

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Centro de Desenvolvimento Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos**



**Dissertação**

**Eventos ENOS com consequências anômalas na Bacia Hidrográfica**  
**Mirim São Gonçalo, RS, Brasil**

**Renata Knorr Ungaretti Fernandes**

**Pelotas, 2023**

**Renata Knorr Ungaretti Fernandes**

**Eventos ENOS com consequências anômalas na Bacia Hidrográfica  
Mirim São Gonçalo, RS, Brasil**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, do Centro de Desenvolvimento Tecnológico da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos.

Orientador: Dr. André Becker Nunes

Pelotas, 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

F364e Fernandes, Renata Knorr Ungaretti

Eventos ENOS com consequências anômalas na Bacia Hidrográfica Mirim  
São Gonçalo, RS, Brasil / Renata KnorrUngaretti Fernandes; André Becker  
Nunes, orientador. —Pelotas, 2023.

49 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduaçãoem Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. Oscilações climáticas. 2. Precipitação. 3. ONI. 4. IASAS. 5. SAM. I. Nunes, André Becker, orient. II. Título.

CDD: 627

Elaborada por Simone Godinho Maisonave CRB: 10/1733

**Renata Knorr Ungaretti Fernandes**

**Eventos ENOS com consequências anômalas na Bacia Hidrográfica  
Mirim São Gonçalo, RS, Brasil**

Dissertação aprovada, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Recursos Hídricos, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, do Centro de Desenvolvimento Tecnológico, da Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 27 de fevereiro de 2023

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. André Becker Nunes (orientador)

Doutor em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

---

Prof. Dr. Douglas da Silva Lindemann

Doutor em Meteorologia Aplicada pela Universidade Federal de Viçosa.

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Tamara Leitzke Caldeira Beskow

Doutora em Manejo e Conservação do Solo e da Água pela Universidade Federal de Pelotas.

---

## **Agradecimentos**

À Universidade Federal de Pelotas e ao Programa de Pós-Graduação em Recursos (PPGRH) pela oportunidade e pelos ensinamentos transmitidos ao longo do período de mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa fornecida.

Ao meu orientador Dr. André Becker Nunes, exemplo de profissional. Agradeço a paciência, dedicação, confiança e a amizade que construímos nessa etapa. Grata demais por todos os ensinamentos.

Um carinho especial aos meus colegas e professores do PPGRH que me acompanharam ao longo desta etapa. Ganhei amizades lindas no PPG!

E o meu agradecimento especial à minha família, os meus amores! Meu pai Cristian e minha mãe Julia que vibram comigo a cada conquista, que me ensinam sempre que o amor é tudo!!! Aos meus irmãos Cristian Jr, Silvia e Pietra que são os meus orgulhos, minhas paixões! Obrigada por serem tão meus parceiros! Eu amo vocês família!

O caminho fica mais leve e florido quando se tem boas energias!!!

Gratidão!

## Resumo

FERNANDES, Renata Knorr Ungaretti. **Eventos ENOS com consequências anômalas na Bacia Hidrográfica Mirim São Gonçalo, RS, Brasil**. 2023. 49f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

O Rio Grande do Sul (RS) encontra-se em uma região com topografia irregular, favorável à atuação de diversos fenômenos meteorológicos que afetam o tempo e o clima do Estado. Algumas oscilações climáticas influenciam a precipitação no continente, a exemplo do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS), que exerce influência nos eventos extremos, os quais estão associados a impactos sociais e econômicos. Diversas pesquisas mostram que na região sul do Brasil o fenômeno El Niño está associado a precipitação acima da normal climatológica, enquanto o La Niña está associado a precipitação abaixo da normal climatológica. A pesquisa está inserida na parte brasileira da Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo, uma das principais bacias hidrográficas transfronteiriças da América do Sul, a qual possui um importante valor ambiental e econômico para o RS e para o Uruguai. Diante disso, o objetivo é analisar casos (exceções) em que o El Niño não acarretou mais precipitação para a bacia, bem como os casos em que o La Niña não acarretou estiagem. A análise dos casos anômalos (consequências no regime de precipitação) na Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo foi realizada observando se outras oscilações climáticas interferiram nos casos anômalos. A metodologia consiste na utilização de dados observados das séries históricas 1981-2020 de precipitação das estações meteorológicas, disponíveis pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), assim como o índice ONI (NOAA, 2022) e pelos índices SAM e IASAS (SOUZA e REBOITA, 2021). Analisando todas as estações pluviométricas da bacia, identificou-se 118 casos anômalos de precipitação, 65 corresponderam a casos de déficit de precipitação sob influência do fenômeno El Niño e 53 ao excesso, durante a fase de La Niña. Observou-se que Arroio Grande e Ponte Cordeiro de Farias foram as estações pluviométricas que apresentaram anomalias de precipitação em ambas as fases. No geral dos casos, a estação do ano que mais apresentou anomalia de precipitação foi o verão com 41 dos casos, e a que menos apresentou foi a primavera, com 12 casos. Durante o período em estudo ocorreram 47 eventos ENOS e, destes, em 31 houve a detecção de ao menos um caso de precipitação anômala em alguma das 15 estações da bacia. Verificou-se que a intensidade do ENOS na maioria dos casos é fraca. Os índices SAM e IASAS poderiam influenciar em 20 casos, todavia 11 eventos ENOS com consequências anômalas nem o SAM nem o IASAS explicam.

**Palavras-chave:** Oscilações climáticas. Precipitação. ONI. IASAS. SAM.

## Abstract

FERNANDES, Renata Knorr Ungaretti. **ENOS events with anomalous consequences in the Mirim São Gonçalo Watershed**. Advisor: André Becker Nunes. 2023. 49p. Dissertation (Master's in Water Resources) - Center for Technological Development, Postgraduate Program in Water Resources, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2023.

