudanças climáticas. Onde, a chuva é uma entre as formas de precipitação de maior relevância no ciclo hidrológico. O excesso ou déficit dela, está correlacionada com os fenômenos meteorológicos e climáticos. Neste enquadramento, fica indiscutível a importância dos estudos de episódios e distribuição das precipitações pluviométricas como suporte de tomada de decisão a ser considerada para o planejamento das atividades econômicas em níveis locais e regionais (GOTARDO et al., 2018).

Para o gerenciamento adequado dos recursos hídricos, é necessário monitorar os períodos secos e úmidos de dados pluviométricos. A partir disso, as políticas regionais podem ser aprofundadas, para assim diminuir os efeitos adversos nos sistemas hidrológicos, efeitos estes, que são uma característica ambiental importante para ser monitorada. Portanto, é possível adequar as atividades e superintender os recursos hídricos da área de estudo, conhecendo um pouco de suas peculiaridades climáticas (SANTOS; ARAÚJO; MARCELINO, 2015).

A disponibilidade de dados em séries e a resolução correta, está entre um dos problemas mais comuns ao ponderar dados hidrológicos. Obter um cômputo preciso da similitude entre os valores extremos de precipitação e de períodos de retorno congruentes, torna-se mais obscuro quando os registros disponíveis do local de interesse são curtos e incorretos (MARÍN et al., 2015). A análise das tendências de precipitação pluviométrica é extremamente importante para a compreensão dos impactos das mudanças climáticas e a situação das bacias hidrográficas (GOTARDO et al., 2018)

Com a quantidade de dados insuficientes, vários métodos vêm sendo empregados para a compreensão da variabilidade pluviométrica ao longo do tempo. Para a regionalização de dados de precipitação pluviométrica, pode-se utilizar ferramentas estatísticas de agrupamento de regiões semelhantes e homogêneas, e a utilização de estatística não paramétrica para analisar a tendência desses dados de precipitação (SILVA et al., 2018).

Através desses métodos, pode-se obter observações, séries de dados pluviométricos, análises estatísticas, parâmetros, entre outros, estimando esses dados para outros locais próximos aonde não possuem devidas informações (ELESBON et al., 2015).

A Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí- Mirim, abrange uma área de 11.077,34 km<sup>2</sup>, com estações pluviométricas localizadas em uma variação de altitude bem significativa, variando de 20 - 450 m (SEMA, 2019). Logo, a altitude é uma variável importante na variação espacial da precipitação pluviométrica na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e

Vacacaí-Mirim (SILVA et al., 2019; SILVEIRA, 2012). Como também, através do estudo de Silva et al. (2019), salientaram que em todas as estações pluviométricas observadas houveram ocorrência de valores extremos significativos de precipitação, podendo ocorrer períodos de déficit ou excesso de precipitação no Rio Vacacaí, no decorrer do ano.

Sendo assim, análise da distribuição pluviométrica na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim é extremamente importante para entender o volume de precipitação pluviométrica que alimenta a bacia hidrográfica. A qual, é representada por uma área significativa que interfere diretamente nas atividades em diversas cidades. E com isso, pode-se obter dados pluviométricos coerentes, que auxiliam nas tomadas de decisões na gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica e contribuem para minimizar problemas referentes aos eventos extremos que podem ocorrer na bacia.

Diante a problemática exposta acima, objetivou-se analisar a influência da altitude na distribuição de precipitação pluviométrica na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim, Rio Grande do Sul.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área de Estudo**

O estudo foi realizado na Bacia Hidrográfica dos rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim, localizados no centro-ocidental do Estado do Rio Grande do Sul. A bacia é representada pelas respectivas coordenadas geográficas: 29°35' a 30°45' de latitude Sul e 53°04' a 54°34' de longitude Oeste, onde compreende as províncias geomorfológicas da Depressão Central e Escudo Sul Rio-Grandense. Além disso, possui uma área de 11.077,34 km<sup>2</sup>. A elevação média das estações pluviométricas localizadas na bacia varia de 20 a 450 metros acima do nível do mar (SEMA, 2019).

Os municípios abrangentes, onde estão localizadas as estações pluviométrica da Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim (RS) são: Cacequi, Caçapava do Sul, Cachoeira do Sul, Dilermando de Aguiar, Dona Francisca, Formigueiro, Itaara, Ivorá, Lavras do Sul, Paraíso do Sul, Restinga Seca, Rosário do Sul, Santa Margarida do Sul, Santa Maria, São Gabriel, São Sepé e Vila Nova do Sul, representada por uma população média de 384.657 habitantes. Os principais cursos de água são os arroios Igá, Acangupa e Arenal e os rios Vacacaí, dos Corvos, São Sepé e Vacacaí-Mirim. O uso da água da bacia hidrográfica é designado

principalmente para irrigação, dessedentação de animais e abastecimento público (SEMA, 2019).

Os municípios pertencem principalmente ao Bioma Pampa e/ou Mata Atlântica. A base econômica é voltada para agricultura, pecuária, mineração e/ou indústria. Conforme a classificação de Köppen, os municípios são formados pelo clima Cfa, subtropical úmido com verões quentes, sem estação seca definida (ALVARES et al., 2013; IBGE, 2019).

### **Coleta de Dados Pluviométricos**

Os dados das estações pluviométricas em operação e desativadas, instaladas na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim (RS), no perímetro e também próximas aos seus limítrofes de até 30 km, foram obtidos principalmente em publicações dos órgãos oficiais, Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pela Agência Nacional da Água (ANA). Carvalho, Assad e Pinto (2012) descreveram que as estações pluviométricas vizinhas que abrangem até 45km do local estudado, podem ser usadas na estimativa de valores para o entendimento da distribuição pluviométrica.

Para a escolha das estações pluviométricas, adotou-se como critério, as estações com séries temporais com mais de 10 anos de dados, onde assim, obteve-se um período entre os anos de 1912 a 2018, variando de estação para estação pluviométrica. Através dos dados diários, foi realizada a média mensal e assim, a média anual para cada estação.

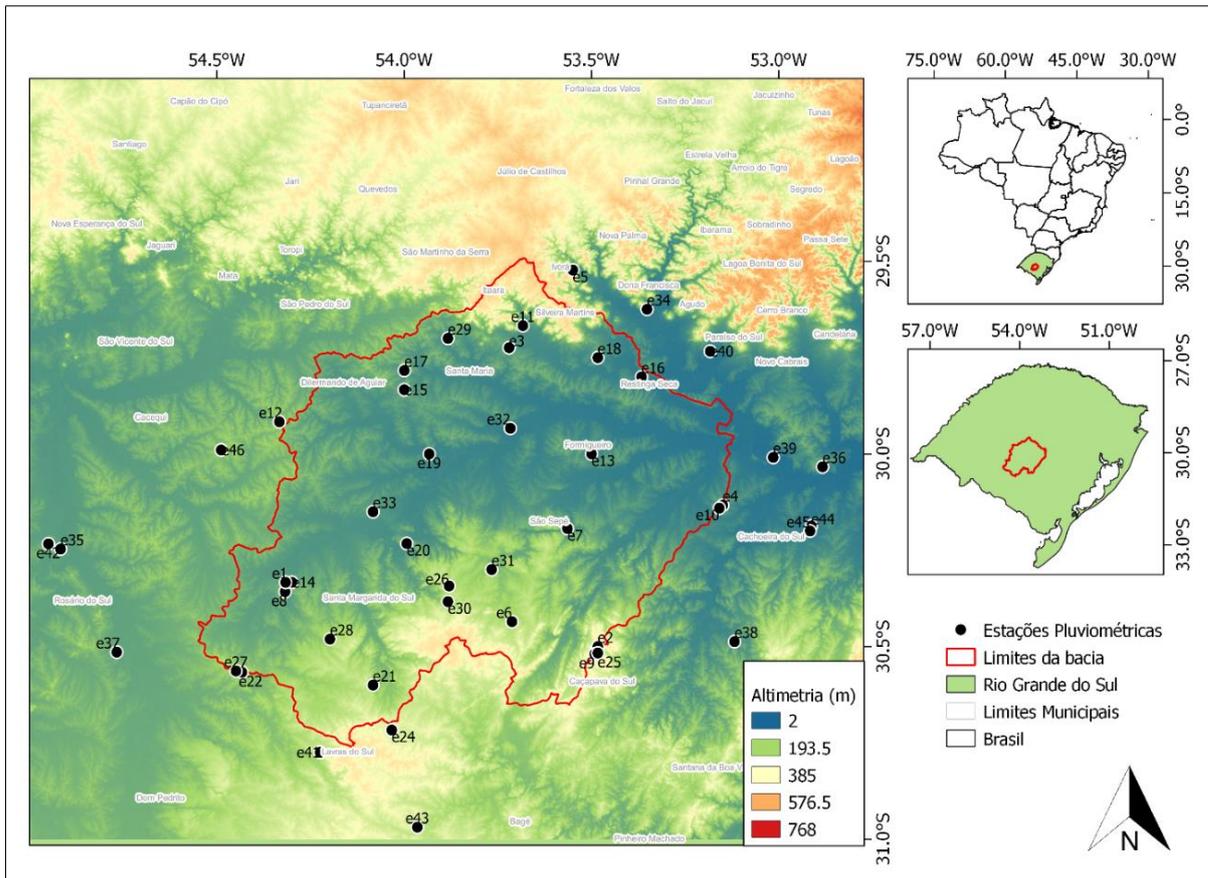
A distribuição espacial das 46 estações pluviométricas, estão representadas na Figura 1 e exemplificadas na Tabela 1, onde estão apresentadas de forma dispersa no mapa, de acordo com as respectivas coordenadas geográficas. Percebe-se que a estação pluviométrica e39 (município de Cachoeira do Sul, com 20 m) está localizada em uma área com menor altitude, e a estação e2 (município de Caçapava do Sul, com 450 m) está localizada na área de maior altitude.

Tabela 1 - Localizações das estações pluviométrica e extensão das séries históricas

ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS DA BACIA HIDROGRÁFICAS DOS RIOS VACACAÍ E VACACAÍ-MIRIM						
	Município	Código	Latitude	Longitude	Altitude	Extensão da série de dados
e1	São Gabriel	3054011	S 30° 20' 0.00"	W 54° 19' 0.12"	124	Jun. 1912/Set. 1976
e2	Caçapava do Sul	3053002	S 30° 30' 0.00"	W 53° 29' 0.00"	450	Jul. 1913/Set. 1975
e3	Santa Maria	2953017	S 29° 43' 27.12"	W 53° 43' 12.00"	95	Jan. 1939/Dez. 1998
e4	Cachoeira do Sul	3053001	S 30° 8' 0.00"	W 53° 9' 0.00"	90	Jan. 1951/Dez. 2006
e5	Ivorá	3053012	S 30° 11' 0.00"	W 53° 33' 0.00"	60	Abr. 1943/Dez. 1984
e6	São Sepé	3053017	S 30° 26' 7.08"	W 53° 42' 45.00"	200	Jun. 1981/Dez. 2018
e7	São Sepé	3053020	S 30° 11' 36.96"	W 53° 33' 51.84"	60	Out. 1984/Dez. 2018
e8	São Gabriel	3054018	S 30° 21' 27.00"	W 54° 19' 5.16"	120	Jul. 1985/Dez. 2018
e9	Caçapava do Sul	3053022	S 30° 31' 9.84"	W 53° 29' 30.12"	420	Abr. 1986/Dez. 2018
e10	Cachoeira do Sul	3053021	S 30° 8' 26.16"	W 53° 9' 32.04"	100	Mai. 1986/Dez. 2018
e11	Santa Maria	2953018	S 29° 40' 0.12"	W 53° 41' 0.00"	90	Jun. 1953/Dez. 1983
e12	Cacequi	2954009	S 29° 55' 0.12"	W 54° 20' 0.00"	200	Mar. 1954/Dez. 1984
e13	Formigueiro	3053005	S 30° 0' 0.00"	W 53° 30' 0.00"	110	Mar. 1951/Dez. 1981
e14	São Gabriel	3054010	S 30° 20' 0.00"	W 54° 18' 0.00"	109	Jan. 1950/Dez. 1978
e15	Dilermando de Aguiar	2954002	S 29° 50' 0.00"	W 54° 0' 0.00"	106	Nov. 1957/Dez. 1984
e16	Restinga Seca	2953015	S 29° 48' 0.00"	W 53° 22' 0.12"	36	Mar. 1951/Ago. 1977
e17	Dilermando de Aguiar	2953028	S 29° 47' 0.00"	W 53° 59' 58.92"	153	Mar. 1954/Jun. 1979
e18	Restinga Seca	2953012	S 29° 45' 0.00"	W 53° 29' 0.00"	44	Nov. 1957/Dez. 1979
e19	São Gabriel	3053019	S 30° 0' 0.00"	W 53° 56' 0.00"	80	Nov. 1969/Mar. 1990
e20	Vila Nova do Sul	3053004	S 30° 13' 57.00"	W 53° 59' 35.88"	69	Nov. 1999/Dez. 2018
e21	São Gabriel	3054015	S 30° 36' 0.00"	W 54° 5' 0.00"	260	Jan. 1960/Dez. 1978
e22	São Gabriel	3054006	S 30° 34' 0.12"	W 54° 26' 0.00"	200	Jan. 1960/Dez. 1978
e23	São Gabriel	3054009	S 30° 20' 0.00"	W 54° 19' 0.12"	109	Jan. 1960/Dez. 1978
e24	Lavras do Sul	3054005	S 30° 43' 0.12"	W 54° 2' 0.00"	320	Mai. 1950/Dez. 1961
e25	Caçapava do Sul	3053003	S 30° 31' 0.12"	W 53° 29' 0.00"	400	Jan. 1950/Dez. 1966
e26	Vila Nova do Sul	3053024	S 30° 20' 33.00"	W 53° 52' 49.08"	240	Jul. 2004/Dez. 2018
e27	São Gabriel	3054021	S 30° 33' 47.88"	W 54° 26' 57.12"	223	Jul. 2004/Dez. 2018
e28	Santa Margarida do Sul	3054020	S 30° 28' 50.16"	W 54° 11' 53.88"	190	Jun. 2004/Dez. 2018
e29	Santa Maria	2953021	S 29° 42' 0.00"	W 53° 53' 0.00"	100	Mar. 1954/Ago. 1967
e30	Lavras do Sul	3053008	S 30° 23' 0.00"	W 53° 53' 0.00"	175	Jan. 1958/Dez. 1969
e31	São Sepé	3053009	S 30° 18' 0.00"	W 53° 46' 0.12"	190	Jan. 1958/Jul. 1969
e32	Santa Maria	2953013	S 29° 56' 0.00"	W 53° 43' 0.12"	40	Nov. 1957/Dez. 1966
e33	São Gabriel	3054003	S 30° 9' 0.00"	W 54° 5' 0.00"	100	Nov. 1957/Dez. 1966
e34	Dona Francisca	2953008	S 29° 37' 27.84"	W 53° 21' 6.84"	25	Mai. 1943/Dez. 2018
e35	Rosário do Sul	3054007	S 30° 14' 48.84"	W 54° 55' 3.00"	100	Abr. 1943/Dez. 2018
e36	Cachoeira do Sul	3052002	S 30° 2' 0.00"	W 52° 53' 0.00"	73	Jan. 1939/Dez. 1983
e37	Rosário do Sul	3054016	S 30° 30' 51.84"	W 54° 46' 3.08"	100	Jun. 1976/Dez. 2018
e38	Cachoeira do Sul	3053018	S 30° 29' 13.92"	W 53° 7' 5.88"	120	Jan. 1983/Dez. 2018
e39	Cachoeira do Sul	2953037	S 30° 0' 32.04"	W 53° 0' 54.00"	20	Mai. 1986/Dez. 2018
e40	Paraíso do Sul	2953016	S 29° 44' 0.00"	W 53° 11' 0.00"	38	Mar. 1951/Dez. 1978
e41	Lavras do Sul	3054019	S 30° 46' 27.84"	W 54° 13' 28.92"	211	Nov. 1999/Dez. 2018
e42	Rosário do Sul	3054008	S 30° 14' 0.00"	W 54° 57' 0.00"	130	Jan. 1960/Dez. 1978
e43	Lavras do Sul	3053023	S 30° 58' 8.04"	W 53° 57' 54.00"	280	Abr. 2000/Dez. 2018
e44	Cachoeira do Sul	3052017	S 30° 11' 12.84"	W 52° 54' 47.88"	68	Dez. 2002/Dez. 2018
e45	Cachoeira do Sul	3052001	S 30° 12' 0.00"	W 52° 55' 0.12"	100	Mar. 1951/Dez. 1963
e46	São Gabriel	2954033	S 29° 59' 22.92"	W 54° 29' 18.96"	162	Jan. 2000/Dez. 2018

Fonte: Agência Nacional de Águas (2018) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Figura 1 - Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim com seus respectivos pontos e altitudes definidas



Fonte: Autora.

### Análise dos Dados Pluviométricos

A escolha das três Faixas foi com o auxílio da análise de cluster. Pois, algumas estações que se agruparam no método de cluster (Grupo 1, 2 e 3), ocorreu o mesmo agrupamento dentro de cada Faixa na PCA.

### Preenchimento de Falhas

As falhas nas séries mensais, foram preenchidas através do método de ponderação regional (SANTOS et al., 2016). Onde são selecionadas três ou mais estações pluviométricas vizinhas da estação com falha, que possuem pelo menos 10 anos de dados e os postos vizinhos devem estar em uma região climatológica semelhante da estação a ser preenchida (TUCCI, 2009). Após, aplica-se a fórmula:

$$Y = \frac{1}{3} \left[ \frac{x1}{xm1} + \frac{x2}{xm2} + \frac{x3}{xm3} \right] \cdot Ym$$

Y = precipitação do posto Y a ser estimada;

x1, x2 e x3 = precipitações correspondentes ao mês ou ano que se deseja preencher, observadas em três estações vizinhas;

xm1, xm2 e xm3 = precipitações médias nas três estações circunvizinhas; e

Ym = precipitação média do posto Y.

### **Análise geral da distribuição pluviométrica ao longo dos anos**

Para realizar a análise da distribuição pluviométrica da Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim, optou-se por escolher uma estação pluviométrica que está centralizada dentro da bacia e que possui dados até 2018. Logo, a escolha foi a estação pluviométrica e7.

Sendo assim, utilizou o método estatístico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ). As análises foram feitas com o auxílio do programa R Studio (versão 3.6.1), utilizando o pacote Agricolae (MENDIBURU, 2015). Foi utilizado como repetição os 12 meses de cada ano, para assim, obter um gráfico boxplot da variação da precipitação anual em relação ao ano analisado.