Rio Grande do Sul State (RS) is located in a region with irregular topography, conducive to the action of several meteorological phenomena that represent the state's weather and climate. Climatic oscillations influence precipitation on the continent, such as the El Niño Southern Oscillation (ENSO) phenomenon, which influences extreme events, associated with social and economic impacts. Several studies show that in southern Brazil, the El Niño phenomenon is associated with precipitation above the climatological normal, while La Niña is associated with precipitation below the climatological normal. The research is inserted in the Brazilian part of the Mirim-São Gonçalo Hydrographic Basin, one of the main transboundary hydrographic basins in South America, which has an important environmental and economic value for the State of Rio Grande do Sul and for Uruguay. Therefore, the objective is to analyze cases (exceptions) in which El Niño did not bring more precipitation to the basin, as well as cases in which La Niña did not bring drought. The analysis of anomalous cases (consequences on the precipitation regime) in the Mirim-São Gonçalo Hydrographic Basin was carried out by observing whether other climatic oscillations interfered in the anomalous cases. The methodology consists of using observed data from the 1981-2020 historical series of precipitation from meteorological stations, available from the National Institute of Meteorology (INMET) and the National Agency for Water and Basic Sanitation (ANA), as well as the ONI index (NOAA, 2022) and by the SAM and IASAS indices (SOUZA and REBOITA, 2021). Among all the rainfall stations in the basin, 118 anomalous precipitation cases were identified, 65 corresponding to cases of precipitation deficit under the influence of the El Niño and 53 to excess during the La Niña phase. It was observed that Arroio Grande and Ponte Cordeiro de Farias were the pluviometric stations that presented precipitation anomalies in both phases. In general, the season of the year that most presented precipitation anomaly was summer with 41 cases, and the one that presented the least was spring, with 12 cases. During the period under study, there were 47 ENSO events and, from these, in 31 were detected of at least one case of anomalous precipitation in one of the 15 stations of the basin. It was found that the intensity of ENSO in most cases is weak. The SAM and IASAS indices could influence in 20 cases, however 11 ENOS events with anomalous consequences neither the SAM nor the IASAS can explain.

**Keywords:** Climate oscillations. Precipitation. ONI. IASAS. SAM

## Lista de Figuras

|           |                                                                                                                                                                     |    |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1  | Mapa da precipitação anuam (1961-1990) do Estado do Rio Grande do Sul                                                                                               | 17 |
| Figura 2  | Mapa da precipitação média sazonal acumulada (1961-1990) do estado do Rio Grande do Sul                                                                             | 18 |
| Figura 3  | Comportamento do fenômeno ENOS                                                                                                                                      | 20 |
| Figura 4  | Mapa da parte brasileira da Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo                                                                                | 24 |
| Figura 5  | Correlação de precipitação da BHMSHG estações do ano                                                                                                                | 30 |
| Figura 6  | Casos de ENOS de consequências anômalas detectados nas estações pluviométricas no período de 1981-2020 na BHMSG                                                     | 32 |
| Figura 7  | Total de déficit em caso de El Niño e excesso em caso de La Niña em cada estação pluviométrica no período de 1981-2020                                              | 32 |
| Figura 8  | Total de anomalias de precipitação (déficit em caso de El Niño e excesso em caso de La Niña) nas 15 estações pluviométricas no período de 1981-2020 estações do ano | 33 |
| Figura 9  | Identificação de anomalias de precipitação estações do ano durante fenômenos ENOS no período de 1981-2020 na BHMSG                                                  | 34 |
| Figura 10 | Anomalias do ENOS no período de 1981-2020 na BHMSG                                                                                                                  | 35 |
| Figura 11 | Intensidade dos casos anômalos de El Niño na BHMSG durante o período de 1981-2020                                                                                   | 38 |
| Figura 12 | Intensidade dos casos anômalos de La Niña na BHMSG durante o período de 1981-2020                                                                                   | 39 |



## **Lista de Tabelas**

|          |                                                                                                                                                                                   |    |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 | Estações Pluviométricas da BHMSG                                                                                                                                                  | 26 |
| Tabela 2 | Correlação sazonal de precipitação das 15 estações pluviométricas da BHMSG                                                                                                        | 29 |
| Tabela 3 | Total de anomalias de precipitação (déficit em caso de El Niño e excesso em caso de La Niña) nas 15 estações pluviométricas no período de 1981-2020.                              | 31 |
| Tabela 4 | Casos anômalos do fenômeno ENOS sob influência do El Niño no período de 1981-2020 na BHMSG.                                                                                       | 36 |
| Tabela 5 | Casos anômalos do fenômeno ENOS sob influência do La Niña no período de 1981-2020 na BHMSG.                                                                                       | 37 |
| Tabela 6 | Intensidade do ENOS nos casos anômalos de El Niño na BHMSG durante o período de 1981-2020.                                                                                        | 38 |
| Tabela 7 | Intensidade do ENOS nos casos anômalos de La Niña na BHMSG durante o período de 1981-2020                                                                                         | 40 |
| Tabela 8 | Influência dos índices SAM e IASAS (coluna Resultado indica a consequência esperada quanto à precipitação) nos casos anômalos de El Niño na BHMSG durante o período de 1981-2020. | 41 |
| Tabela 9 | Influência dos índices SAM e IASAS nos casos anômalos de La Niña na BHMSG durante o período de 1981-2020.                                                                         | 42 |

### **Lista de abreviaturas e siglas**

|       |                                                            |
|-------|------------------------------------------------------------|
| AAO   | Oscilação da Antártica                                     |
| ANA   | Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico             |
| AS    | América do Sul                                             |
| ASAS  | Alta Subtropical do Atlântico Sul                          |
| BHMS  | Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo                       |
| CCM   | Complexo Convectivo de Mesoescala                          |
| EM    | El Niño                                                    |
| ENOS  | El Niño-Oscilação Sul                                      |
| LA    | La Niña                                                    |
| FMPT  | Ferramenta para o Monitoramento dos Padrões de Teleconexão |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia                         |
| ONI   | Oceanic Niño Index                                         |
| RS    | Rio Grande do Sul                                          |
| SAM   | Modo Anular Sul                                            |

## SUMÁRIO

|                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 Introdução.....</b>                                                     | <b>13</b> |
| <b>2 Objetivos.....</b>                                                      | <b>15</b> |
| 2.1 Objetivo geral.....                                                      | 15        |
| 2.2 Objetivos específicos.....                                               | 15        |
| <b>3 Hipótese.....</b>                                                       | <b>16</b> |
| <b>4 Revisão de literatura.....</b>                                          | <b>16</b> |
| 4.1 Clima da região Sul.....                                                 | 16        |
| 4.2 Influência do ENOS na região Sul.....                                    | 19        |
| 4.3 Outras Oscilações Climáticas atuantes na região Sul.....                 | 21        |
| 4.3.1 Índice Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) ou (IASAS)..... | 22        |
| 4.3.2 Índice Oscilação Antártica (AAO) ou Modo Anular Sul (SAM).....         | 22        |
| <b>5 Material e Métodos.....</b>                                             | <b>23</b> |
| 5.1 Área de estudo.....                                                      | 23        |
| 5.2 Levantamento de dados.....                                               | 25        |
| 5.2.1 Precipitação.....                                                      | 25        |
| 5.2.2 Fenômeno ENOS.....                                                     | 27        |
| 5.2.3 Outras Oscilações Climáticas.....                                      | 27        |
| 5.3 Metodologia.....                                                         | 27        |
| <b>6 Resultados e Discussão.....</b>                                         | <b>29</b> |
| 6.1 Correlação entre a precipitação sazonal e o índice ONI.....              | 29        |

|                                                                                           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.2 Casos de déficit e de excesso inesperados na BHMSG em cada estação pluviométrica..... | 31<br>34  |
| 6.3 Casos anômalos de ENOS.....                                                           | 37        |
| 6.4 Intensidade do ENOS com consequências anômalas.....                                   | 40        |
| 6.5 Influências de outras Oscilações Climáticas.....                                      | 40        |
| <b>7 Conclusões.....</b>                                                                  | <b>42</b> |
| <b>Referências.....</b>                                                                   | <b>44</b> |

## 1 Introdução

Dos eventos meteorológicos existentes, a precipitação é de grande importância tanto para a economia como para a sociedade. Em todo o mundo, a variabilidade da precipitação causa extremos hidrológicos que afetam significativamente grandes regiões por um longo período. Os eventos extremos de precipitação ao atingirem certa localidade podem causar impactos sobre o meio em que estes ocorrem, podendo gerar vários transtornos sociais, ambientais e econômicos (DORNELES et al., 2020).

Segundo Bruick et al. (2019), a ocorrência de eventos extremos de precipitação associados a graves impactos climáticos, tem sido relacionado a variabilidade do clima em larga escala. Um exemplo notável de variabilidade em grande escala tem sido o fenômeno El Niño– Oscilação Sul (ENOS). As oscilações climáticas são fenômenos de longa duração (meses ou anos) que influenciam em várias partes do mundo. O exemplo mais conhecido na sociedade é o El Niño- Oscilação Sul (ENOS). O fenômeno ENOS é responsável por alterações no padrão de circulação geral atmosférico-oceânico e possui duas fases: quente (El Niño), e outra fria (La Niña). El Niño (EN) e La Niña (LA) são fenômenos que ocorrem no Oceano Pacífico Equatorial, associados às alterações dos padrões normais da temperatura da superfície do mar (TSM) e dos ventos alísios, entre a Costa Peruana e a Austrália (ROPELEWSKI e HALPERT, 1987). Rao e Hada (1990) mostra em seu estudo que essas mudanças interferem nas condições meteorológicas, especialmente na temperatura e na precipitação.

Conforme Julian e Chervin (1978) e Peixoto e Oort (1992), a Oscilação Sul é uma troca oscilatória de massa atmosférica entre o leste do Pacífico Sul e a Indonésia, onde as temperaturas da superfície do oceano estão envolvidas nessa região. Ou seja, influi a circulação zonal da atmosfera em uma célula de circulação do tipo de Walker. A célula de Walker, que fica na região equatorial, tem movimentos ascendentes nessas áreas de águas mais quentes formando nuvens, e movimentos descendentes na região do oeste da América do Sul, devido aos ventos em altos níveis que são de oeste para leste.

Sob condições ENOS neutras, a circulação de Walker transporta ar quente e úmido para o oeste do Oceano Pacífico, onde nasce e retorna ao leste do Pacífico, onde desce e flui para o oeste mais uma vez (BJERKNES, 1969). Durante a fase quente do ENOS, o El Niño, a circulação de Walker enfraquece ou quebra, levando a uma convergência anômala no Pacífico Central e um aumento na frequência de convecção (CHRONIS et al., 2008). Ou seja, os ventos alísios são enfraquecidos, mudando de direção na superfície, e as águas quentes ficando em praticamente em toda sua extensão, fazendo com que a célula de Walker fique com uma ascendência e duas descendências, sendo uma na região da Indonésia e outra no norte e leste da Amazônia, e no norte da região Nordeste do Brasil. Já durante a fase fria do ENOS, o La Niña, a circulação de Walker se fortalece, mas se mantém no mesmo lugar como em condições neutras, como um ramo ascendente da circulação sobre a América do Sul. Além disso, a célula de Hadley, que ascende próximo do equador e subside em 30°S, é enfraquecida durante o El Niño pela redução de atividade de convecção no norte da América do Sul (GRIMM; AMBRIZZI, 2009).