### **Análise de Agrupamento**

Para a análise e agrupamento dos dados de precipitações pluviométricas foi optado por utilizar a estatística de Cluster, através do método hierárquico de Ward. Em conformidade com outros autores, que usaram os mesmos métodos para a análise de semelhança e agrupamento de dados pluviométricos (GEBERT; KIST; VIRGENS FILHO, 2018; SANTOS; BLANCO; OLIVEIRA JUNIOR, 2019; ELESBON et al., 2015)

No método hierárquico de Ward foi utilizado o mês que possuía a média mínima e a média máxima de cada ano, após, foi realizada a média de mínimas e máximas de cada estação pluviométrica. Optou-se por realizar a análise através de mínimas e máximas para não subestimar a precipitação das estações pluviométricas apenas com a média total.

Portanto, realizou-se o teste com a formação de até 5 clusters. Logo, através de cada par de cluster os outros cluster com menor diferença são mesclados, e com isso, formou-se um cluster com maior similaridade de dados pluviométricos. E com isso, optou-se por 3 clusters,

pois representaram melhor os dados, sendo que, hidrológicamente, cada grupo representa os dados que possuíram maior similaridade.

Como mencionado acima, na análise de agrupamento optou-se pela compilação de três diferentes grupos, formando dessa forma os Grupos 1, 2 e 3, da esquerda para a direita. As análises foram realizadas com o auxílio do software R Studio (versão 3.6.1) utilizando o pacote Vegan (OKSANEN, 2019).

### **Análise de Componentes Principais (PCA)**

Para realizar a análise de inter-relação da precipitação pluviométrica em relação a altitude, optou-se pelo método de Análise de Componentes Principais (PCA). Em conformidade com outros autores (GEBERT; KIST; VIRGENS FILHO, 2018; ELESBON et al., 2015). Para a realização da análise através da PCA, foi utilizado o mês que possuiu maiores e menores valores de precipitação de cada ano estações pluviométricas estudadas. Mediante disso, obteve-se a média das máximas e mínimas de cada estação. Após, foi separado as médias máximas e mínimas em comparação com a altitude de cada estação pluviométrica.

Para definir em quantas componentes principais (PC) seriam analisadas, foi verificada até 10 PC (faixas de altitudes) para ver qual representaria melhor os dados a serem analisados. E com isso, optou-se por separar as altitudes em três componentes principais (faixas de altitude), pois a variação da altitude é de 20-450 metros das estações pluviométricas e assim auxiliará melhor na representatividade dados na análise estatística através da PCA (Tabela 2).

Tabela 2 - Faixas de altitudes das estações pluviométricas utilizadas na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim

<b>Faixas</b>	<b>Altitudes (m)</b>
Faixa 1	0 – 150
Faixa 2	151 – 300
Faixa 3	301 – 450

Fonte: Autora.

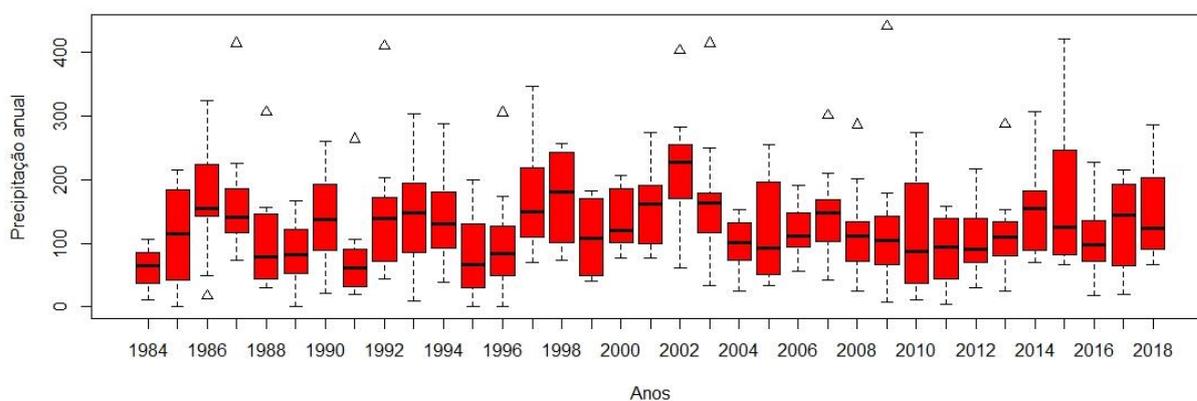
As análises foram realizadas com o auxílio do software R Studio (versão 3.6.1) utilizando o pacote Factoextra (KASSAMBARA, 2017).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Representação da distribuição pluviométrica ao longo dos anos na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim

Na Figura 2 está representada a estação e7, como um exemplo de precipitação da Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim, mostrando assim como a pluviometria está distribuída na bacia no decorrer dos anos. Salienta-se que dos 11 anos que ocorreu evento extremo referente a pluviometria acima da média, em 6 anos apresentou a ocorrência do evento El Niño. O que pode ter interferido diretamente nesse fator.

Figura 2 – Exemplo de precipitação pluviométrica (estação e7) na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim



Fonte: Autora.

Verifica-se que, nos anos de 1987 (El Niño moderado para El Niño forte), 1988 (El Niño forte e início de La Niña moderada), 1991 (El Niño forte), 1992 (El Niño forte), 1996 (El Niño forte), 2002 (El Niño moderado), 2003 (El Niño moderado), 2007 (El Niño moderado e início de La Niña moderada), 2008, 2009 (El Niño moderado), 2013 apresentaram eventos discrepantes acima da média pluviométrica (CPTEC, 2020).

Através da distribuição empírica dos dados, pode-se destacar que houve vários anos com distribuição simétrica dos dados (1985, 1990, 1992 e 1999) de precipitação pluviométrica. Houve vários anos que apresentaram dados de precipitação pluviométrica com distribuição assimétrica negativamente 1992, 1993, 1998 (La Niña fraca), 2001, 2002, 2003, 2007 (La Niña moderada), 2008 (La Niña moderada), 2011 (La Niña moderada), 2013, 2014, 2017 (La Niña moderada), abaixo da média de precipitação (CPTEC, 2020).

Percebe-se que de 12 anos, 5 anos possuíram volumes de pluviometria abaixo da média da estação e são representadas pela presença do fenômeno El Niña, o que pode ter contribuído de forma considerável para ter ocorrido períodos com menores precipitações nestes anos. Por fim, alguns anos obtiveram dados de precipitação pluviométrica com distribuição assimétrica positiva, 1986 (El Niño moderado), 1987 (El Niño moderado), 1988 (El Niño forte), 1990, 1994, 1995, 1996 (El Niño forte), 1997 (El Niño forte), 2000, 2005, 2006 (El Niño moderado), 2009 (El Niño moderado), 2010 (El Niño moderado), 2012, 2015 (El Niño forte), 2016 (El Niño forte) e 2018, acima da média de precipitação. De 17 anos que apresentaram distribuição assimétrica positiva, 10 anos sofreram a interferência do El Niño (CPTEC, 2020).

Contudo, percebe-se que os fenômenos El Niño e La Niña possuem grande contribuição para eventos extremos e volume precipitação acima ou abaixo da média na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim.

### **Análise de agrupamento da precipitação pluviométrica da Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim**

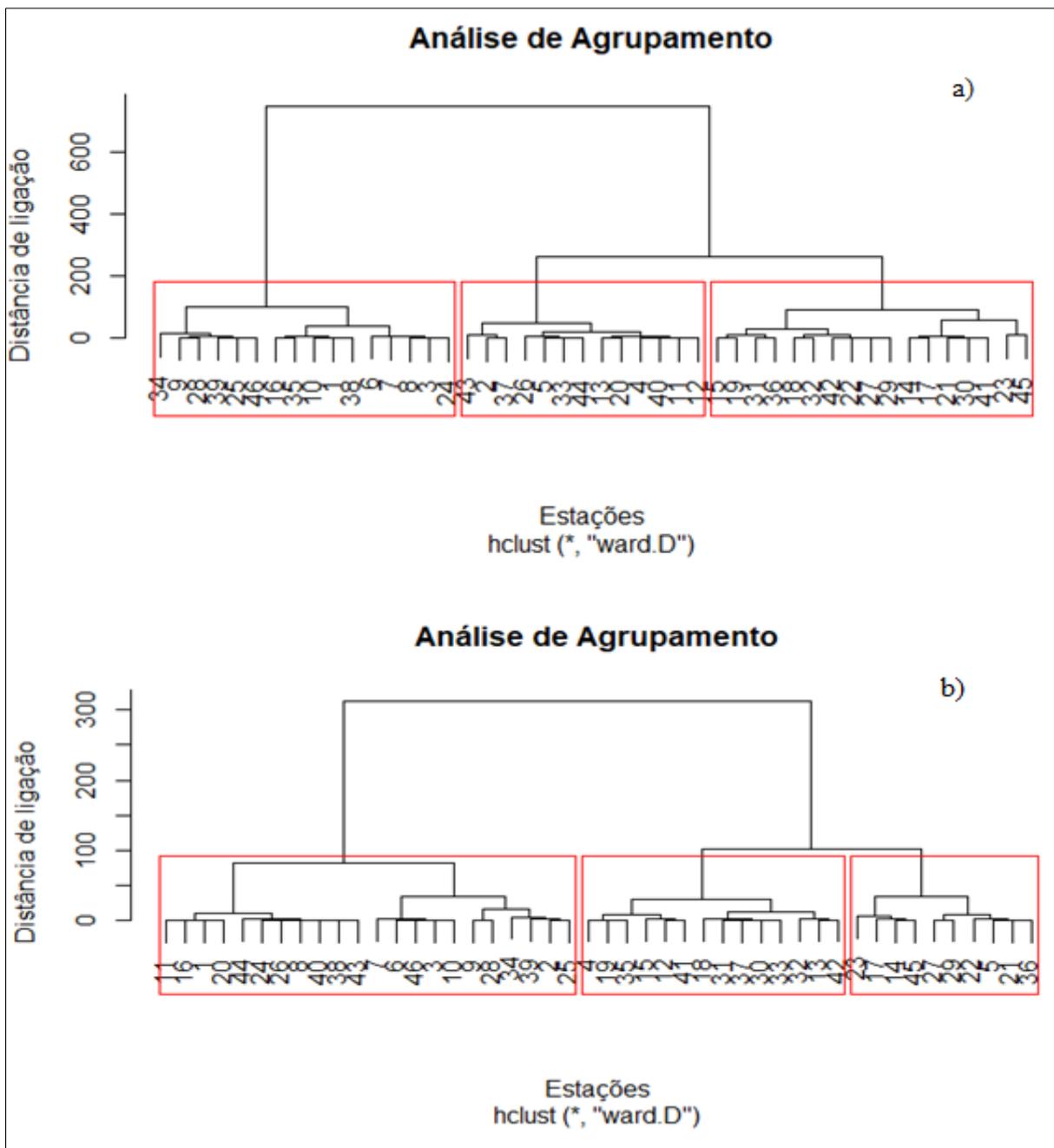
Mesmo que a precipitação pluviométrica total anual seja consideravelmente alta, os eventos de precipitação podem não ser distribuídos semelhantemente em decorrência de espaço e tempo (SOHOULANDE et al.; 2019). Logo, estudos responsáveis por definir e delimitar áreas de precipitações homogêneas servem de auxílio para o planejamento de diversas atividades, auxiliando o uso racional dos recursos hídricos e também engajamentos para locais, destacando os locais mais secos e mais úmidos (ARAÚJO; MAIA; NEVES, 2015).

Pode ser observado na Figura 3, o agrupamento das médias máximas e mínimas das estações pluviométricas analisadas. Primeiramente, formou-se dois grandes grupos com distribuição de precipitação pluviométrica similar, os quais formaram outros três grupos, tanto para as médias máximas, quanto para as médias mínimas. No eixo X está representada os dados obtidos através das médias das máximas (a) e mínimas (b) das precipitações pluviométricas das 46 estações estudadas. E no eixo Y está representado a distância de ligação entre elas.

Obteve-se semelhança entre as médias máximas e mínimas da distribuição da precipitação pluviométrica de todas as estações (Tabela 3), entretanto na análise de Cluster (Figura 3) pode-se identificar que as médias de precipitações analisadas são similares e conseqüentemente podem ser agrupadas. Começando com vários Cluster individuais e encerrando o dendrograma com um único Cluster com todas as estações pluviométricas (RENCHEER, 2001).

É possível observar que (a) e (b) estão representados por um cluster hierárquico pelo método de diagrama em árvore, mostrando de forma simplificada as fases do procedimento hierárquico, e também as distâncias nas quais os clusters são mesclados (RENCHEER, 2001). Representando assim, a heterogeneidade da distribuição pluviométrica que contribui para a Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim.

Figura 3 - Análise de agrupamento pelo método de Cluster para 46 estações pluviométricas. Onde: (a) representa as médias máximas e (b) representa as médias mínimas



Fonte: Autora.

Pode ser levado em consideração que essas 29 estações tem o mesmo comportamento e a mesma distribuição de precipitação pluviométrica tanto para máximas como para mínimas ao analisar as séries históricas pelo método de Cluster. Levando em consideração, que as localizações das estações pluviométricas estão distribuídas na área de contribuição para a Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim, como por exemplo, área rural, urbana, margem de rios, entre outros. Gu et al., (2019) analisaram em seu estudo se houve mudanças significativas de precipitação pluviométrica entre as áreas rurais e urbanas, entretanto, não apresentaram mudanças significativas na precipitação pluviométricas.

Santos, Blanco e Oliveira Junior (2019), perceberam que as estações inseridas no mesmo aglomerado, embora apresentem taxas diferentes para a ocorrência de chuvas, possuem períodos de seca e de chuva divididos de maneira semelhante em relação aos meses. Gus et al., (2009) descrevem que não apresentaram resultados que pudessem indicar um grande sinal de mudança de precipitação pluviométrica em longo prazo, não possuindo mudanças extremas de precipitação anual, já que, a maiorias das estações ao serem analisadas não demonstraram propensão expressiva nos períodos analisados.

Ao comparar o agrupamento das médias máximas (a) e das médias mínimas (b) é possível destacar que de modo geral apenas 17 das 46 estações (e2, e5, e11, e15, e18, e19, e20, e26, e30, e31, e32, e35, e40, e42, e43, e44) pertencentes a Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim não pertenceram ao mesmo agrupamento. Representando assim que a região de estudo possui heterogeneidade na distribuição de precipitação pluviométrica. Essa heterogeneidade pode estar interligada com microclima da região, a topografia, a vegetação, e outros fatores que podem interferir na bacia hidrográfica em questão.

Ponderando alguns locais de amostragens, pode-se perceber que algumas estações possuem dados mais semelhantes e outras com mudanças mais expressiva. Principalmente ao analisar o Grupo 1 em relação ao Grupo 2 (tanto para médias máximas como para médias mínimas). Essa diferença tende a ser por fatores referentes ao microclima da região, pois ao analisar o Grupo 1 e Grupo 2 de forma individual, várias estações não estão próximas, altitudes diferentes, mas possuem precipitação pluviométrica semelhante. De acordo com Giorgio, Ragosta e Telesca (2017) o estudo das peculiaridades das áreas, onde estão localizadas as estações pluviométricas de monitoramento, é extremamente importante, pois, essas áreas podem apresentar potencialidade sobre diversas variáveis microclimáticas.

A maneira como o clima se comporta é muito abstruso, onde muitos fatores intervêm, como por exemplo, as peculiaridades do relevo, da bacia hidrográfica, do solo, da vegetação, entre outros. Como explica Silva et al., (2009), onde por sua vez a área do estudo, Sul e Sudeste

do Brasil, foi representada basicamente por agricultura, pecuária e pouca floresta e centros urbanos. Os fenômenos de El Niño e La Niña, que podem fazer com que ocorra a variação de precipitação de um local para o outro (DE PAULA et al., 2010). O quê de fato, pode interferir e ocasionar à similaridade e heterogeneidade dos dados pluviométricos obtidos.

Sendo assim, a distribuição da precipitação pluviométrica que contribui para a Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim, ocorre de forma heterogênea. Pois, o relevo, as massas de ar, os fenômenos, o microclima da região que podem auxiliar nas mudanças climáticas, interferem diretamente da precipitação pluviométrica. Apresentando assim, três regiões heterogêneas (Grupo 1, 2 e 3) de precipitação pluviométrica pertencentes a Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim.

É extremamente importante caracterizar as áreas que possuem distribuições pluviométricas homogêneas, para auxiliar no planejamento de atividades agrícolas, medidas mitigatórias, servindo como base para o entendimento do clima da região (MENEZES; FERNANDES; ROCHA, 2015).

E com isso, é possível observar na Tabela 3 que ocorreu diferença mais relevante o Grupo 1 e o Grupo 3 da média da precipitação máxima, sendo representada por 41,53 mm, logo, uma diferença de 15% entre eles. O Grupo 3 representa 85% da precipitação dentro do Grupo 1. E ao analisar a média da precipitação no Grupo 1, isso tem um volume considerável a ser levado em consideração.

Tabela 3 - Médias de precipitações de cada grupo formado pelo método de cluster. Onde: (a) representa as médias máximas e (b) representa as médias mínimas

	Média Máxima (mm)			Média Mínima (mm)		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
$\bar{X}$	277.79	253.68	236.26	32.86	31.17	26.06

Fonte: Autora.