O Sul do Brasil apresenta os maiores impactos observados em ambas as fases. O coeficiente de correlação entre o Índice de Oscilação Sul e a precipitação é geralmente pequena na maior parte do Brasil, exceto no Rio Grande do Sul (RAO; HADA, 1990). Em anos de El Niño é comum que os totais pluviométricos estejam acima da média enquanto em anos de La Niña costumam trazer episódios de seca à região. Rao e Hada (1990) e Grimm (2009), observaram em seus estudos que apesar da influência dar-se durante todo o período de atuação desses eventos, há duas épocas do ano que são mais afetadas pelas fases do ENOS: primavera e começo do verão.

O Estado do Rio Grande do Sul (RS) faz fronteira estadual com o estado de Santa Catarina e internacional com a Argentina (a oeste) e com Uruguai (ao sul) situando-se em uma região latitudinal, com a topografia altamente irregular, favorável à atuação de diversos fenômenos meteorológicos que afetam o tempo e o clima do Estado (GRIMM, 2009; CERA; FERRAZ). GRIMM, 2009. Grimm e Tedeschi (2009) e Nunes e Pereira (2017) relatam que determinadas oscilações

climáticas exercem grande influência no regime de precipitação e, provavelmente, no de eventos extremos de precipitação do RS. Diferentes trabalhos na literatura indicam grande relação entre precipitação acima da média no sul do Brasil e eventos de El Niño, como em Grimm et al., (1998, 2000), Pezzi e Cavalcanti (2001), Radin et al., (2017), Lima e Nunes (2018), Reboita et al., (2021).

A Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo (BHMSG) é umas das principais bacias hidrográficas transfronteiriças da América do Sul, esta possui um importante valor ambiental e econômico para o Estado do Rio Grande do Sul e para o Uruguai (OLIVEIRA et al., 2015). O estudo sobre os fenômenos ENOS com consequências anômalas com relação à precipitação para à bacia BHMS é de grande importância para compreender melhor os efeitos destes fenômenos para a região Sul da América do Sul.

## **2 Objetivos**

### **2.1 Objetivos gerais**

O objetivo geral desta pesquisa consiste na análise climatológica dos eventos ENOS com consequências anômalas que influenciamno regime de precipitação da parte brasileira da Bacia Hidrográfica Mirim São Gonçalo (BHMS).

### **2.2 Objetivos específicos**

Para atender o objetivo geral do estudo, foram identificados os seguintes objetivos específicos:

- (I)** Verificar a relação entre a precipitação na BHMS e o ENOS;
- (II)** Analisar casos de ENOS com consequências anômalas com relação à precipitação para a bacia;
- (III)** Analisar se os casos de ENOS com consequências anômalas estão

associados com outras oscilações climáticas.

### **3 Hipótese**

Outras oscilações climáticas influenciam nos casos anômalos do fenômeno ENOS na BHMSG.

## **4 Revisão de Literatura**

### **4.1 Clima da região Sul**

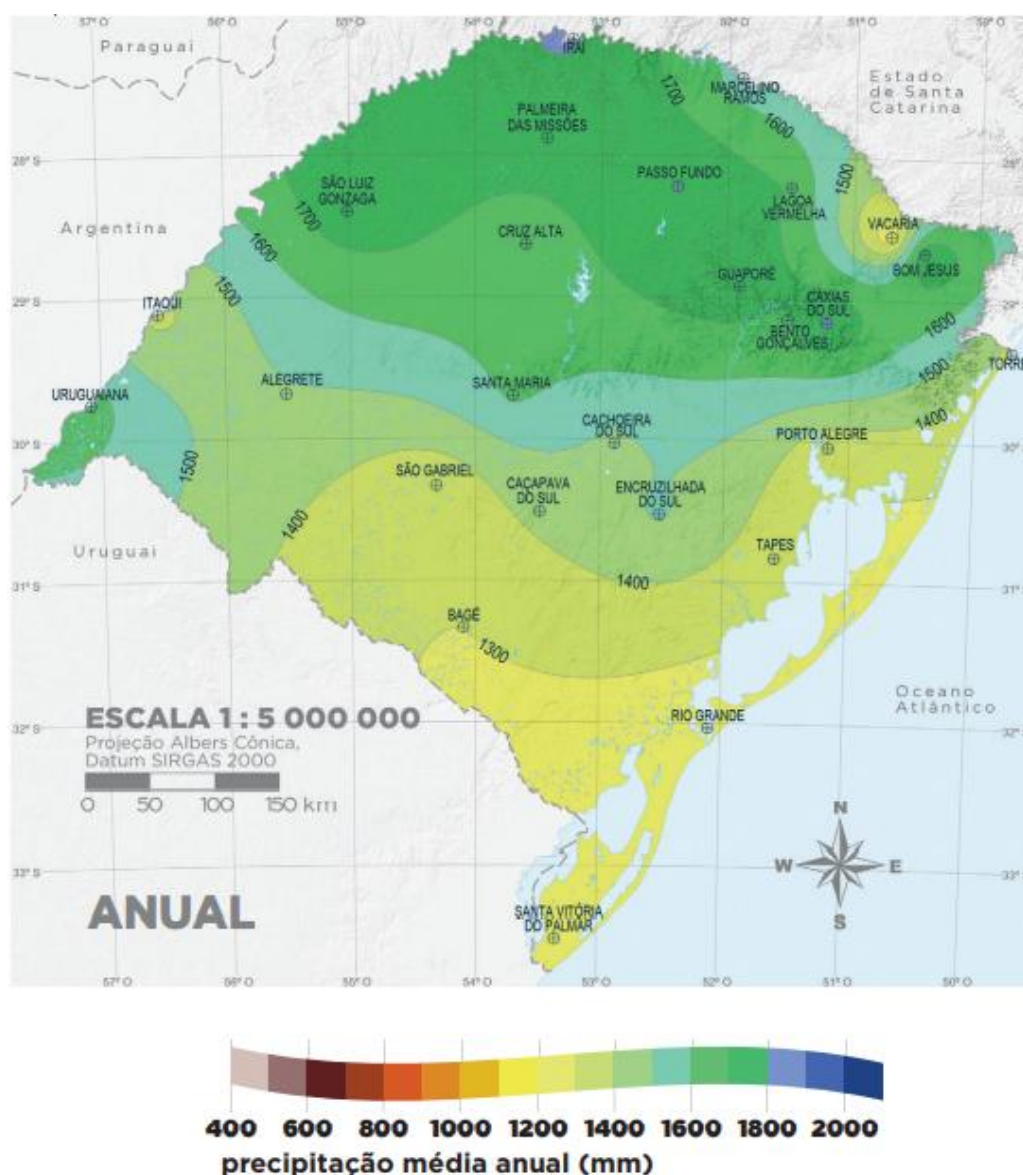
O Estado do Rio Grande do Sul (RS) localiza-se na região Sul do Brasil e sua área é de aproximadamente 282,000 km<sup>2</sup>, que se subdivide em 497 municípios, e a população estimada em 2019 é de 11 milhões de habitantes (IBGE, 2021). O clima do Sul do Brasil apresenta grandes contrastes nos regimes de precipitação e temperatura. Conforme Fritzsons et al., (2015) e Grimm (2009) parte deles deve-se à situação geográfica da região, na transição entre os trópicos e as latitudes médias, e pelo relevo acidentado.

O relevo do RS é composto por planaltos, depressões, serras e pela planície costeira, a vegetação é característica de dois importantes biomas brasileiros a Mata Atlântica e o Pampa (RODRIGUES et al., 2023). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima do Estado do Rio Grande do Sul é do tipo Cfa e Cfb, úmido em todas as estações do ano, verão quente e moderadamente quente. O Cfa predomina na maior parte do Estado e o Cfb encontra-se nas partes mais elevadas da Serra do Nordeste, Planalto e Serra do Sudeste (KUINCHTNER e BURIOL, 2001).

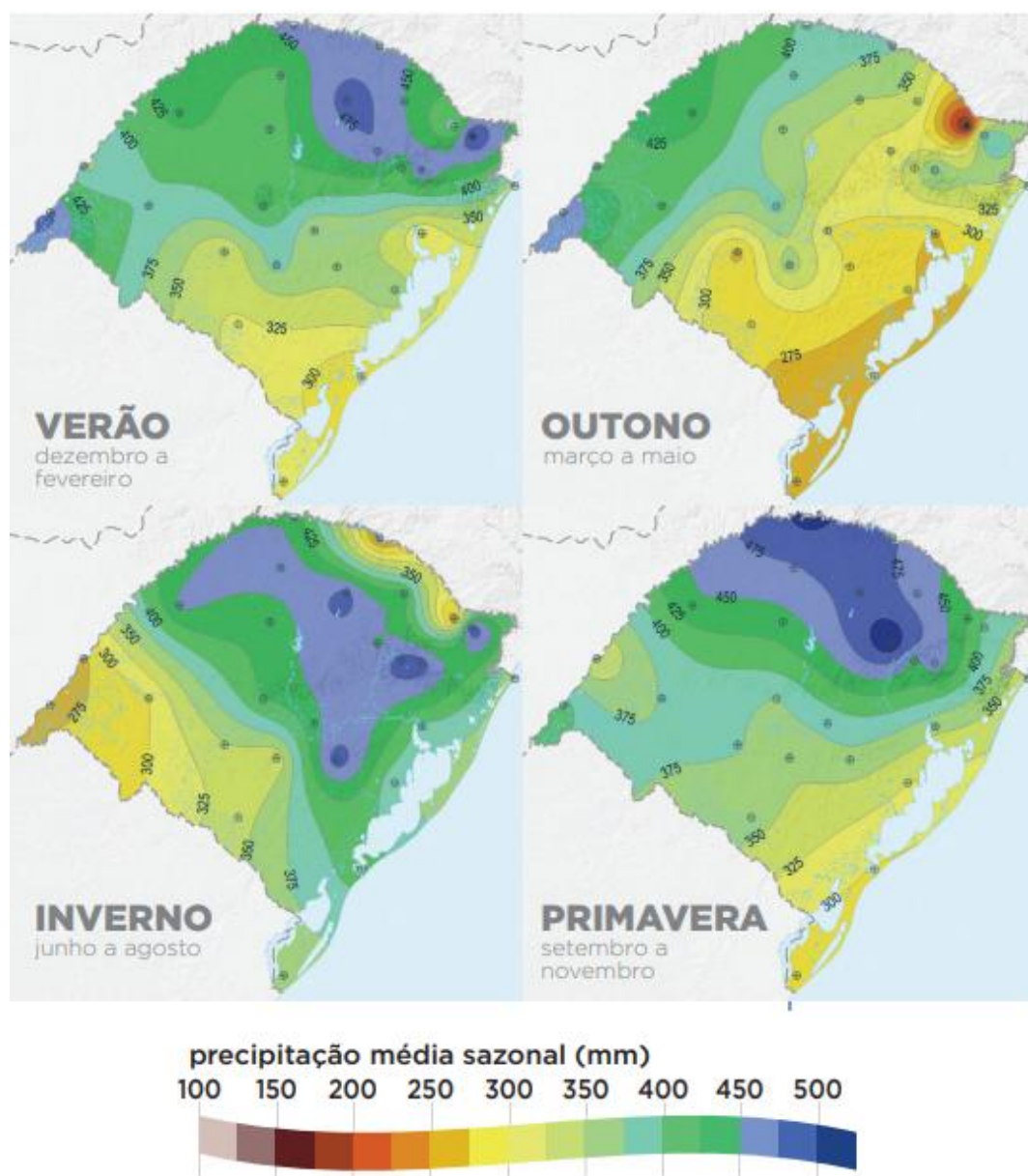
Apesar de algumas variações espaciais e sazonais (RODRIGUES et al., 2023), no geral a precipitação é bem distribuída ao longo do ano, visto que o Estado está incluso em uma faixa de latitudes médias que recebe sistemas precipitantes de origem tropical e extratropical (RAO e HADA, 1990; GRIMM, 2009; REBOITA et al., 2010; ROSSATO, 2014; NUNES e PEREIRA, 2017). O RS possui de forma majoritária grandes regiões de variabilidade de precipitação, sendo ao sul do Estado a precipitação