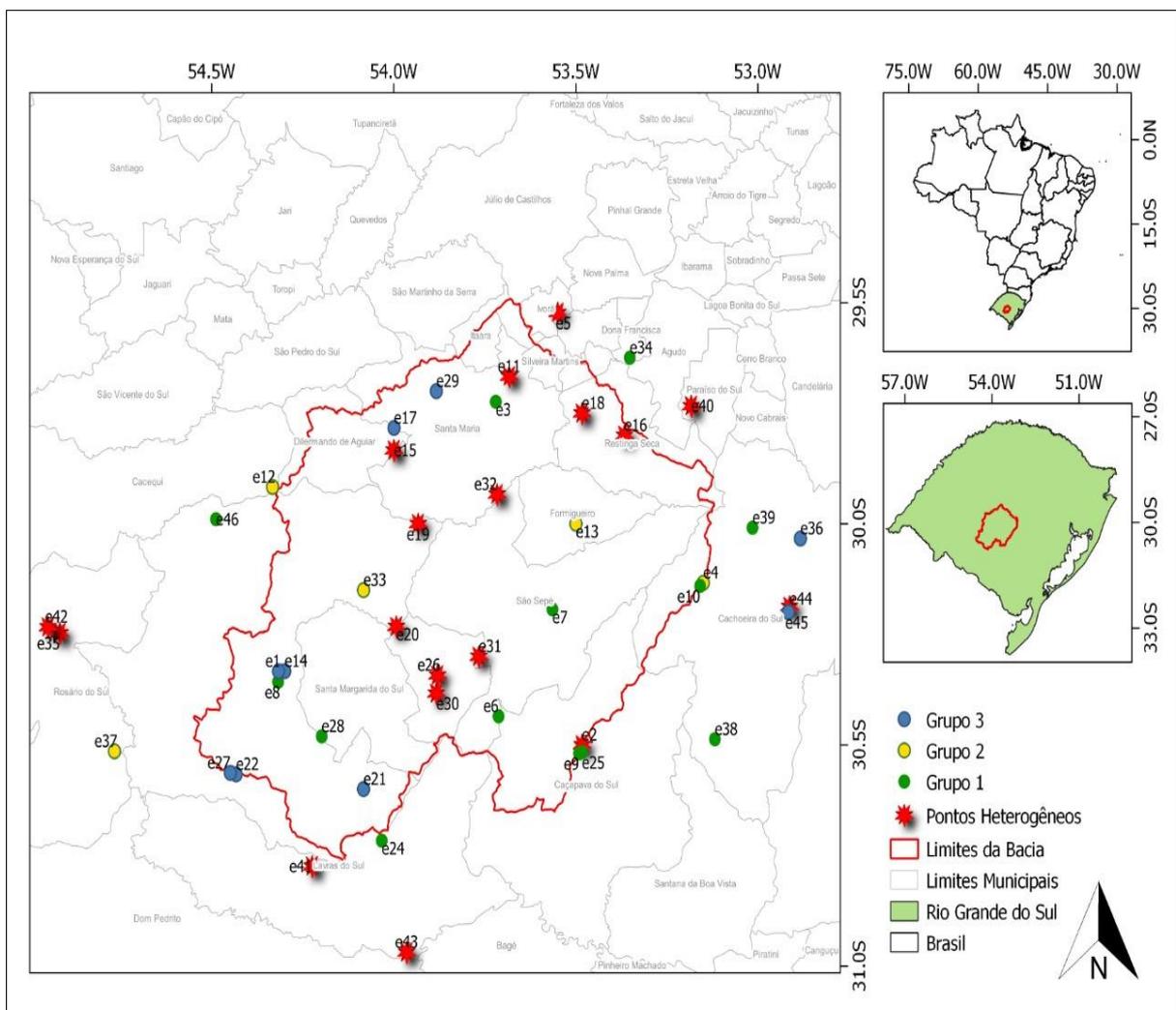
O Grupo 1 nas médias máximas (a), aglomerou estações que possuíram homogeneidade na distribuição pluviométrica com volume mais alto (277,79 mm). O mesmo ocorreu nas médias mínimas (b), com volume de precipitação mais alta de 32,86 mm. Contraponto a isso, o grupo 3 agrupou as médias mais baixas, sendo 236,26 mm para (a) e 26,06 mm para (b).

Na Figura 4 é possível analisar a distribuição pluviométrica dos Grupos (1, 2 e 3) para ambas médias (máximas e mínimas), que se apresentaram heterogêneas. O Grupo 1,

representado pelos pontos da cor verde, são similares tanto para as precipitações máximas como para as mínimas. No Grupo 2 (amarelo) e 3 (azul) ocorreu o mesmo.

As estrelas em vermelho representadas no mapa, demonstram as estações pluviométricas que não ficaram agrupadas através da análise de cluster no agrupamento das médias de precipitações máximas e mínimas. Pode-se perceber, que ocorreu principalmente para estações localizadas no entorno da Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim, como também, na área central da bacia. Seguindo uma tendência, principalmente do sul ao norte.

Figura 4 - Similaridade da distribuição das estações pluviométricas nos Grupos 1, 2 e 3 representada por cores



Fonte: Autora.

Tabela 4 - Pontos cardeais da distribuição pluviométrica das estações pluviométricas

	Grupos		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
<b>Pontos cardeais</b>	Sul a Nordeste	Sudoeste a Norte	Oeste a Leste

Fonte: Autora.

Através da observação dos pontos cardeais de cada grupo, demonstrando que várias estações pluviométricas estudadas, a maioria não estão posicionadas de forma dispersas. Com isso, pressupõem que a localização das estações, em decorrência de outros diversos fatores locais, auxilia na dispersão das precipitações pluviométricas semelhantes nos locais aonde estão posicionadas as estações pluviométricas. Ressalva-se que, em locais com maiores altitudes, comumente, possuem menos estações pluviométricas. E com isso, apresenta-se uma escassez de dados nesses locais.

### **Precipitação em função da altitude na bacia hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim**

Através dos agrupamentos obtidos pela análise de cluster, optou-se por utilizar 3 Faixas de altitudes para verificar a distribuição pluviométrica de cada Grupo (1, 2 e 3) em função da altitude na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim.

A estações pluviométricas que contribuem para a Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim, estão localizadas em uma área com grande variação na altitude (20 – 450 m). Song (2019), descreve que a expansão e a topografia, são uns dos prováveis impactos dos índices climáticos, onde pode ocorrer mudanças de precipitações.

Observa-se na Figura 5 (média das precipitações máximas) e na Figura 6 (média das precipitações mínimas) três conjuntos de dados contendo observações descritas por múltiplas variáveis interrelacionadas e correlacionadas quantitativamente por meio de análise componentes principais (PCA). Kaiser (1958) descreve que as componentes principais (PC) devem obter um valor maior que um, para explicar a maneira da variação dos dados. Logo, cada variável pode ser representada por grupos diferentes. Pode-se observar que as variáveis correlacionadas com o Eixo 1 e o Eixo 2 são as mais importantes na explicação da variabilidade no conjunto de dados (KASSAMBARA, 2017).

### **Análise das precipitações máximas em função da altitude**

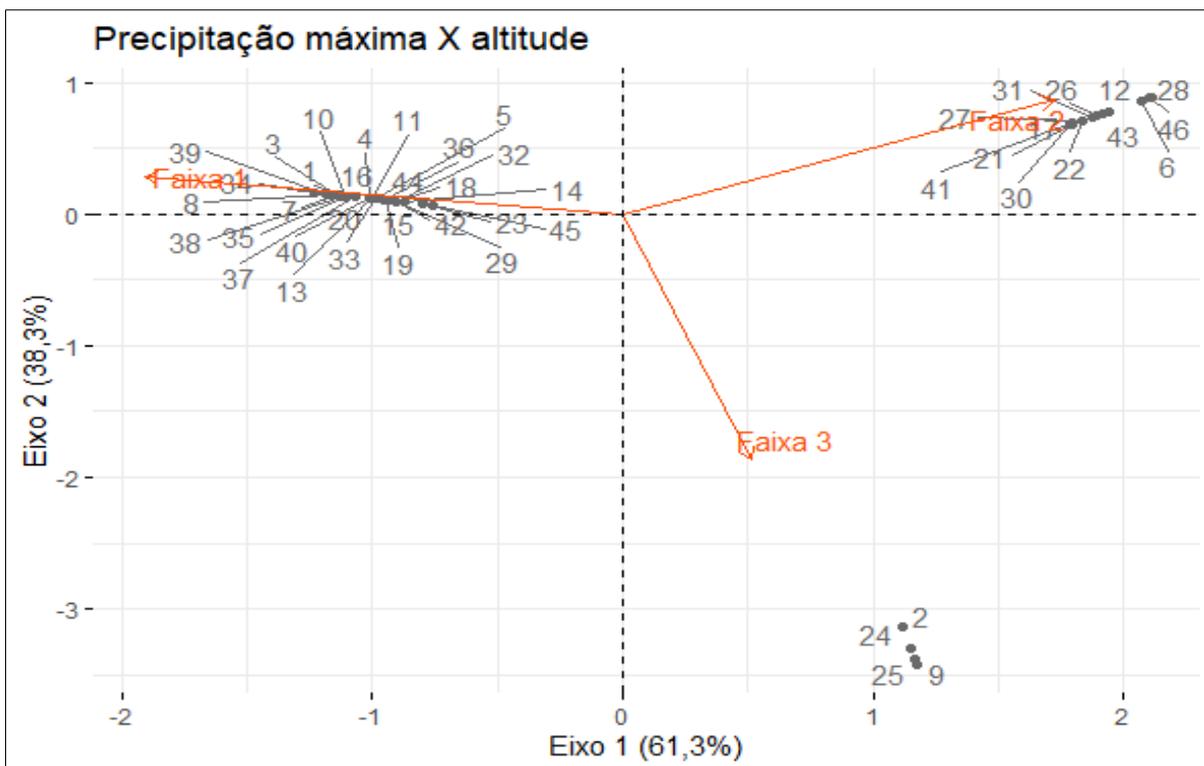
Na análise da Figura 5, a interdependência entre as variáveis (altitude e precipitação das estações pluviométricas) no Eixo 1, apresentou um autovalor de 61,3% da variância dos dados de precipitação das estações pluviométricas. E no Eixo 2, apresentou um autovalor de 38,3% dos dados.

Logo, os dados empregados para a realização da PCA das médias máximas (Figura 5) das 46 estações pluviométricas foram utilizados de forma eficiente, com pouquíssimos dados irrelevantes, sendo representados pelo Eixo 1 e 2, obtendo um total de 99,6 % das variáveis utilizadas. Sendo assim, a aplicação da PCA para a análise da precipitação em função da altitude é propícia e irá servir de suporte para outros estudos, para um maior entendimento da dinâmica da água da região e como base para apoio de tomadas de decisões.

Na Figura 5 formou-se 3 grupos distintos, aglomerados e representados por 3 altitudes diferentes (Tabela 2). As Faixas (altitude) estão representadas em determinados quadrantes, e com isso, pode-se perceber que ocorreu uma boa separação entre as Faixas (altitude) analisadas. Os vetores que cruzam em (0.0) no gráfico são representados por variáveis originais, onde o comprimento de cada vetor é equivalente à sua colaboração para os componentes principais (PCs), e o ângulo entre dois deles é inversamente proporcional à correlação entre eles (POLIKRETI et al., 2009). Observa-se assim, que os três vetores são representados pelos pontos de origem no gráfico (0.0), sendo variáveis originais e que a Faixa 1 possui maior contribuição de estações pluviométricas, sendo 30, e a Faixa 3 possui menor contribuição de estações pluviométricas, sendo apenas 4. Como também, observa-se que as três Faixas analisadas formam ângulos próximos de 90 graus da componente principal (PC), sendo distantes uma das outras.

Ao fazer uma análise geral, observou-se que grande parte das estações pluviométricas estão instaladas em locais de menor altitude. Pelo fato, de apresentarem mais facilidade de acesso para a instalação de equipamentos e acompanhamento dos dados climatológicos.

Figura 5 - Média das precipitações máximas das estações pluviométricas correlacionadas com a altitude



Fonte: Autora.

Hongyu, Sandanielo e Oliveria Junior (2015) descreveram em seu estudo que as variáveis que apresentaram dados similares no Eixo 1, foram as variáveis que possuem um vetor de maior comprimento. Como também, analisaram que os PCs que obtiveram um ângulo agudo entre eles, apresentaram altas correlações entre as variáveis. E que não existiam correlação entre as variáveis que obtinham um ângulo de aproximadamente de 90 graus.

A direção do vetor indica a tendência na qual a quantidade de estações pluviométricas tende a aumentar mais rápido nessa devida Faixa (altitude). Já o comprimento do vetor, representa a mudança na distribuição da precipitação pluviométricas nesta direção. Portanto, o vetor representado pela Faixa 1 indica que ocorre uma mudança contínua na distribuição pluviométrica nos locais que estão localizadas as estações, em que a altitude (0-150 m) interfere na distribuição pluviométrica da maior parte das estações analisadas. Já o vetor representado pela Faixa 3, apresenta uma mudança rápida de distribuição de precipitação pluviométricas na altitude de 301-450 m, e também, a menor quantidade de estações pluviométricas tendem a essa altitude.

As variáveis que estão do lado oposto da Faixa de tendência principal (ao analisar de forma individual) podem ser consideradas um valor baixo (de menor importância) para essa

variável analisada. E com isso, pode-se dizer que os vetores da Figura 5, representados pelas faixas, não estão próximos. A Faixa 1, 2 e 3, estão bem distantes localizadas dentro do gráfico. Isso demonstra que a variação de altitude é heterogênea na bacia hidrográfica, mas dentro de cada Faixa (altitude) a distribuição pluviométrica é homogênea, mostrando média dos volumes semelhantes (Tabela 5).

Resultados semelhantes foram encontrados no estudo de Roldão, Santos e Oliveira (2012), que compararam a topografia em duas estações pluviométrica, e constataram que o relevo influenciou na distribuição de precipitação pluviométrica em ambas. Mas ao analisar o comportamento da precipitação pluviométrica em função da altitude em outras quatro estações, perceberam que as mesmas apresentavam volumes de precipitação próximos, apesar da diferença entre a altitude. Salientaram que, o volume de precipitação pluviométrica não possui necessariamente relação com a variação da altitude das estações, destacando assim, que na região de estudo o relevo da mesorregião analisada não é um fator predominante do regime pluviométrico.

Por mais que, em cada uma dessas Faixas (altitudes) possuem estações com dados pluviométricos de precipitações diferentes, pode-se destacar que outros fatores podem ter contribuído para essa homogeneidade dentro de cada Faixa, e não apenas a altitude.

A Faixa 1 (30 estações pluviométricas), está representada no quadrante II, existindo assim, uma correlação entre a altitude de 0-150 m e a maioria das estações pluviométricas pertencentes a Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim. Indicando que essas estações tiveram mais concentração de precipitação pluviométrica na Faixa 1 e menos concentração de precipitação pluviométrica interligadas com a Faixa 2 (151-300 m) e, principalmente na Faixa 3 (301-450 m). Logo, em baixa altitude ocorreu o maior agrupamento de estações pluviométricas.

A Faixa 2, está no quadrante I, e possui 12 estações de precipitação pluviométrica aglomerada, as quais representam maior similaridade com as estações pertencentes a altitude de 151-300 m, do que com a Faixa (altitude) 1 e 3. A Faixa 3 (301-450 m) está localizada no quadrante 4, sendo representada pelo agrupamento de 4 estações pluviométricas, indicando que estas tiveram mais concentração de precipitação pluviométrica na Faixa 3 e menos concentração de chuva interligadas com a Faixa 1 e 2.

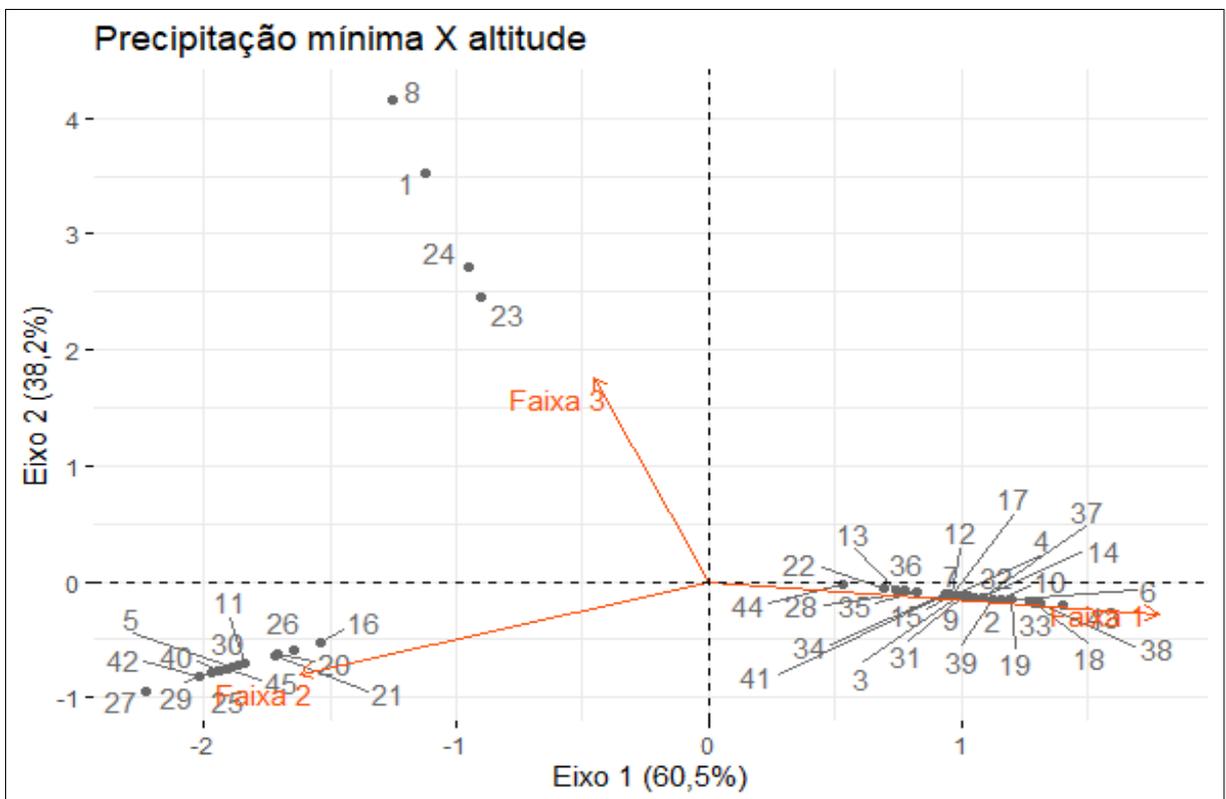
A menor quantidade de estações pluviométricas tende para a Faixa 3 (301-450 m), pois além de fatores locais, o fato de não possuir muitas estações pluviométricas em locais de maiores altitudes, contribui para que ocorra uma análise escassa da destruição pluviométrica em locais mais altos na região.

### Análise das precipitações mínimas em função da altitude

Na Figura 6, pode-se analisar que cada faixa (altitude) está representada em determinados quadrantes (II, III e IV). Logo, obteve-se uma separação expressiva entre as altitudes analisadas.

A Faixa 1 contém 26 estações pluviométricas, está especificada no quadrante IV, apresentando o maior agrupamento e homogeneidade entre as altitudes estudadas. Salienta-se então, que a precipitação pluviométrica dessas estações tende a ter maior concentração na Faixa 1, e menor concentração de precipitação com a Faixa 2 e 3. Principalmente com a Faixa 3 (301-450 m), pois está no lado oposto do gráfico, havendo a menor similaridade.

Figura 6 - Média das precipitações mínimas das estações pluviométricas correlacionadas com a altitude



Fonte: Autora.