média anual está entre 1200 mm a 1500 mm e na parte norte de 1500 mm a 1800 mm (Figura 1) (RIO GRANDE DO SUL, 2014). Possuindo variações sazonais de 275 mm a 350 mm no verão (dezembro, janeiro e fevereiro), 250 mm a 300 mm no outono (março, abril e maio), 325 mm a 400 mm no inverno (junho, julho e agosto) e 275 mm a 350 mm na primavera ao sul do estado (Figura 2).



**Figura 1:** Mapa da precipitação média anual (1961-1990) do estado do Rio Grande do Sul. Fonte: Rio Grande do Sul, 2014, on-line.



**Figura 2:** Mapa da precipitação média sazonal acumulada (1961-1990) do estado do Rio Grande do Sul. Fonte: Rio Grande do Sul, 2014, on-line.

Os regimes de precipitação são bimodais (2 meses de maior precipitação) ou na sua maioria trimodais (3 meses de maior precipitação), possuindo os meses de agosto–setembro–outubro como os mais chuvosos. Com exceção da região sudeste deste Estado, no qual possui os meses de julho–agosto–setembro como os meses de maior precipitação. Na região noroeste predomina o regime trimodal, bastante

influenciado pelos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), atuantes no verão e nos meses de transição (outubro a abril). No inverno e nos meses de transição (maio a setembro) ocorre uma maior convergência de umidade sobre o Estado. Devido o maior gradiente latitudinal de temperatura na região, as condições baroclínicas se intensificam, permitindo uma maior ciclogênese e maior penetração de frentes. Esta ciclogênese e penetrações afetam mais a região sudeste do sul do Brasil, justificando o máximo de precipitação no inverno nesta região (GRIMM, 2009; GRIMM e TEDESCHI, 2009).

A precipitação sofre grande influência das oscilações climáticas (GRIMM e TEDESCHI, 2009; NUNES e PEREIRA, 2017), os quais apresentam um histórico extenso de danos causados na região Sul do Brasil (PEREIRA e NUNES, 2018; DORNELES et al., 2020). Como consequência da variabilidade pluviométrica podemos citar a influência das oscilações climáticas como: El Niño-Oscilação Sul (ENOS), Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e o Modo Anular Sul (SAM).

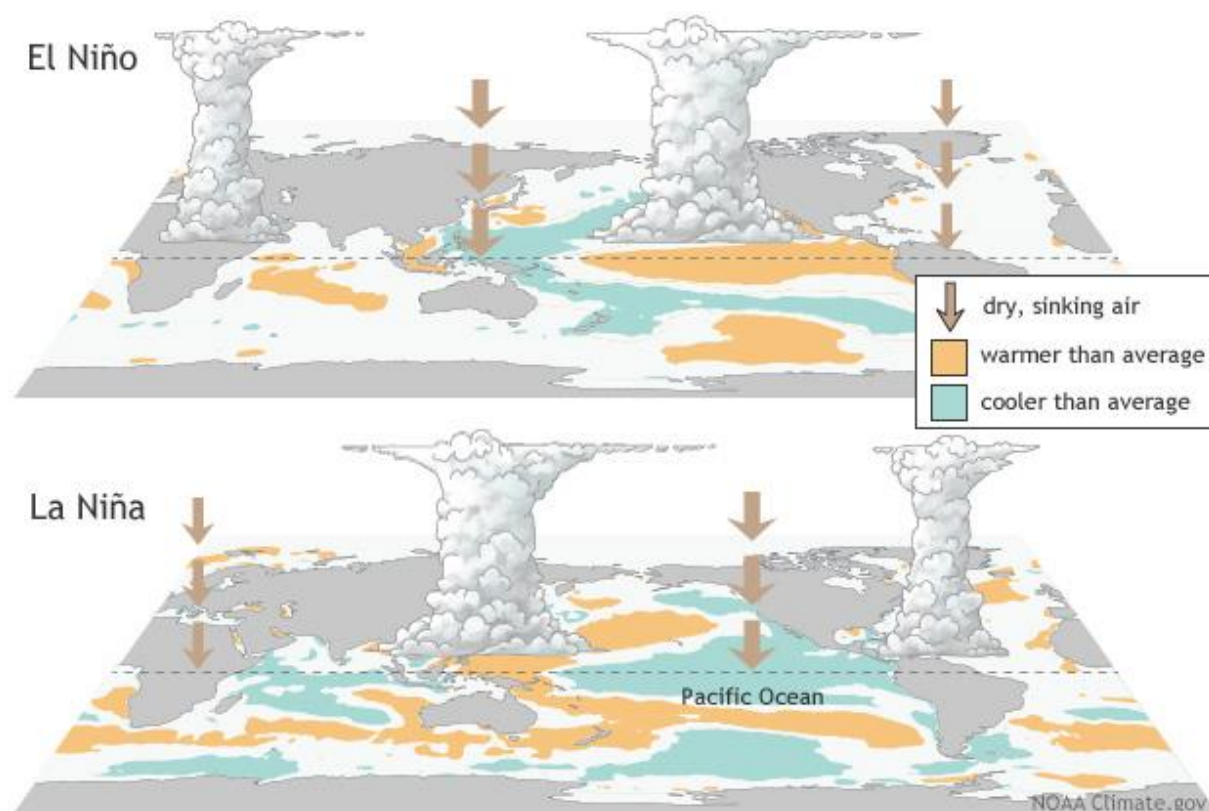
#### **4.2 Influência do fenômeno ENOS na região Sul**