A Faixa 2 está no quadrante III e possui 13 estações de precipitação pluviométrica aglomeradas e homogêneas, logo, a distribuição da precipitação pluviométrica nos locais que estão situadas essas estações pluviométricas, seguem a tendência de distribuição de precipitação na altitude de 151-300 m, do que em locais mais baixos ou mais elevados. E a Faixa 3, está

localizada no quadrante II, representada pelo agrupamento de 4 estações pluviométricas, indicando que estas estações tiveram mais concentração de precipitação pluviométrica na Faixa 3.

Ao analisar a direção do vetor da Figura 6, o comprimento do vetor está representando que a Faixa 1 (0-150 m) ocorre uma mudança continua na distribuição da precipitação nos locais que estão situadas as estações pluviométricas estudadas. A variação da precipitação dentro desse grupo homogêneo é de milímetros. E o comprimento do vetor da Faixa 3 (301-450 m), demonstra a tendência que as 4 estações pluviométricas seguem, representando que as mesmas possuem a menor distribuição de precipitação entre as altitudes.

E com isso, pode-se dizer que os vetores da Figura 6, representados pelas Faixas, não estão próximos. As Faixas 1, 2 e 3, estão bem distantes localizadas dentro do gráfico, demonstrando que a variação de altitude é heterogênea na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim.

As estações pluviométricas das Faixas 1 e 2, são homogêneas dentro de cada Faixa, como também, contendo média dos volumes de precipitações semelhantes (Tabela 5). Já a Faixa 3 (altitude máxima), possui heterogeneidade na distribuição da precipitação, onde, as estações e1, e8, e23 e e24 ficaram dispersas e não agrupadas. Pode-se analisar que possuíram a média mínima de precipitação pluviométrica mais baixa (26,20 mm) entre as três altitudes estudadas. Embora apresentam similaridade na média de distribuição pluviométrica mínima com as outras altitudes 32 mm (Faixa 1), 29,58 mm (Faixa 2), não foi o suficiente para se aglomerar em determinado ponto. As estações possuem médias de precipitações mínimas semelhantes, mas a altitude real delas variou, onde a tendência se caracterizou pelas estações e1, e8 e e24 que possuem altitude altas e a estação e23 ficou predisposta junto na Faixa 3, mesmo obtendo uma altitude mais baixa.

Percebe-se através da Figura 5 e 6, que na Faixa 1 e 2 obtiveram maior aglomeração de precipitações pluviométricas homogêneas, principalmente a Faixa 1 (0 - 150 m), a qual possui menor altitude.

Na Tabela 5 está representado os dados da média do mês mais chuvosos e seco de cada ano, representando a média geral para máxima e mínima de cada estação pluviométrica.

Tabela 5 - Precipitações das médias máximas e mínimas de acordo com determinadas faixas analisadas na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim

Precipitação (mm)	Médias Máximas			Médias Mínimas		
	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3
$\bar{X}$	254.79	251.43	279.07	32	29,58	26,20

Fonte: Autora.

Sendo assim, obteve-se 3 Faixas de acordo com a altitude, sendo relevante para representatividade nas 3 regiões da Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim. Como também, deve salientar que ao relacionar os Grupos (1, 2 e 3) de precipitação pluviométrica similar obtidos pela análise de agrupamento pelo método de cluster e as Faixas (altitudes), houveram várias estações que estiveram no mesmo Grupo e na mesma Faixa.

Como por exemplo, o agrupamento de estações pluviométricas obtidos no Grupo 1, apresentou 11 estações pluviométricas (e34, e39, e16, e35, e10, e38, e7, e8, e3, e1 e e7) que também estiveram presente na Faixa 1 (menor altitude). Já o Grupo 2 apresentou 3 estações semelhantes (e43, e26 e e12). Mas o Grupo 3 com a Faixa 3, não obteve nenhuma estação em comum.

Já ao analisar o agrupamento com as médias das precipitações mínimas, o Grupo 1 teve em comum acordo com a Faixa 1, 12 estações pluviométricas (e44, e38, e43, e7, e6, e10, e3, e9, e28, e34, e39 e e2). O Grupo 2 obteve em comum com a Faixa 2, 3 estações pluviométricas (e 30 e e42), e o Grupo 3, apenas 1 estação pluviométrica (e23).

Logo, a análise de agrupamento pelo método de Cluster e com a Análise das Componentes Principais apresentaram dados relevantes para a Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim. Onde, a altitude é responsável pela diferença na distribuição pluviométrica da Bacia Hidrográfica em questão.

## CONCLUSÃO

Existe uma correlação positiva entre altitude e precipitação na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí Mirim.

Houve heterogeneidade de precipitação pluviométrica entre as Faixas de altitude, todavia, e em cada Faixa estudada a precipitação pluviométrica manteve-se homogênea. Ressaltando que se obteve três grupos de distribuição pluviométrica distintas na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim, e três grupos de altitudes diferentes.

Salientando, que várias estações pluviométricas que estão inseridas nos grupos que apresentam maiores precipitações, são representadas pela Faixa de menor altitude.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C. GONÇALVES, J. L. de. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, jan. 2014.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Hidroweb**. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>>. Acesso em: 10 out. 2018
- ARAÚJO, J. M. S.; MAIA, A. G.; NEVES, J. A. Uso dos índices PCP e PCD na determinação de regiões com precipitação pluvial homogênea. **Revista Brasileira de Climatologia**, n 11, v. 17, p. 119-139, jul./dez. 2015. ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)
- CARVALHO, J. R. P. de.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. Interpoladores geoestatísticos na análise da distribuição espacial da precipitação anual e de sua relação com altitude. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 9, set. 2012.
- CPTEC. Monitoramento do El Niño nos Últimos Anos. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/#>>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2020
- DE PAULA, G. M.; STRECK, N. A.; ZANON, A. J.; ELTZ, F. L. F.; HELDWEIN, A. B.; FERRAZ, S. E. T. Influência do fenômeno El Niño na Erosividade das chuvas na região de Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, 1315-1323 p. 2010.
- ELESBON, A. AA.; SILVA, D. D. da.; SEDIYAMA, G. C.; GUEDES, H. A. S.; RIBEIRO, C. AAS.; RIBEIRO, C. B. de. M. Multivariate statistical analysis to support the minimum streamflow regionalization. **Eng. Agrícola**, Jabotical, v. 35, n. 5, set./Oct, 2015. ISSN 0100-6916 *On-line version* ISSN 1809-4430
- GEBERT, D. M. P. Determinação de regiões homogêneas de precipitação pluviométrica no estado do Paraná por meio de técnicas de análise multivariada e geoestatística. **Revista Brasileira de Climatologia**, n.14, v. 23, jul/dez 2018.
- GIORGIO, G. A.; RAGOSTA, M.; TELESCA, V. Application of a multivariate statistica indez on series of weather measurements at local scale. **Measurement**. V. 112, p. 61-66, dez./ 2017.
- GOTARDO, R.; PIAZZA, G.A.; TORRES, E.; SEVERO, D. L.; KAUFMANN, V. Distribuição espacial e temporal das chuvas no estado de Santa Catarina. **Geosul**, Florianópolis, v. 33, n. 67, p.253-276, mai./ago. 2018.
- GU, X.; ZHANG, Q.; LI, J.; SINGH, V. P.; SUN, P. Impact of urbanization on nonstationarity of anual and seasonal precipitation extremes in China. **Journal of Hydrology**, v. 575, p.638-655, agos. 2019.
- HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. de O. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **Engineering Science**, v1, n.5, p. 83-90, 2015. ISSN:2358-5390

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE Cidades – Dados Populacionais. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/v>>. Acesso em: 7 de agosto de 2019

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 10 out. 2019

KASSAMBARA, A. **Practical Guide To Clsuter Analysis in R: Unsupervised Machine Learning** Statistical tools for high-throughput data analysis. Copyright, Ed. 1, p. 4, (p. 03 - 38), 2017.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika** v.23, p.187–200. 1958.

MARÍN, A. P. G.; ESTÉVEZ, J.; COBO, M. T. M.; MUÑOZ, J. L. A. Delimiting homogeneous regions using the multifractal properties of validated rainfall data series. **Journal of Hydrology**, n. 529, p. 106-119, 2015. ISSN 0022-1694

MENDIBURU, F.D. agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R Package V. 1.2-3. 2015. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/agricolae/index.html>> . Acesso em: 10 de setembro, 2019.

MENEZES, F. P.; FERNANDES, L. L.; ROCHA, E. J. P. da. O uso da estatística para regionalização da precipitação no Estado do Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, n. 11, jun./jul. 2015. ISSN: 1980 -055X (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

OKSANEN, J., BLANCHET, FG, FRIENDLY, M., KINDT, R., LEGENDRE, P., MCGLINN, D., MINCHIN, P. R.; O’HARA, R. B.; SIMPSON, G. L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M. H. H.; SZOECs, E.; WAGNER, H. Vegan: Pacote de ecologia comunitária. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan> Acessado em 10 de setembro de 2019.

POLIKRETI, K.; ARGYROPOULOS, V.; CHARALAMBOUS, D.; VOSSOU, A.; PERDIKATSI, V.; APOSTOLAKI, C. Tracing correlations of corrosion products and microclimate data on outdoor bronze monuments by Principal Component Analysis. **Corrosion Science**. v. 51, 2416-2422 p.

RENCHER, A. C. **Methods of Multivariate Analysis**, Copyright, 2 ed. 727p. 2002.

ROLDÃO, A. de F.; SANTOS, J. G.; OLIVEIRA, L. A. de. Correlação entre as variáveis climáticas (altitude, temperatura e precipitação) na mesorregião Sul e Sudoeste de Minas Gerais – MG. **Revista Geonorte**. Edição especial, v.1, n. 5, p.515-525, 2012

SANTOS, C. A. do.; LIMA, A. M. M. de.; FRANCO, V. dos. S.; ARAÚJO, I. B. de.; GOMES, N. M. O. Distribuição espacial da precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Xingu. **Nucleus**, v. 13, n.2, p. 223-230, out. 2016

SANTOS, E. C. A. dos.; ARAÚJO, L. E. de.; MARCELINO, A. dos. S. Análise climática da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n. 1, p. 9-14, 2015.

SANTOS, V. C. dos.; BLANCO, C.; JUNIOR OLIVEIRA, J. F. de. Distribution of rainfall probability in the Tapajos River Basin, Amazonia, Brazil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 14, n.3, jun. 2019.

SEMA. Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Bacias Hidrográficas**. Disponível em:< <https://www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas>>. Acesso em: 10 dez. 2019

SILVA, E. S.; TRINCA, L. A., NERY, J. T. Áreas espacialmente homogêneas de níveis de precipitação nas regiões Sudeste e Sul do Brasil. **Revista Energia na Agricultura**. ISSN 1808-9759, Botucatu, v.24, n.3, 2009, p.34-59

SILVA, M. de. N. A. da.; PESSOA, F. C. L.; SILVEIRA, R. N. P. de. O.; ROCHA, G. S.; MESQUITA, D. A. Determinação da Homogeneidade e Tendência das Precipitações na Bacia Hidrográfica do Rio Tapajós. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 33, n.4, Oct./Dec. p. 665-675, 2018. ISSN 0102-7786 on-line version ISSN 1982-4351

SILVA, R. L. L. da.; RICHTER, L. A.; IENSEN, R. E.; KEMERICH, P. D. da. C.; BURIOL, G. A. Variação geográfica da precipitação pluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, RS. **Disciplinarum Scientia**, Santa Maria, v.20, n.1, p. 41-51, 2019. ISSN 2176-462X

SILVEIRA, P. da. C. Precipitação pluviométrica na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí, RS. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociência). Universidade Federal de Santa Maria, 56p., 2012.

SOHOULANDE, C. D. D.; STONE, K.; SZOGI, A.; BAUER, P. An investigation of seasonal precipitation patterns for rainfed agriculture in the Southeastern region of the United States. *Agricultural Water Management*, v. 223, n. 20, agos./2019

SONG, X.; ZHANG, J.; ZOU, X.; ZHANG, C.; AGHAKOUCHAK, A. KONG, F. Changes in precipitation extremes in the Beijing metropolitan área during 1960-2012. **Atmospheric Research**, v. 22, 134-153 p., jul. 2019.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4 ed Porto Alegre: UFRGS, 2009

## 5 ARTIGO II – VARIABILIDADE SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS VACACAÍ E VACACAÍ-MIRIM

### Resumo

Objetivou-se analisar a tendência dos regimes sazonais de séries históricas de precipitação pluviométrica da Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim. Optou-se por utilizar três estações pluviométricas inseridas dentro da bacia hidrográfica, representadas por altitudes diferentes. Estação e6 (Faixa 2, 200 m), e8 (Faixa 1, 120 m) e e9 (Faixa 3, 420 m). Foi avaliada a tendência pluviométrica do verão (dezembro, janeiro e fevereiro), outono (março, abril e maio), inverno (junho, julho e agosto) e primavera (setembro, outubro e novembro). Após utilizou-se o método estatístico de Kruskal-Wallis e de Regressão Linear para analisar a tendência da distribuição da precipitação pluviométrica. Há presença da tendência de aumento de precipitação pluviométrica nas estações do ano do verão, inverno e primavera nas estações pluviométricas e6, e8 e e9 ao longo dos anos. O outono apresentou diminuição da precipitação pluviométrica no decorrer dos anos. O fenômeno de El Niño tem grande participação em eventos extremos nas três estações pluviométricas estudadas. E também, mesmo com altitudes diferentes apresentaram similaridade de volume pluviométrico em diversos anos, e em vários eventos extremos.

**Palavras-chaves:** Eventos extremos. Verão. Outono. Inverno. Primavera.

## SEASONAL VARIABILITY OF PLUVIOMETRIC PRECIPITATION OF THE HYDROGRAPHIC BASIN OF THE VACACAÍ AND VACACAÍ-MIRIM RIVERS

### Abstract

The objective of this study was to analyze the trend of seasonal regimes of historical series of rainfall in the Hydrographic Basin of the Vacacaí and Vacacaí-Mirim Rivers. It was decided to use three pluviometric stations inserted inside the hydrographic basin, represented by different altitudes. Station e6 (Lane 2, 200 m), e8 (Lane 1, 120 m) and e9 (Lane 3, 420 m). The rainfall (summer, December, January and February), autumn (March, April and May), winter (June, July and August) and spring (September, October and November) were evaluated. Afterwards, Kruskal-Wallis and Linear Regression statistical methods were used to analyze the trend in the distribution of rainfall. There is a trend of increasing rainfall in the summer, winter and spring seasons in the e6, e8 and e9 rain seasons over the years. The fall showed a decrease in rainfall over the years. The El Niño phenomenon plays a major role in extreme events in the three studied rainfall stations. And also, even with different altitudes, they presented similarity of pluviometric volume in several years, and in several extreme events.

**Keywords:** Extreme events. Summer. Autumn. Winter. Spring.

## INTRODUÇÃO

O entendimento sobre elementos climáticos, indiferente da escala arremetida, estabelece significativas ferramentas que podem ser utilizadas nas técnicas de planificação das atividades a serem realizadas nas áreas. A precipitação, representada por um dos elementos principais do clima, estabelece um dever indispensável na sistematização dos afazeres humanos, nas questões hidrológicas, atividades agrícolas, socioeconômicas, urbanas, obras de engenharia, entre outros (PETRUCCI; OLIVEIRA, 2019).

Sendo assim, a precipitação pluviométrica é extremamente importante no entendimento do clima ao analisar em escala regional, podendo ser estimada como um dos principais elementos no estudo e sistematização na organização de áreas urbanas e rurais. Compreendendo que os impactos sofridos na área pela precipitação pluviométrica, tendem para um viés de grande heterogeneidade climatológica mediante as mudanças no clima regional (SIMIONI; WOLLMANN, 2016).

A propensão em séries temporais pluviométricas para a região sul do Brasil é muito importante. Pois, as mudanças climáticas que ocorrem em relação ao ciclo hidrológico regional são consideráveis para o planejamento do presente e futuro da região, seja nos recursos hídricos como também na produção de alimentos (PIAZZA et al., 2016). A distribuição da precipitação tem influência direta na produtividade agrícola e na economia da região sul do Brasil (GONÇALVES; BACK, 2018). Mapear e classificar áreas com eventos extremos de precipitações, ao associar período, local e frequência de ocorrência, são dados importantes para aporte de práticas agrícolas. Os resultados obtidos podem ser utilizados como subvenção a agricultores e produtores, auxiliando na deliberação dos mesmos para melhores épocas de exercer diferentes atividades (ÁVILA; MELLO; VIOLA, 2009).

Os eventos extremos têm grandes impactos na sociedade. Através de muitos estudos, a World Meteorological Organization acredita que a probabilidade de eventos extremos é influenciada pelas atividades antrópicas, direta ou indiretamente. Assim, a exposição e a vulnerabilidade a eventos extremos podem prejudicar severamente as atividades agrícolas, e com isso influenciar na segurança alimentar (WMO, 2018). Logo, a relação entre a precipitação, e a produtividade é extremamente importante, pois a diminuição e o aumento excessivo da precipitação podem impactar ou perturbar a vegetação agrícola em determinadas regiões, sob um cenário de possíveis mudanças climáticas (SALIMON; ANDERSON, 2017).

Embora exista diferentes fatores que podem influenciar as variáveis climáticas, de uma área para outra, pode haver grandes diferenças no clima. Pois, cada área possui suas

peculiaridades climáticas, e muitas vezes, mesmos não estando em áreas próximas podem apresentar características semelhantes (TORRES, 2011). Por isso, a necessidade de estudar a tendência e a distribuição pluviométrica de diferentes áreas.

E com isso, os fatores de correlação sazonal e anual em toda a bacia hidrográfica, são úteis para várias atividades que dependem da precipitação pluviométrica em cada ano. Onde essa distribuição estimada da precipitação pluviométrica pode auxiliar de base para qualquer exercício que para desempenhar necessita da precipitação (DAHRI et al., 2016).

A variação climática está entre os principais assuntos a ser abordado ao falar sobre dos recursos hídricos, e principalmente na bacia hidrográfica. As chuvas determinam os regimes dos rios, ocupação do solo, existência de vegetação, entre outros, tornando o conhecimento essencial na sua dinâmica para o planejamento de qualquer atividade.

Os comitês de bacias hidrográficas são responsáveis pela mobilização socioambiental. Através de diversas ações voltadas para a preservação, garantia de condições quali-quantitativa da água para todos. O planejamento de atividades para o melhoramento das conjunturas da bacia e seus usos sustentáveis, demanda de um conhecimento amplo da bacia, excepcionalmente a questão da disponibilidade hídrica e às circunstâncias ambientais dos recursos hídricos (TOCCHETTO, M.; PEREIRA; TOCCHETTO, A., 2005).