El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é um dos principais modos de variabilidade climática acoplado oceano-atmosfera em escala interanual, com duração de 6 a 18 meses e periodicidade de 2 a 7 anos (RASMUSSEN e CARPENTER, 1982; TRENBERTH, 1997; REBOITA e SANTOS, 2015; ANDREOLI et al., 2016; PEREIRA et al., 2017).

Fenômeno de grande escala, o ENOS ocorre no Oceano Pacífico Equatorial, associado às alterações dos padrões normais da temperatura da superfície do mar (TSM) e dos Ventos Alísios na região do Pacífico Equatorial, entre a Costa Peruana e a Austrália. Juntamente com as anomalias de TSM ocorrem variações de pressão atmosférica nas regiões de Darwin (12,4° S-130,0° E) e de Taiti (17,5° S- 149,6° W), formando uma espécie de gangorra atmosférica com centros de pressão nestas regiões (GRIMM et al, 1998)

Quando tem o aquecimento anômalo das águas do oceano Pacífico Tropical Central-Leste o fenômeno é chamado de El Niño e é conhecido como a fase quente do ENOS (GRIMM; AMBRIZZI, 2009), ou seja, é quando ocorre uma diminuição muito intensa dos ventos alísios que acaba resultando em um aquecimento anômalo (Figura 3).

Em situação de resfriamento anômalo, tem-se a La Niña, que é conhecida como a fase fria do ENOS (GRIMM; AMBRIZZI, 2009), ou seja, é uma intensificação dos alísios que acaba resultando em um resfriamento anômalo do oceano Pacífico Tropical Central-Leste. Não existe consenso sobre a escala de tempo da intensificação ou enfraquecimento dos alísios e a escala de tempo do ENOS (Figura 3).



**Figura 3:** Comportamento do fenômeno ENOS.  
Fonte: National Oceanic and Atmospheric Administration, 2022.

De forma geral, um evento El Niño é responsável pelo aumento da precipitação no sul do Brasil e estiagem na Amazônia e litoral norte das regiões norte e nordeste do Brasil, enquanto que condições opostas são registradas em eventos de La Niña (CAI et al., 2020). No Estado do Rio Grande do Sul, o El Niño é caracterizado pelo excesso de precipitação e a La Niña pelo déficit de precipitação (RAO e HADA 1990; CHECHI e SANCHES, 2013; SCAGLIONI, FERNANDES e NUNES 2022).

### **4.3 Outras Oscilações Climáticas atuantes na região Sul**

#### **4.3.1 Índice Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) ou (IASAS)**

Conforme Di Luca et al. (2006), Garnarini et al. (2019), Reboita et al. (2019), o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) influencia na precipitação ao longo do leste da América do Sul, devido às anomalias de pressão atmosférica. Quando a região Sul do Brasil registra período chuvoso, a pressão atmosférica apresenta anomalia negativa, e o jato de baixos níveis a leste dos Andes se dirige para sul, contribuindo na instabilidade da região (SOUZA e REBOITA, 2021).

O ASAS além de impactar sazonalmente, há períodos anômalos em que adquire características similares a do inverno no período de verão (COELHO et al., 2016). À vista disso, o sudeste do Brasil passa por um período seco (apresentando anomalia positiva de pressão atmosférica), enquanto o Sul por um período chuvoso (apresentando anomalia negativa de pressão atmosférica), já que o jato de baixos níveis a leste dos Andes se dirige para sul (SOUZA e REBOITA, 2021). A posição e intensidade do ASAS pode ser afetada pelo Modo Anular Sul (SAM) (Sun et al., 2017). O índice do ASAS (IASAS) é obtido computando-se a diferença das anomalias mensais de pressão atmosférica ao nível médio do mar entre a região sudeste e sul do Brasil.

#### 4.3.2 Índice Oscilação Antártica (AAO) ou Modo Anular Sul (SAM)

A Oscilação Antártica (*Antartic Oscillation* – AAO) ou Modo Anular Sul (*Southern Annular Mode* – SAM) é o principal modo de variabilidade climática natural da circulação extratropical no Hemisfério Sul (HS) (KIDSON, 1988; KIDSON e WATTERSON, 1999; THOMPSON e WALLACE, 2000; MARSHALL, 2003). Esta oscilação pode ser caracterizada por perturbações de altura geopotencial zonalmente simétricas (em forma de anel, daí sua denominação “anular”) com sinais opostos entre a Antártica e as latitudes a cerca de 45° S (THOMPSON e WALLACE, 1998; REBOITA et al., 2009).