Diante ao exposto, o entendimento da distribuição pluviométrica na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim é extremamente importante, principalmente, para o Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim. Possibilitando assim, a compreensão do funcionamento da mesma, servindo de auxílio nas tomadas decisões e ações voltadas para garantir qualidade e quantidade da água para todos os fins necessários (abastecimento, dessedentação de animais, produtividade agrícola, entre outros).

Perante a problemática exposta acima, objetivou-se analisar a tendência dos regimes sazonais de séries históricas de precipitação pluviométrica da Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Caracterização do local de estudo**

O estudo foi desenvolvido na Bacia Hidrográfica dos rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim. Localizada no centro-ocidental do Estado do Rio Grande do Sul, a qual está localizada nas respectivas coordenadas geográficas: 29°35' a 30°45' de latitude Sul e 53°04' a 54°34' de

longitude Oeste. Compreende as províncias geomorfológicas da Depressão Central e Escudo Sul Rio-Grandense, além disso, possui uma área de 11.077,34 km<sup>2</sup>. A elevação média das estações pluviométricas localizadas na bacia varia de 20 a 450 metros acima do nível do mar. O uso da água da bacia hidrográfica é designado principalmente para irrigação, dessedentação de animais e abastecimento público (SEMA, 2019).

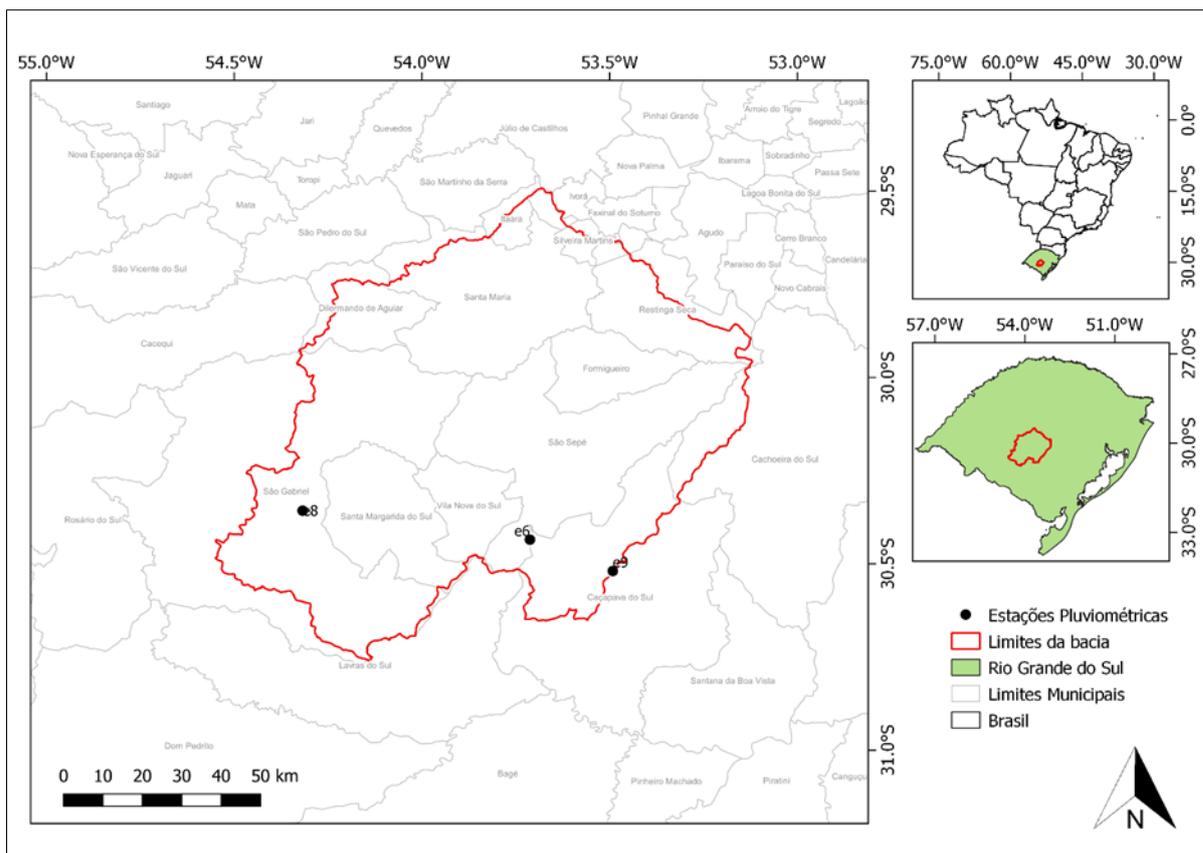
A estação e6 está localizada no município de São Sepé (RS), e8 em São Gabriel (RS) e e9 em Caçapava do Sul. Todas estão inseridas no Bioma Pampa (IBGE, 2019). De acordo com a classificação de Köppen, todos os municípios são constituídos pelo clima Cfa, representado por um clima subtropical úmido com verões quentes, sem estação seca definida (ALVARES et al., 2013). A base econômica de São Sepé, São Gabriel e Caçapava do Sul, são representadas pelas atividades agropastoris, agropecuária, e produção de grãos (PREFEITURA SÃO SEPÉ, 2020; PREFEITURA SÃO GABRIEL, 2020; PMSB 2013)

### **Coleta de dados das estações pluviométricas**

As séries históricas de precipitação pluviométrica das estações pluviométricas instaladas dentro Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim (RS), foram obtidas principalmente do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pela Agência Nacional da Água (ANA).

Para a escolha das estações pluviométricas, adotou-se como critério três estações que foram analisadas através da Análise de Componentes Principais (PCA) que estiveram presente em cada Faixa (altitude) do Artigo 1. Optou-se por uma estação que está localizada em baixa altitude (Faixa 1, e8), outra em altitude média (Faixa 2, e6) e outra pertencente a altitude alta (Faixa 3, e9). Como também, optou-se por analisar estações que possuíssem séries temporais semelhantes e até o ano de 2018. A distribuição espacial das 3 estações pluviométricas, estão representadas na Figura 1 e exemplificadas na Tabela 1.

Figura 1 – Distribuição das estações pluviométricas



Fonte: Autora

Tabela 1 - Localizações das estações pluviométrica e extensão das séries históricas

ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS					
	<b>Código</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude</b>	<b>Extensão da série de dados</b>
e6	3053017	S 30° 26' 7.08"	W 53° 42' 45.00"	200	Jun. 1981/Dez. 2018
e8	3054018	S 30° 21' 27.00"	W 54° 19' 5.16"	120	Jul. 1985/Dez. 2018
e9	3053022	S 30° 31' 9.84"	W 53° 29' 30.12"	420	Abr. 1986/Dez. 2018

Fonte: Agência Nacional de Águas (2018) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

### **Análise dos Dados Pluviométricos**

Com os dados diários das estações pluviométricas foi realizada a média mensal. E com isso realizou a separação de acordo com as estações do ano, média verão (dezembro, janeiro e fevereiro), média outono (março, abril e maio), média inverno (junho, julho e agosto) e média primavera (setembro, outubro e novembro) de cada estação pluviométrica, de cada ano.

### **Preenchimento de Falhas**

Para a correção das falhas das três estações pluviométricas (e6, e8 e e9) da Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim, foram preenchidas pelo método de ponderação regional (SANTOS et al., 2016). O método consiste em selecionar três ou mais estações pluviométricas vizinhas da estação que possui falha, estas estações pluviométricas deve possuir pelo menos 10 anos de dados e os postos vizinhos devem estar inseridos em uma região com características climatológicas semelhantes da estação a ser preenchida (TUCCI, 2009). Após, aplica-se a fórmula:

$$Y = \frac{1}{3} \left[ \frac{x1}{xm1} + \frac{x2}{xm2} + \frac{x3}{xm3} \right] \cdot Ym$$

Y = precipitação do posto Y a ser estimada;

x1, x2 e x3 = precipitações correspondentes ao mês ou ano que se deseja preencher, observadas em três estações vizinhas;

xm1, xm2 e xm3 = precipitações médias nas três estações circunvizinhas; e

Ym = precipitação média do posto Y.

### **Kruskal-Wallis**

Para a análise da tendência das estações pluviométricas, através dos dados diários, foi realizada a média mensal e assim, a média anual para cada estação pluviométrica.

As estações pluviométricas da área de estudo foram submetidas ao teste de Tuckey (5%) para a verificação às pressuposições de normalidade da distribuição de erros e homogeneidade de variâncias, respectivamente. Como todos os pressupostos não foram atendidos, procedeu-se ao teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ). As análises foram feitas com o auxílio do programa R Studio (versão 3.6.1), utilizando o pacote Agricolae (MENDIBURU, 2015).

### **Regressão Linear**

Para fazer a comparação entre a distribuição de anos e a precipitação sazonal, optou-se por utilizar o método de regressão linear. O qual, é responsável por auxiliar na obtenção de

dados a partir do conhecimento de variáveis. O valor de X, é a variável independente, a qual, o dado ficado é representado pelos anos de precipitação, e no Y, a variável aleatória e dependente, é a precipitação pluviométrica (DEVORE, 2018).

Após, optou-se por inserir os dados de precipitação pluviométrica (e6, e8 e e9) como variável aleatória e dependente no eixo Y, e no eixo X, os anos da série temporal de cada estação. E partir disso gerar um gráfico de dispersão, no software Excel.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Conforme o Atlas Climático da Embrapa (2012), a região que abrange as três estações pluviométricas possui um regime pluvial médio entre 1500 e 1600 milímetros anuais. Este índice está dentro da média estadual, sendo que mais ao sul do RS a precipitação média chega a 1100 mm, e ao norte a 1900 mm.

### **Influência dos fenômenos El Niño e La Niña na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí Vacacaí-Mirim**

Conforme Trenberth e Stepaniak (2001), o evento conhecido como El Niño Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno responsável pela variação climática de diversas regiões do globo terrestre. É caracterizado pelo aquecimento das águas do Oceano Pacífico e ocorre, usualmente, em intervalos de 4 anos, normalmente no mês de dezembro.

Em anos que ocorre El Niño, os ventos alísios diminuem de intensidade, deslocando as camadas de água quente em direção à América do Sul. Deste modo, as águas mais quentes do oeste vão para o leste, causando, no Brasil, aumento das chuvas no sul e diminuição no restante do país (TRENBERTH; STEPANIAK, 2001).

Em contrapartida, o evento La Niña ocorre quando há o resfriamento das águas do Oceano Pacífico, com a intensificação dos ventos alísios que sopram no sentido leste-oeste. Ao contrário do que ocorre com o El Niño, em anos de La Niña os efeitos sentidos no país são a diminuição das chuvas no sul do Brasil, e intensificação destas no norte e nordeste (TRENBERTH; STEPANIAK, 2001).

Diversos estudos sugerem que os efeitos do El Niño sob o sul do Brasil é justamente um aumento no regime de chuvas, que pode ser observado com maior frequência nos meses de primavera e início do verão. Por outro lado, os efeitos do La Niña tendem a diminuir o volume

pluviométrico no estado gaúcho (CUNHA et al., 2011; CORDEIRO et al., 2018; GOUVEA et al., 2018).

Para Cunha et al. (2011), em anos de El Niño na região sul do Brasil observam-se maiores volumes pluviométricos, enquanto em anos de La Niña tende a ocorrer estiagem. De acordo com os autores, estes efeitos são mais observados no último trimestre do ano e no fim do outono, entre abril e junho.

Além destes, autores como Kyuna (2002) e Souza e Galvani (2017) também relatam efeitos similares que ocorrem no clima da região sul do país, gerados e intensificados pelos fenômenos climáticos.

De modo a compreender melhor os efeitos causados pelos fenômenos que alteram a distribuição de temperatura sob a superfície da água do Oceano Pacífico, conhecidos como El Niño e La Niña, foi adaptada a Tabela 2, onde estão representados os anos e seu respectivo evento.

Tabela 2 – Ocorrências de El Niño e La Niña

<b>PERÍODO</b>	<b>EVENTO E INTENSIDADE</b>
<b>1979-1980</b>	El Niño Moderado
<b>1982-1983</b>	El Niño Forte
<b>1986-1987</b>	El Niño Moderado
<b>1987-1988</b>	El Niño Forte
<b>1988-1989</b>	La Niña Moderado
<b>1991-1992</b>	El Niño Forte
<b>1992-1993</b>	El Niño Fraco
<b>1996-1997</b>	El Niño Forte
<b>1998-1999</b>	La Niña Fraco
<b>1999-2000</b>	La Niña Moderado
<b>2002-2003</b>	El Niño Moderado
<b>2006-2007</b>	El Niño Moderado
<b>2007-2008</b>	La Niña Moderado
<b>2009-2010</b>	El Niño Moderado
<b>2010-2011</b>	La Niña Moderado
<b>2015-2016</b>	El Niño Forte
<b>2017-2018</b>	La Niña Moderado

Fonte: Adaptado de CPTEC, 2020.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Média da série histórica das estações pluviométricas estudadas

Entre os anos de 1981 e 2018 (período de coleta de dados das estações pluviométricas), houve a ocorrência de 10 eventos El Niño, 6 eventos La Niña e 21 eventos neutros (sem a ocorrência de nenhum dos fenômenos). Estes dados podem ser observados na Tabela 2.

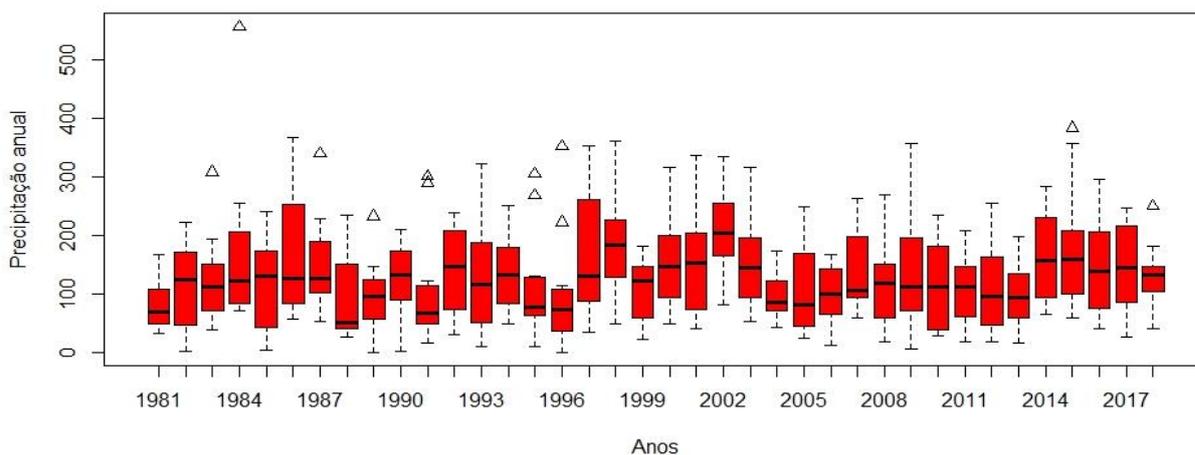
No que se refere à média dos índices de precipitação, o ano de 2002 se destaca nas três estações com a maior pluviometria. Para as estações e6 (Figura 2) e e9 (Figura 4), os anos 1998 e 2015 também apresentam índices elevados de precipitação. Na estação e8 (Figura 3), os anos de 1986 e 1987 se destacam. De acordo com os mapas de precipitação do INMET (2019), os anos 1998 e 2002 apresentaram chuvas acima da média em todo o estado gaúcho (RS), dados estes que podem ser confirmados através das informações coletadas nas estações e6, e8 e e9.

Portanto, as chuvas intensas registradas pela estação e8 nos anos 1986-1987 podem ser explicadas pelo fenômeno El Niño, que gerou diminuição das chuvas na região sudeste do país e aumento na região sul (CORDEIRO et al., 2018). De acordo com Gouvea et al. (2018), os eventos chuvosos de 1998 também se devem ao El Niño intenso, o que gerou volumes pluviométricos superiores à média no estado, principalmente na primavera e no verão.

Para Kiyuna (2002), o El Niño também é o responsável pelos altos volumes de precipitação que ocorreram em 2002 na região sul do Brasil. Conforme o autor, o fenômeno foi percebido em todo o mundo, sendo que outras regiões brasileiras, como o sudeste e nordeste, sofreram com a estiagem e diminuição das chuvas causadas pelo fenômeno atmosférico-oceânico.

Através da Figura 2, a distribuição empírica dos dados da estação e6, pode-se destacar que houve vários anos com distribuição simétrica dos dados (1983, 1990, 1994, 1996, 2000, 2003, 2010 e 2016) de precipitação pluviométrica da estação e6.

Figura 2 – Média da série histórica da estação pluviométrica e6



Fonte: autora.

Houve vários anos que apresentaram dados de precipitação pluviométrica com distribuição assimétrica negativamente 1982, 1985, 1989 (La Niña moderada), 1998 (La Niña fraca), 1999 (La Niña de fraca para moderada), 2001, 2008 (La Niña moderada), 2011 (La Niña moderada), 2015 (El Niño forte) e 2018 (La Niña moderada), abaixo da média de precipitação. Percebe-se que de 10 anos, 7 anos possuíram volumes de pluviometria abaixo da média da estação e são representadas pela presença do fenômeno La Niña, o que pode ter contribuído de forma considerável para ter ocorrido períodos com menores precipitações nestes anos.

Embora o ano de 2015 tenha apresentado precipitação pluviométrica assimétrica negativamente, neste ano houve a ocorrência de El Niño, portanto, o volume pluviométrico pode ter sido interferido por outros fatores, como o relevo, por exemplo. Estudos sugerem que a altitude pode exercer certa influência no regime pluviométrico de determinada localidade, sendo que Souza e Galvani (2017) perceberam acréscimos de até 1,6 mm por metro de altitude na Bacia Hidrográfica de Jacaré Guaçu (SP).

Alguns anos obtiveram dados de precipitação pluviométrica com distribuição assimétrica positiva 1981, 1984, 1986 e 1987 (El Niño moderado), 1987 e 1988 (El Niño forte), 1991 (El Niño forte), 1993 (El Niño fraco), 1995, 1997 (El Niño forte), 2002 (El Niño moderado), 2004, 2005, 2006 e 2007 (El Niño moderado), 2009 (El Niño moderado), 2012, 2013, 2014, 2017 (La Niña moderada), acima da média de precipitação.

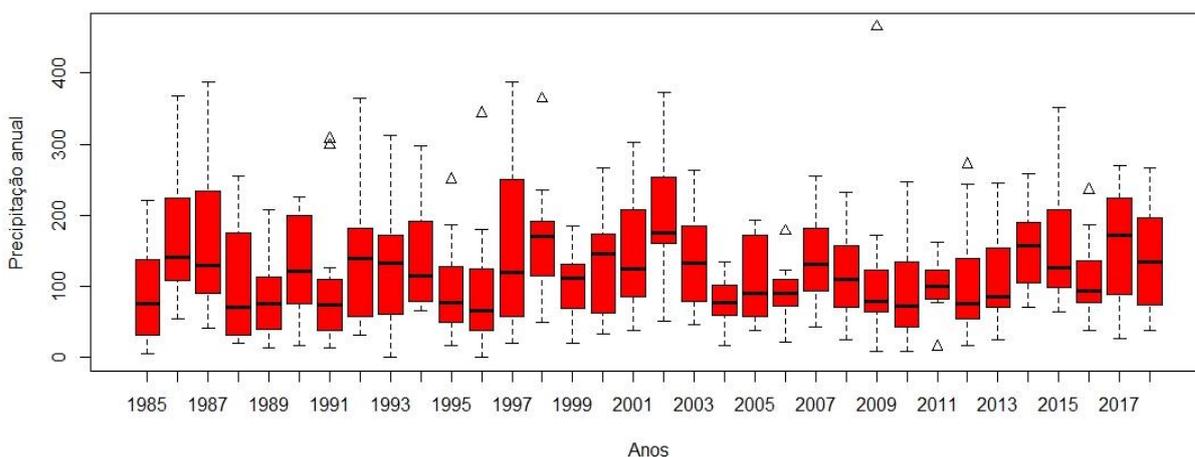
De 20 anos que apresentaram distribuição assimétrica positiva, 8 anos sofreram a interferência do El Niño. E apenas em 2017 sofreu interferência de La Niña moderada, o que pode apresentar algo fora do padrão para a área analisada. Além disso, fatores externos podem

ter contribuído para esse aumento pluviométrico acima da média, como a ocorrência de frentes estacionárias e semiestacionárias (SANCHES et al., 2014).

É possível observar através dos eventos extremos presentes na Figura 2 que houve diversos dados discrepantes, que podem ter sido causados por chuvas muito acima da média, sendo os volumes mais expressivos no ano 1984 (aproximadamente 600 mm), 2015 (aproximadamente 400 mm) e 1996 (aproximadamente 380 mm) – este com dois eventos extremos. Na estação e6 não foi observada nenhuma anomalia com índices pluviométricos inferiores, somente superiores, o que sugere que não ocorreram eventos de estiagem nesta região.

A estação e8 (Figura 3) possui apenas os anos de 1989, 1991 e 2003 com distribuição simétrica dos dados pluviométricos. Houve vários anos que obtiveram dados de precipitação pluviométrica com distribuição assimétrica negativa, sendo eles 1992 (El Niño fraco), 1993 (El Niño fraco), 1998 e 1999 (La Niña fraca), 1999 e 2000 (La Niña moderada), 2014, 2017 e 2018 (La Niña moderada).

Figura 3 – Média da série histórica da estação pluviométrica e8



Fonte: Autora.

Observa-se que de 9 estações que apresentaram distribuição de precipitação pluviométrica assimétrica negativamente, 6 estavam sendo afetadas pelo fenômeno de La Niña, o que pode ter influenciado de forma expressiva nestes dados. Já o ano de 1992, 1993, apresentaram El Niño fraco, não tão considerável. O conjunto disso, com outros fatores podem ter contribuído para ocorrer à diminuição da precipitação em relação à média da estação nestes

anos (SOUZA; GALVANI, 2017). Além disso, esta estação encontra-se sob a menor altitude das 3 analisadas, o que pode ocasionar em menores volumes pluviométricos

Entretanto, a maioria dos anos apresentaram dados de precipitação pluviométrica com distribuição assimétrica positiva, 1985, 1986 e 1987 (El Niño moderado), 1987 e 1988 (El Niño forte, final de 1988 surge o fenômeno de La Niña moderado), 1990, 1994, 1995, 1996, 1997 (El Niño forte), 2001, 2002 e 2003 (El Niño moderado), 2004, 2005, 2006 e 2007 (El Niño moderado, final de 2007 surge o fenômeno de La Niña moderado), 2008 (La Niña moderado), 2009 e 2010 (El Niño moderado, final de 2010 apresenta o fenômeno de La Niña moderado), 2011 (La Niña moderado), 2012, 2013, 2015 e 2016 (El Niño forte).

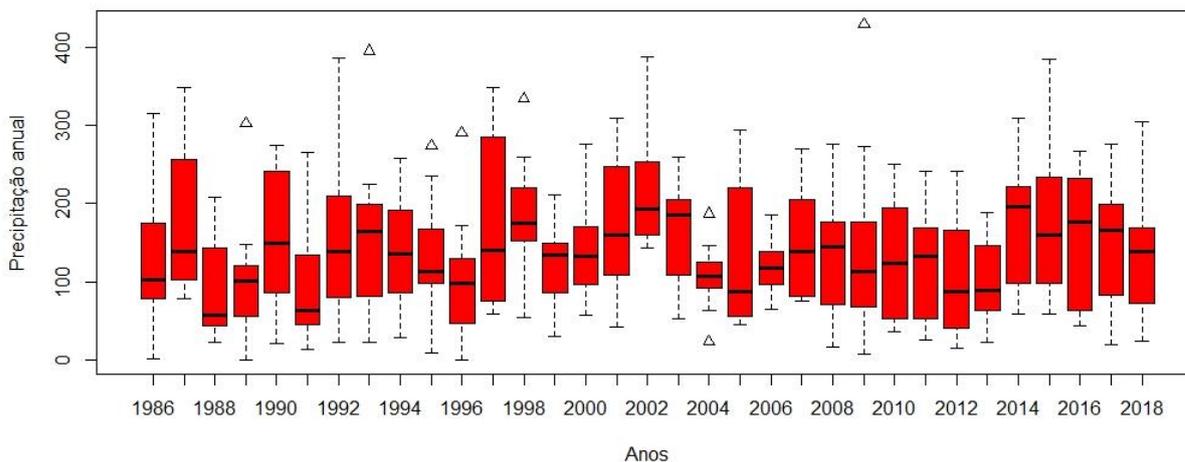
Observa-se que de 25 anos que apresentaram distribuição assimétrica positiva, 13 anos foi interferido pelo fenômeno de El Niño. O que pode apresentar o motivo desse aumento da precipitação acima da média. O fenômeno de La Niña esteve presente em 5 anos, mas na maior parte desses anos estava em transição de El Niño para La Niña.

A Figura 3 permite observar que existem diversos anos onde a precipitação apresentou anomalias na estação e8, destacando-se episódios de chuvas mais intensas nos anos 1991 (aproximadamente 300 mm), 1996 (aproximadamente 350 mm), 1998 (aproximadamente 350 mm) e 2009 (aproximadamente 490 mm). Logo, o ano de 1991, 1998 e 2009 ocorreu interferência do El Niño (conforme Tabela 2).

Além disso, houve um evento anômalo com chuvas bem abaixo da média, no ano 2011. Este evento pode estar associado à ocorrência de La Niña neste ano, cuja intensidade forte pode ter causado diminuição das chuvas no sul do Brasil (RODRIGUES et al., 2017). É importante ressaltar ainda que os eventos extremos podem ter sido causados por falha no equipamento ou por efeitos regionais pontuais, como microclima.

Assim como nas estações e6 e e8, a estação e9 (Figura 4) também apresentou diversos eventos com chuvas mais intensas que a média, com destaque para os episódios ocorridos em 1993, 1998 e 2009, anos estes que coincidem com o fenômeno El Niño (Tabela 2). Houve apenas um evento com chuva muito abaixo da média, que ocorreu em 2004, o que pode ter ocorrido devido a eventos locais relacionados ao microclima da região ou a erros de leitura do equipamento.

Figura 4 – Média da série histórica da estação pluviométrica e9



Fonte: autora.

Houve distribuição simétrica dos dados pluviométricos na estação e9 apenas nos anos de 2000 e 2010. Houve vários anos que apresentaram dados de precipitação pluviométrica com distribuição assimétrica negativa, 1989 (La Niña moderada), 1993 (El Niño forte), 1996, 1999 (La Niña fraca), 2001, 2008 (La Niña moderada), 2011 (La Niña moderada), 2014 e 2016 (El Niño forte), 2017 e 2018 (La Niña moderada).

De 11 anos analisados da e9, observa-se que 6 houveram influência da La Niña, sendo responsável pela diminuição do volume de precipitação. Os anos que apresentaram a El Niño, arrisca-se a comentar que pode ter sido o final do El Niño, tanto em 1993 como também, em 2016. Além de diversas outras variáveis que podem ter contribuído para a diminuição da precipitação nestes anos.

Por fim, a maioria dos anos obtiveram dados de precipitação pluviométrica com distribuição assimétrica positiva, 1986 e 1987 (El Niño moderado), 1987 e 1988 (El Niño forte), 1990, 1991 e 1992 (El Niño forte), 1994, 1995, 1997 e 1998 (El Niño forte), 2001, 2002 (El Niño moderado), 2004, 2005, 2006 e 2007 (El Niño moderado, e 2007 tende para o início de La Niña), 2009 (El Niño moderado), 2012, 2013 e 2015 (El Niño forte). Salienta-se que de 20 anos analisados de séries temporais de precipitação pluviométrica, 14 anos obtiveram a presença do fenômeno El Niño, o que justifica o volume de precipitação pluviométrica acima da média do ano da estação.

Assim como na estação e8, a estação e9 também apresentou diversos eventos com chuvas mais intensas que a média, com destaque para os episódios ocorridos em 1993 (aproximadamente 400 mm), 1998 (aproximadamente 350 mm) e 2009 (aproximadamente 450

mm). No ano de 2004 houve eventos extremos para a distribuição assimétrica positiva (aproximadamente 200 mm) e negativa (aproximadamente 30 mm) na estação pluviométrica.

Conforme Guerra (2012), o Rio Grande do Sul, embora possua distribuição pluviométrica anual homogênea, apresenta grandes variações sazonais dos índices pluviométricos no estado. Segundo a autora, as atividades convectivas e os sistemas frontais são os maiores responsáveis pela variação pluviométrica na primavera, principalmente na região oeste do estado, uma vez que estes sistemas atmosféricos migram de regiões com altas latitudes.

As estações e6, e8 e e9 não tiveram a mesma simetria em nenhum ano, o que pode indicar que a diferença de altitude pode influenciar nos índices pluviométricos de cada região. Ao analisar as assimétricas negativamente, analisando as três estações pluviométricas, pode-se observar que os anos de 1999 e 2018 foram semelhantes nas três estações. Onde, de acordo com a Tabela 2, a La Niña moderada possuía efeitos globais, os quais podem ter interferido diretamente.

A assimétrica positiva apresentou dados semelhantes entre as três estações (e6, e8 e e9) nos anos de 1986, 1987, 1988, 1995, 1997, 2002, 2004, 2005, 2006, 2007, 2009, 2012 e 2013. Logo, os outros anos não apresentaram nenhum tipo de semelhança.

No ano de 1986 e 1987 nas três estações analisadas (e6, e8 e e9) apresentaram-se os efeitos de El Niño moderado, 1987 e 1988 El Niño forte, 1997 e 2002 El Niño forte, 2006 e 2007 El Niño moderado, 2007 La Niña moderada e 2009 El Niño moderado. Entretanto, o volume precipitado em cada estação não necessariamente é semelhante, apenas a distribuição da chuva ocorreu de forma homogênea.

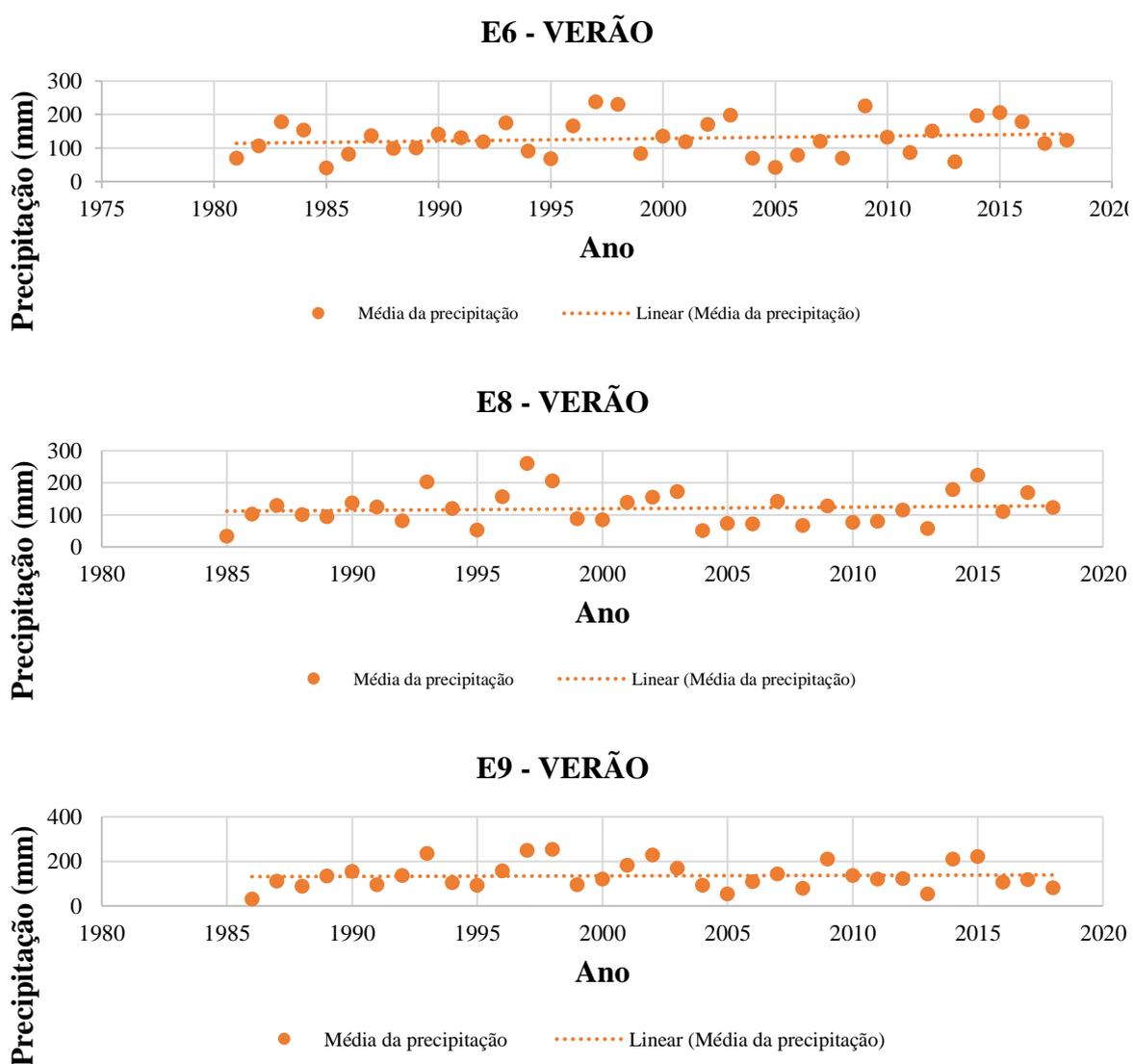
Pode-se observar que houve valores discrepantes de precipitação pluviométrica nas três estações (e6, e8 e e9) no ano de 1995 e 1996, onde pode ter ocorrido algum evento extremo atípico na região da Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim. Já os outros eventos extremos dentro dos gráficos podem representar eventos locais, na área da estação pluviométrica, como também falha na transcrição dos dados ou eventuais problemas no aparelho medidor.

## Análise da distribuição pluviométrica nas estações do ano na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim

### Verão

Na Figura 5 é possível observar o comportamento pluviométrico das estações e8 (localizada na altitude de 120 metros, pertencendo, portanto, à Faixa 1, de acordo com o Artigo 1), e6 (localizada na altitude de 200 metros e estando compreendida na Faixa 2) e e9 (localizada na altitude de 420 metros, considerada Faixa 3). Demonstrando as diferentes estações pluviométricas e suas variações anuais na referida estação.

Figura 5 – Variação da média de precipitação anual para os meses de verão



Fonte: autora.

Ao observar a Figura 5, é possível ressaltar que o verão é uma estação com poucos eventos extremos conforme registros realizados na estação e6. Na maioria dos anos seguiu uma tendência linear da precipitação pluviométrica, obtendo uma média de precipitação entre 100 a 150 mm. A estação e8 apresentou vários anos com precipitação extrema, seja para máximas ou mínimas. Logo, a distribuição pluviométrica seguiu uma tendência em relação à média. A estação e9, por sua vez, apresentou verão com diversas épocas de eventos extremos, não possuindo uma tendência de precipitação pluviométrica muito significativa.

Dentre as semelhanças entre as três estações pluviométricas observadas, destaca-se o verão de 1985, onde houve o registro de baixa precipitação pluviométrica (abaixo de 50 mm). Além disso, nos anos de 1997 e 1998, o volume de precipitação foi alta, entre 200 e 270 mm anual. Houve homogeneidade no total anual de 2005, sendo que o volume variou entre 40 e 100 mm.

É importante ressaltar que a estação e6 (compreendida na altitude da Faixa 2 (200 m), apresentou maior tendência positiva em relação à média, sem a ocorrência de muitos anos dispersos e eventos extremos isolados (os eventos extremos que aparecem vão de encontro aos observados nas demais estações). Foram observados mais eventos extremos nos meses de verão, tanto na estação e8 (Faixa 1) quanto e9 (Faixa 3). Isso indica que a ocorrência de eventos extremos pode ocorrer com mais facilidade na altitude mínima e máxima analisadas na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim.

Através da Figura 5 é possível observar que houve uma tendência levemente crescente ao longo dos anos para os meses do verão na estação e6. A Estação e8 também apresenta uma leve tendência crescente, enquanto a estação e9 mantém-se praticamente estável. Estes resultados vão de encontro aos observados por Cordeiro et al. (2018), que observaram tendências crescentes de índices pluviométricos no sul do estado, associados principalmente à ação de El Niño (conforme Tabela 2), que influencia no aumento de volumes pluviométricos nos meses da primavera e do verão.

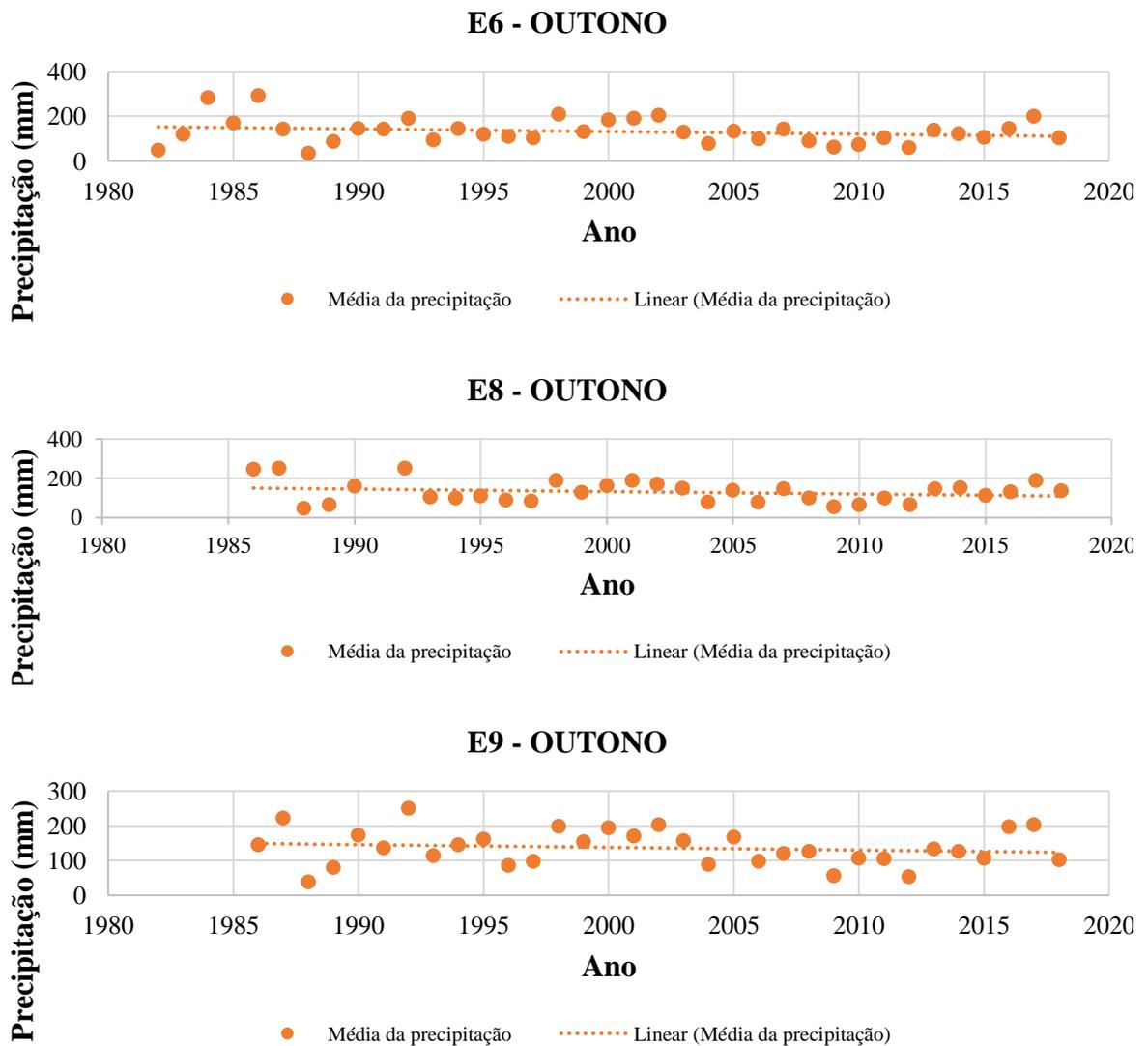
Conforme Braz et al. (2017), embora o evento La Niña possua a tendência de diminuir o volume de chuvas no sul do Brasil, os anos em que mais houve estiagem foram os anos neutros – sem interferências nem do El Niño, nem do La Niña. Ainda segundo os autores, em anos onde a intensidade do evento é forte, a tendência é que o efeito esperado se cumpra, ou seja, chova mais em anos de El Niño forte, e menos em anos de La Niña forte. Valores estes observados no presente estudo, como o ano de 1997, que registrou volumes altos nas três estações.

Em anos de La Niña, Matzenauer et al. (2017) sugerem que a precipitação pluviométrica pode diminuir na região sul do Brasil. Entretanto, os autores ressaltam que ocorre uma diminuição mais brusca em anos neutros – ou seja, sem a ocorrência de El Niño e La Niña.

## Outono

Para os meses de outono, conforme Figura 6, ao longo dos anos é possível observar uma tendência decrescente no volume de chuvas para todas as estações pluviométricas analisadas, e6, e8 e e9.

Figura 6 – Variação da média de precipitação anual para os meses de outono



Fonte: autora.

A estação pluviométrica e6 apresentou médias de precipitações anuais do outono mais próximas a média da estação. Já as estações e8 e e9, houve vários anos com distribuição pluviométrica no outono semelhantes, tanto os eventos homogêneos com a média da precipitação, até os eventos com precipitação extrema.

Percebe-se que nas três estações pluviométricas entre os anos de 1980 (e6), 1985 até o ano de 1995 apresentou várias médias discrepantes (acima e abaixo da tendência da precipitação pluviométrica) nas três estações. Apresentando assim, um período de eventos extremos na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim, que atingiu as três altitudes (200 m, 120 m e 420 m) analisadas de forma similar entre as estações pluviométricas analisadas (e6, e8 e e9).

Sanches et al. (2014) sugerem que este acumulado pluviométrico intenso pode ter ocorrido devido à formação de frentes estacionárias e semiestacionárias neste ano. O que pode justificar o volume pluviométrico superior da estação e9 às demais estações em 14 diferentes anos. Todas as estações apresentam alguns eventos extremos, como é possível observar no ano de 1992, onde estações e8 e e9 registraram chuvas de quase 250 mm no outono.

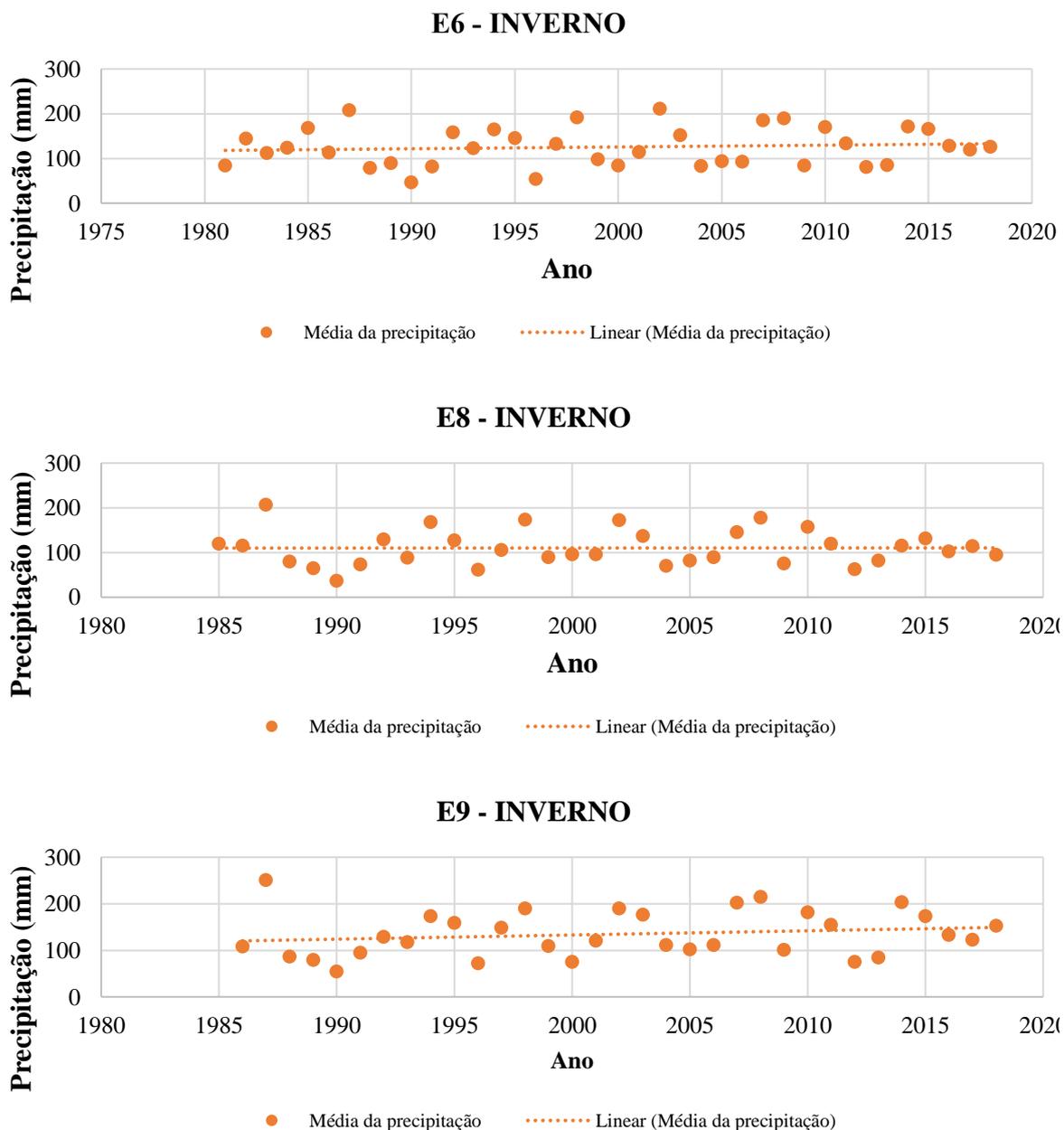
O evento de La Niña de intensidade moderada (Tabela 2), pode ser responsável por anos que obtiveram volumes de precipitações abaixo da linha de tendência da estação pluviométrica em questão. No ano de 1988 as três estações registraram volumes baixos, entre 32 e 45 mm (CORDEIRO et al., 2018). Segundo Braz et al. (2017), o outono e o verão no sul do país tendem a apresentar maior tendência à ocorrência de estiagem, principalmente em anos neutros e anos com a ocorrência de La Niña.

Conforme relatado por Wollmann e Galvani (2012), 31% do total de chuvas anuais no estado do Rio Grande do Sul ocorrem no período do outono. Para os autores, o aumento das chuvas nessa estação diz respeito às chamadas “frentes indecisas”, uma vez que o eixo principal da Frente Polar Atlântica tende a oscilar, principalmente entre o Rio da Prata e o estado gaúcho. Portanto, conclui-se que aumento no volume pluviométrico registrado nesta estação pode ocorrer quando são observadas intensificações dos sistemas polares e tropicais.

## **Inverno**

A Figura 7 mostra o comportamento do regime pluviométrico das estações nos meses de inverno (junho, julho e agosto).

Figura 7 – Variação da média de precipitação anual para os meses de inverno



Fonte: autora.

Pode ser observado na Figura 7 que a estação e6 apresentou um leve acréscimo na média de precipitação ao longo dos anos, sendo que na estação e8 a média se manteve estável e na estação e9 houve aumento ao longo dos anos. O aumento pluviométrico da estação e9 pode ser pelo fato de estar localizada em uma região mais alta, e as massas de ar podem interagir de forma mais intensa.

Por outro lado, na estação do inverno os sistemas atmosféricos ciclogênese e frontogênese, o que pode ocasionar maior variabilidade dos índices neste período do ano.

Chuvas mais intensas são observadas no litoral leste do estado devido aos sistemas atmosféricos, enquanto a parte oeste do RS pode sofrer com a estiagem durante o inverno (GUERRA, 2012).

A estação e6 foi a que se manteve mais estável durante o inverno para os anos observados, com poucos eventos extremos (apenas em 1987 e 2002 as chuvas ultrapassaram a marca de 200 mm). No ano de 1987 houve similaridade para as três estações observadas, com índices pluviométricos superiores à média para a estação do inverno de 250 mm. Por outro lado, nos anos 1990 e 1996 as três estações registraram volumes abaixo de 72 mm.

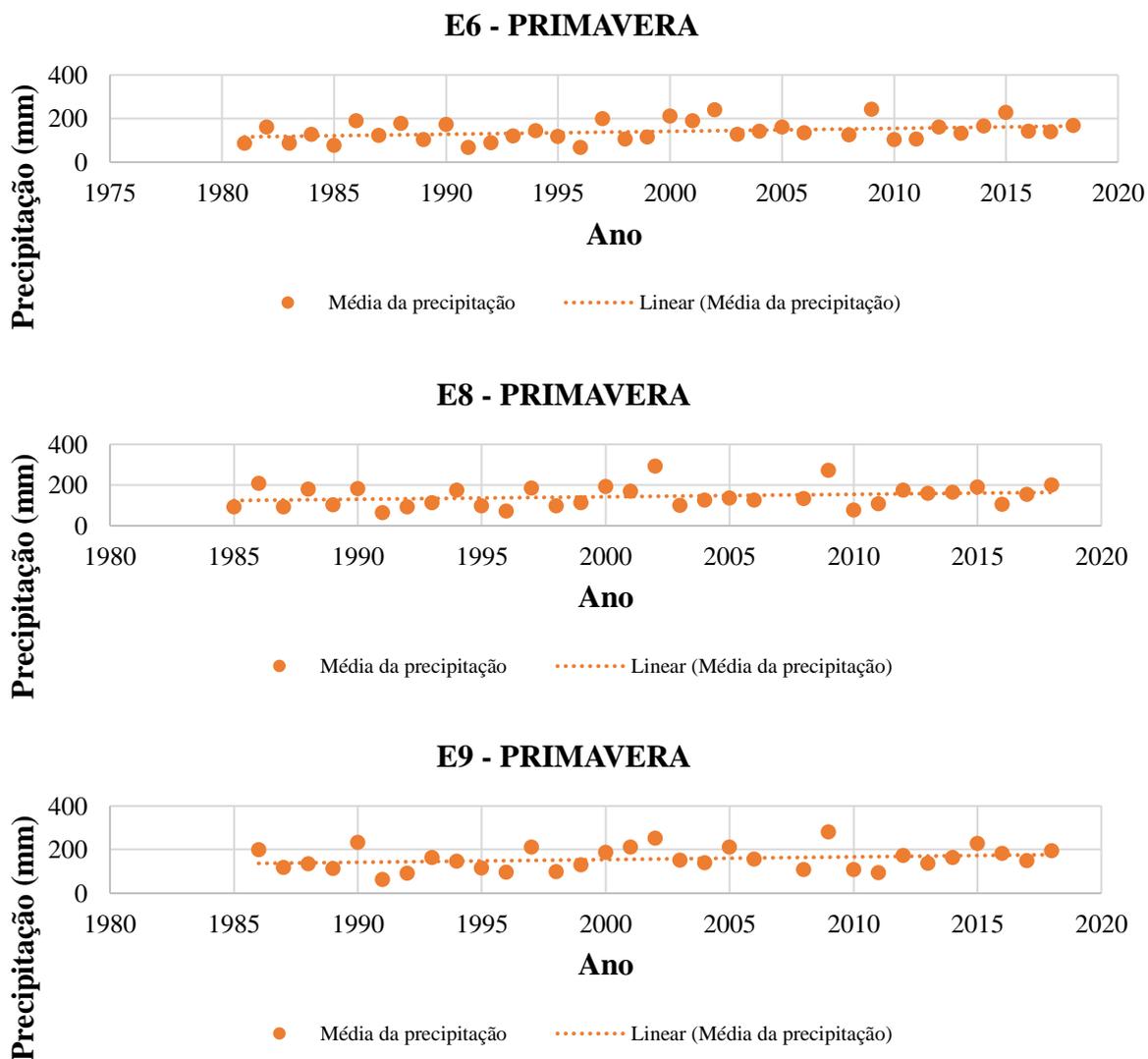
Em estudo conduzido por Braz et al. (2017), os autores verificaram que na estação do inverno houve menos ocorrência de eventos extremos, quando comparados à estação do verão no estado do Rio Grande do Sul. Além disso, em anos neutros. Matzenauer et al. (2017) observaram menores volumes de chuva nos meses do inverno.

## **Primavera**

A Figura 8 ilustra o comportamento do volume de chuvas nos meses de setembro, outubro e novembro, nas estações e6, e8 e e9.

Através da Figura 8 é possível observar que houve uma tendência de aumento da média de precipitação na primavera, para todas as estações observadas. De acordo com Cordeiro et al. (2018), os eventos do El Niño observados a partir da década de 1960 causou um acréscimo nos índices hídricos na estação da primavera, no nordeste da Argentina e no Sul do Brasil. Conforme os autores, o El Niño está relacionado a eventos anômalos com precipitação pluvial acima da média na região sul do país, principalmente nas estações da primavera e início do verão, o que explica a tendência positiva do gráfico, que foi observada em todo o estado para a estação da primavera.

Figura 8 – Variação da média de precipitação anual para os meses de primavera



Fonte: autora.

Na estação e6, a precipitação registrada no último ano (2018) praticamente duplicou quando comparado ao registro do primeiro ano (1981). O mesmo ocorre na estação e8, onde há um aumento de 117% no volume em comparação entre a primeira (1985) e última (2018) precipitação acumulada nos meses de primavera. Esta oscilação grande pode ser explicada pelos 10 eventos El Niño que ocorreram no período, uma vez que alguns autores sugerem que os efeitos do fenômeno são mais intensificados nos meses da primavera (MATZENAUER et al., 2017; BRAZ et al., 2017).

Matzenauer et al. (2017) também corroboram com esta informação, sugerindo que os eventos de El Niño que ocorreram na última década contribuíram para o aumento das médias pluviométricas no estado do Rio Grande do Sul, com destaque para os meses que compõe a

primavera. Ainda conforme os autores, em anos de La Niña, a primavera também é a estação que mais sofre interferência, sendo neste cenário, a diminuição do volume de chuvas.

A precipitação nos meses da primavera manteve-se entre 50 e 300 mm para as três estações, sendo que todas apresentaram eventos extremos, tanto com volumes acima da média, quanto abaixo. Os anos de 2002 e 2009 foram extremamente chuvosos para as três estações observadas, o que pode ser explicado pelo evento El Niño de intensidade Moderada que atingiu o globo nestes anos. No ano de 1991 observa-se que as três estações pluviométricas estudadas apresentaram uma média anual na primavera menor do que a média geral da estação.

De acordo com Matzenauer et al. (2017), nos meses da primavera em que há evento El Niño, a precipitação é usualmente acima da média, enquanto em anos de La Niña, os desvios no volume pluviométrico são negativos. Em anos neutros, a tendência é que a chuva se mantenha na média esperada para a estação.

## **CONCLUSÃO**

Há presença do aumento de precipitação pluviométrica nas estações de verão, inverno e primavera nas estações pluviométricas e6, e8 e e9 ao longo dos anos. O outono apresentou diminuição da precipitação pluviométrica no decorrer dos anos, em concordância com Braz et al. (2017) que observaram que no sul do país pode ocorrer maior tendência à estiagem no outono.

Salienta-se que o fenômeno de El Niño tem grande participação em eventos extremos nas três estações pluviométricas estudadas. E também, mesmo com altitudes diferentes apresentaram similaridade de volume pluviométrico em diversos anos, e em vários eventos extremos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C. GONÇALVES, J. L. de. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, jan. 2014.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Hidroweb**. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>>. Acesso em: 10 out. 2018

ATLAS. Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul. **Meio Ambiente**. Disponível em<<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/bacias-e-sub-bacias-hidrograficas>> Acesso em: 20 dez. 2019.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R. de.; VIOLA, M. R. Mapeamento da precipitação mínima provável para o sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v.13, p.906–915, mai./abr., 2009.

BRAZ, D. F.; PINTO, L. B. ; CAMPOS, C. R. J. Ocorrência de eventos severos em regiões agrícolas do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira De Geociências*, vol. 36, p. 89-99, 2017.

CORDEIRO, A. P. A.; BERLATO, M. A.; ALVES, R. de C. M. Tendência do índice hídrico sazonal do Rio Grande do Sul e sua relação com El Niño e La Niña. *Anuário do Instituto de Geociências, UFRJ*, vol. 41, n. 3, p. 216-226, 2018.

CPTEC. Monitoramento do El Niño nos Últimos Anos. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/#>>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2020.

CUNHA, G. R. da.; PIRES, J. L. F.; DALMAGO, G. A.; SANTI, A.; PASINATO, A.; SILVA, A. A. G. da.; ASSAD, E. D.; ROSA, C. M. da. El Niño/La Niña - Oscilação Sul e seus impactos na agricultura brasileira: fatos, especulações e aplicações. *Revista Plantio Direto*, ed. 121, p. 18-22, 2011.

DAHRI, Z. H.; LUDWIG, F.; AMARRA, E.; AHMAD, B.; KHAN, A.; KABAT, P. Na appraisal of precipitation distribution in the high-altitude catcgments of the Indus basin. **Science of The Total Environment**, v. 548-549, p. 289-306, abr. 2016.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística para engenharia e ciência**. São Paulo, Cengage, 2018, 656p.

EMBRAPA. Atlas climático da região sul do Brasil. Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Embrapa, Brasília, DF, 2012.

GONÇALVES, F. N.; BACK, A. J. Análise da variação espacial e sazonal e de tendências na precipitação da região sul do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 41, n. 3, p. 592-602, 2018.

GOUVEA, R. L.; CAMPOS, C. C.; MENEZES, J. T.; MOREIRA, G. F. Análise de frequência de precipitação e caracterização de anos secos e chuvosos para a bacia do rio Itajaí. *Revista Brasileira de Climatologia*, ano 14, vol. 22, p. 309-323, 2018.

GUERRA, V. da S. Climatologia da precipitação do Rio Grande do Sul baseado em quatro esquemas convectivos do modelo climático regional REGCM3. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de Santa Maria, 2012, 141p.

SEMA. Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Bacias Hidrográficas**. Disponível em: < <https://www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas> >. Acesso em: 20 dez. 2019

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE Cidades – Dados Populacionais. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/v> >. Acesso em: 7 de agosto de 2019.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep> >. Acesso em: 10 out. 2019

INMET. Precipitação Total Anual. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/page&page=desvioChuvaAnual> >. Acesso em: 19 de janeiro de 2020.

KIYUNA, I. El Niño 2002-03 e a anomalia climática. Instituto de Economia Agrícola, IEA, São Paulo, 2002. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=122>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2020.

MATZENAUER, Ronaldo ; RADIN, B. ; MALUF, J. R. T. O fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. *Agrometeoros*, vol. 25, p. 323-331, 2017.

MENDIBURU, F.D. *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R Package V. 1.2-3. 2015. Disponível em: < <https://cran.r-project.org/web/packages/agricolae/index.html> >

PETRUCCI, E.; OLIVEIRA, L. A. de. Relações entre intensidade, duração frequência das precipitações máximas de 24 horas e equação de chuvas intensas para a cidade Uberlândia-MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, n. 15, jul./dez. 2019. ISSN: 2237-8642 (eletrônica)

RODRIGUES, L. de O.; SOUZA, W. M. de.; COSTA, V. S. de O.; PEREIRA, M. L. T. Influência dos eventos de El Niño e La Niña no regime de precipitação do Agreste de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, vol. 10, n. 6, p. 1995-2009, 2017.

SALIMON, C.; ANDERSON, L. How Strong is the relationship between rainfall variability and Caatinga productivity? A case study under a changing climate. **Academia Brasileira de Ciência**, Rio de Janeiro, v. 90, n. 1, p. 2121-2127, fev./fev. 2017.

SANCHES, F. de O.; BALEN, D. S.; SILVA, R. V. da.; ROSA, K. K. da.; RADÜNZ, A. Chuvas no Rio Grande do Sul: um estudo sobre as precipitações acumuladas intensas no alto Uruguai gaúcho. *Revista Brasileira de Climatologia*, ano 10, vol. 15, p. 143-162, 2014.

SANTOS, C. A. do.; LIMA, A. M. M. de.; FRANCO, V. dos. S.; ARAÚJO, I. B. de.; GOMES, N. M. O. Distribuição espacial da precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Xingu. **Nucleus**, v. 13, n.2, p. 223-230, out. 2016

SIMIONI, J. P. D.; WOLLMANN, C. A. Caracterização e variabilidade interanual da precipitação pluviométrica na estação ecológica do Taim, Rio Grande do Sul, no período de 1996 a 2009. **Revista Eletrônica Georaguaia**, Barra do Garças, v. 6, n.1, p. 1-18, jan./jul. 2016.

SOUZA, V.; GALVANI, E. Distribuição espaço temporal da precipitação pluvial e sua interação com o relevo na bacia do rio Jacaré Guaçu (SP). *Ciência e Natura*, vol. 39, edição especial, p. 110-124, 2017.

PIAZZA et al. Análise Espacial e Temporal dos Dados de Precipitação das Estações de Entorno da Bacia do Ribeirão Concórdia, Lontras (SC) Visando Sua Inserção no Contexto de Mudanças Climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 31, n. 4, p. 580-592, jul./fev., 2016.

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO. Caçapava do Sul. Disponível em:< [https://prefeitura.cacapava.net/arquivos/smb/p\\_saneamento\\_basico.pdf](https://prefeitura.cacapava.net/arquivos/smb/p_saneamento_basico.pdf)> Acessado em 01 de fevereiro de 2020

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO GABRIEL. Dados do Município. São Gabriel – RS. Disponível em: < <https://www.saogabriel.rs.gov.br/Portal/>>. Acesso em: 02 de julho de 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO SEPÉ. Dados do Município. São Sepé – RS. Disponível em: < <http://www.saosepe.rs.gov.br/>>. Acesso em: 02 de julho de 2019.

TRENBERTH, K. E.; STEPANIAK, D. P.: Índices of El Niño evolution. **Journal Climate**, vol. 14, p. 1697-1701, 2001.

TOCCHETTO; M. R. L.; PEREIRA, L. C.; TOCCHETTO, A. L. Estiagem na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim (RS): gerenciamento de conflito. **I Congresso Internacional de Desenvolvimento Rural e Agroindústria Familiar**, São Luiz Gonzaga, p. 1627-1632, 2005.

TORRES, F. T. P. **Introdução a climatologia**. São Paulo, Cengage Larning, 2011.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4 ed Porto Alegre: UFRGS, 2009

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, p. 87-103, 2012.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **WMO Statement on the State of the Global Climate in 2017**. n 1212. 2018. 17-29 p.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir deste estudo foi possível salientar que a Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim, apresentam heterogeneidade de precipitação pluviométrica entre as Faixas de altitude, todavia, em cada Faixa estudada a distribuição pluviométrica se manteve homogênea.

Ressaltando que se obteve três grupos de distribuição pluviométrica distintas, e três grupos de altitudes diferentes. Salientando, que várias estações pluviométricas que estão inseridas nos grupos que apresentam maiores precipitações, são representadas pela Faixa de menor altitude.

Logo, após essa conclusão foi extremamente importante analisar a distribuição pluviométrica no decorrer das estações (verão, outono, inverno e primavera) anuais na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim. Onde ocorre a presença do aumento de precipitação pluviométrica nas estações de verão, inverno e primavera nas estações pluviométricas e6, e8 e e9 ao longo dos anos. Já o outono apresentou diminuição da precipitação pluviométrica no decorrer dos anos.

Salienta-se que o fenômeno de El Niño tem grande participação em eventos extremos nas três estações pluviométricas estudadas. E também, mesmo com altitudes diferentes apresentaram similaridade de volume pluviométrico em diversos anos, e em vários eventos extremos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ATLAS. Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul. **Meio Ambiente**. Disponível em <<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/bacias-e-sub-bacias-hidrograficas>> Acesso em: 20 dez. 2020;
- ATIF, R. M.; ALMAZROUI, M.; SAEED, S.; ABID, M. A.; ISLAM, M. N.; ISMAIL, M. Extreme precipitation events over Saudi Arabia during the wet season and their associated teleconnections. **Atmospheric Research**, v. 231m jan. 2020.
- BAPTISTA, G. C. Z.; SEVERO, D. L. Variabilidade espacial e temporal da precipitação de Santa Catarina. **Geosul**, Florianópolis, v.22, n. 68, p.184-200, set./dez. 2018.
- BARATTO, J.; WOLLMANN, C. A.; JOPPE, I. L. Distribuição da Precipitação Pluviométrica no Período Veranil e Invernal de 2013/2014 na Área Urbana de Santa Maria/RS e seu Entorno. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 577-593, set./dez. 2015.
- BORSATO, V. de A.; MENDONÇA, F. de A. Participação da Massa Polar Atlântica na Dinâmica dos Sistemas Atmosféricos no Centro Sul do Brasil. *Mercator*, vol. 14, n. 1, p. 113-130, 2015.
- BRANDÃO, C. do. N. Turismo e mudanças climáticas: uma teoria substantiva da estratégia de adaptação dos meios de hospedagem do circuito das águas paulista. Tese(Doutorado em Administração de Empresas), Fundação Getúlio Vargas Escola de Administração de Empresas de São Paulo, 2017.
- BRITTO, F. P.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Regionalização sazonal e mensal da precipitação pluvial máxima no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 2, p. 35-51. ISSN: 1980-055X
- CÂNDIDO, D. H.; NUNES, L. H. Influência da orografia na precipitação da área entre o vale do Rio Tietê e a Serra da Mantiqueira. **GEOUP – Espaço e Tempo**, São Paulo, n° 24, p. 08-27, 2008.
- CLEMENTE, C. M. S.; PEREIRA, D. M.; LEAL, T. L. M. de. C.; REIS, M. F. T. Análise espacial da precipitação pluviométrica na microbacia do Rio Carnaíba de dentro e seu entorno no semiárido baiano entre 2009 a 2014. **Caderno de Geografia**, v.27, n.49, p. 353-367, 2017.
- COCHRANE, L.; LEWIS, S. C.; ENGDRAW, M. M., THORNTONM A.; WELBOURNE, D. J. Using farmer-based metrics to analyze the amount, seasonality, variability and spatial patterns of rainfall amidst climate change in Southern Ethiopia, **Journal of Arid Environments**. v. 175, abr. 2020.
- COSTA, L.; BARRÊTO, R. S. **Cadernos de Educação Ambiental Água para Vida, Água para Todos: Livro das Águas**. Brasília: WWF-Brasil, 2006. p. 12–37.
- DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística para engenharia e ciência**. São Paulo, Cengage, 2018, 656p.

DAHRI, Z. H.; LUDWIG, F.; AMARRA, E.; AHMAD, B.; KHAN, A.; KABAT, P. Na appraisal of precipitation distribution in the high-altitude catcgments of the Indus basin. **Science of The Total Environment**, v. 548-549, p. 289-306, abr. 2016.

DE PAULA, G. M.; STRECK, N. A.; ZANON, A. J.; ELTZ, F. L. F.; HELDWEIN, A. B.; FERRAZ, S. E. T. Influência do fenômeno El Niño na Erosividade das chuvas na região de Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, 1315-1323 p. 2010.

FORGIARINI, F. R.; VENDRUSCOLO, D. S.; RIZZI, E. S. Análise de chuva orográficas no centro do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, n.9, v.13, Jul./Dez. 2013. ISSN: 1980-055X (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

FREITAS, M. A. V. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2º ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, p. 09–30. 2001.

GIORGIO, G. A.; RAGOSTA, M.; TELESCA, V. Application of a multivariate statistica indez on series of weather measurements at local scale. **Measurement**. v. 112, p. 61-66, dez./ 2017

GOUVEA, R. L.; CAMPOS, C. C.; MENEZES, J. T.; MOREIRA, G. F. Análise de frequência de precipitação e caracterização de anos secos e chuvosos para a bacia do rio Itajaí. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 14, vol. 22, p. 309-323, 2018.

GUERRA, A. J. T.; GUERRA, A. T. Novo dicionário geológico geomorfológico. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; JUNIOR OLIVEIRA, G. J. de. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **Engineering and Science**, v.1, n.5, p. 83-90, 2015 ISSN: 2358-5390 DOI: 10.18607/ES20165053

ISABELLE, P-E. NADEUA, D. F.; ANCTIL, F.; ROUSSEAU, A.; JUTRAS, S. MUSIC, B. Impacts of righ precipitation on the energy and water budgets of a humid boreal forest. **Agricultural and Forest Meterology**, v. 280, jan. 2020.

JACOBI, P. R.; SULAIMAN, S. N. Governança ambiental urbana em face das mudanças climáticas. **Revista USP**, São Paulo, n. 109, p. 133-142, abr./Jun. 2016.

KASSAMBARA, A. **Practical Guide To Clsuter Analysis in R: Unsupervised Machine Learning** Satatistical tools for high-throughput data analysis. Copyright, Ed. 1, p. 4, (p. 03 - 38), 2017.

KRUSKAL, W. H., WALLIS, W. A. **Use of ranks in one-criterion variance analysis**. **Journal of the American Statistical Association**, v. 47, 583–621, 1952.

LARA-ARELLANO, F.; SANDOVAL-ESCALANTE, C. Multivariate delineation of rainfall homogeneous regions for estimating quantiles of maximum daily rainfall: A case study of northwestern Mexico. **Atmósfera**, v. 27, n. 1, p.47-60, jan. 2014.

LIMA, E. J. M. de. A visão do Professor de Ciências Sobre as Estações do Ano. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática), Universidade Estadual de Londrina, 2006, 123p.

LIMA, W. P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. 2. Ed. Piracicaba: Copyright, 2008. p. 46-52.

MARENGO, J. A. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao longo do Século XXI**. Ministério do Meio Ambiente Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Brasília- DF p, 29 e 30

NERY, J. T.; CARFAN, A. C. Re-analysis of pluvial precipitation in Southern Brazil. **Atmosfera**, v. 27, n.2, p. 103-115, abr./ 2014.

NEVES, R. R.; GONÇALVES, E. D.; PESSOA, F. C. L.; FERNANDES, L. L.; GÓMEZ, Y. D.; SANTOS, J. I. N. de. Identificação de regiões pluviométricamente homogêneas na sub bacia Trombetas. **Revista AIDIS**, v. 10, n. 2, p. 125-135, mar./agos. 2017.

NÓBREGA, R. S.; FARIAS, R. F. de. L.; SANTOS, C. A. C. dos. Variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica em Pernambuco através de índices de extremos climáticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 2, p. 171-180, 2015.

PONTES, A. C. F. Obtenção dos níveis de significância para os testes de Kruskal-Wallis, Friedman e comparações múltiplas não-paramétricas. Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Estatística e Experimentação Agronômica, Piracicaba, SP, maio 2000, p. 158

RENCHER, A. C. **Methods of Multivariate Analysis**, Copyright, 2 ed. 727p. 2002

ROGRIGUES, A.; FACHEL, J. M. G.; PASSUELLO, A. C. Estatística espacial e Análise de *Cluster* em dados de desastres naturais: mapeamento das inundações no Rio Grande do Sul entre 2003 e 2009. **Revista Iniciação Científica**, Criciúma, v. 10, n. 1, p. 48-67, 2012. ISSN 1678-7706

ROLDÃO, A. de. F.; SANTOS, J. G.; OLIVEIRA, L. A. de. Correlação entre as variáveis climáticas (altitude, temperatura e precipitação) na mesorregião Sul e Sudoeste de Minas Gerais – MG. **Revista Geonorte**. Edição especial, v.1, n. 5, p.515-525, 2012

SARTORI, M. da G. B. A dinâmica do clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. *Terra Livre*, vol. 1, n. 20, p. 27-49, 2003.

SILVA, T. J. J. da.; ALMEIRA, F. F. de. Relações entre a variabilidade da precipitação pluviométrica e a produção agrícola no estado de Pernambuco entre 2000 e 2013. **Revista Agropecuária Técnica**, Areia (PB), v. 38, n. 1, p. 26-33, 2017. ISSN 0100-7467 (impresso) ISSN 252225-8990 (online)

SNSA. **Esgotamento Sanitário: Qualidade da água e controle de poluição**: Guia do profissional em treinamento. 2 nível. Belo Horizonte: ReCESA, 2007. p. 18 – 26.

SOUZA, V.; GALVANI, E. Distribuição Espaço Temporal da Precipitação Pluvial e Sua Interação com o Relevo na Bacia do Rio Jacaré Guaçu (SP). **Ciência e Natura**, v. 39, p. 110-124, 2017

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística**, 12. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017

TORRES, F. T. P. **Introdução a climatologia**. São Paulo, Cengage Learning, 2011.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4 ed Porto Alegre: UFRGS, 2009

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. M. C. **Gestão da Água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001. p. 33–47.

VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. de.; PINTO, D. B. F.; MELLO, J. M. de.; ÁVILA, L. F. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n.9, p.970-978, 2010.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 2014. p. 13-219.

WREGE, M. S.; REISSER JUNIOR, C.; STEINMETZ, S.; RADIN, B.; FRITZSON, E. Risco de déficit hídrico para espécies florestais e frutíferas no Rio Grande do Sul. **Revista Ra'e Ga**, Curitiba, v.44, p. 55-68, mai./ 2018. eISSN: 2177-2738