Este modo é definido por uma configuração zonalmente simétrica com alternância de fases positivas e negativas entre regiões de latitude alta e média. A fase positiva (negativa) é caracterizada por anomalias negativas (positivas) de altura geopotencial em 700 hPa nos arredores da Antártica e positiva (negativa) nas latitudes médias. A fase negativa do SAM, associada às anomalias positivas de pressão atmosférica nas altas latitudes do Hemisfério Sul e às anomalias negativas nas latitudes médias, contribuem para as anomalias positivas de precipitação no RS (CARPENEDO e AMBRIZZI, 2020; SOUZA e REBOITA, 2021). Fogt e Marshall (2014) verificaram que durante a fase negativa do SAM, o transporte de umidade atmosférica para o sudeste da América do Sul é intensificado, o que favorece o aumento de precipitação sobre essa região. Anomalias negativas de precipitação sobre o sul da América do Sul – Uruguai, norte da Argentina e sul do Brasil (REBOITA et al., 2009) e um fraco sinal positivo sobre o sudeste do Brasil.

Diversos estudos mostram uma tendência de polaridade positiva do SAM nas últimas décadas (THOMPSON et al., 2000; THOMPSON e SOLOMON, 2002; MARSHALL, 2003; TRENBERTH e SMITH, 2006), associado ao buraco da camada de ozônio (THOMPSON e SOLOMON, 2002) e ao aumento nas concentrações de gases de efeito estufa (HARTMANN et al., 2000; MARSHALL et al., 2004). Esta tendência observada no SAM é consistente com o deslocamento para sul do ASAS observado nos últimos anos (SUN et al., 2017).

Outras oscilações climáticas além destas tendem a influenciar na variabilidade climática do sul do Brasil, como a Oscilação do Atlântico Norte e Oscilação Decadal do Pacífico (ANDREOLLI e KAYANO, 2005; LINDEMANN et. al., 2019).

## **5 Material e Métodos**

Neste capítulo é descrito detalhadamente os materiais e métodos utilizados para a realização deste estudo. Na primeira etapa é apresentada a área de estudo, a Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo, e sua importância política, econômica e ambiental. Em seguida, é apresentado os procedimentos metodológicos.

### **5.1 Área de estudo**

A área de estudo é a parte brasileira da Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo, localizada no Sul do Estado do Rio Grande do Sul, possui área de 28.499 km<sup>2</sup>, população estimada de 770.308 habitantes, sendo 684.202 habitantes em áreas urbanas e 86.106 habitantes em áreas rurais, e 21 municípios inseridos (SEMA, 2020). A bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo é uma bacia transfronteiriça entre Brasil e Uruguai, e conforme a Agência da Lagoa Mirim corresponde a uma superfície de aproximadamente 62.250 km<sup>2</sup>, dos quais 29.250 km<sup>2</sup> (47%) em território brasileiro e 33.000 km<sup>2</sup> (53%) em território uruguaio. É composta de importantes cursos d'água que deságuam na Lagoa Mirim e/ou no Canal São Gonçalo (Figura 4), e os principais usos da água se destinam a irrigação e abastecimento humano. Os centros urbanos, Pelotas e Rio Grande, possuem como destaque na economia o setor de serviços em Pelotas e a indústria de fertilizantes e o segmento de cargas portuárias na cidade de Rio Grande (SOSINSKI, 2009). Nas margens da bacia hidrográfica situam-se duas



importantes reservas ambientais, a Reserva do Taim, no Brasil, e a de Humedales del Este, no Uruguai.



**Figura 4:** Mapa da parte brasileira da Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo. Fonte: Secretária do Meio Ambiente e Infraestrutura do RS.



## 5.2 Levantamento de dados

### 5.2.1 Precipitação

Para a obtenção das séries históricas de precipitação da Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo, primeiramente fez-se uma busca em estações pluviométricas existentes ao longo da bacia com dados disponíveis nos sites da Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). No site da ANA, é possível encontrar 144 estações pluviométricas existentes ao longo da BHMSG, destas, 61 encontram-se em operação. Já no site do INMET, há 7 estações pluviométricas dentro da área de interesse, porém algumas não apresentam séries históricas muito longas.

Após o *download* dos dados, foi realizado o tratamento dos mesmos, onde foram observadas as estações pluviométricas que possuíam dados diários e valores totais mensais para o período de 1981 a 2020. Ao total, foram identificadas 14 estações pluviométricas no site da ANA e uma do INMET para BHMSG que apresentavam os dados necessários abrangendo o período histórico de interesse, e as respectivas informações das mesmas estão indicadas na Tabela 1.

**Tabela 1:** Estações Pluviométricas da BHMSG.

| <b>Número</b> | <b>Nome da Estação</b>           | <b>Município</b>        | <b>Longitude</b> | <b>Latitude</b> | <b>Fonte dos dados</b> |
|---------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|-----------------|------------------------|
| <b>1</b>      | Arroio Grande                    | Arroio Grande           | -53.0897         | -32.2372        | ANA                    |
| <b>2</b>      | Canguçu                          | Canguçu                 | -52.6733         | -31.4044        | ANA                    |
| <b>3</b>      | Estação Experimental de Piratini | Piratini                | -53.1078         | -31.4308        | ANA                    |
| <b>4</b>      | Ferraria                         | Piratini                | -53.0539         | -31.7375        | ANA                    |
| <b>5</b>      | Granja Cerrito                   | Rio Grande              | -52.54           | -32.3506        | ANA                    |
| <b>6</b>      | Granja Coronel Pedro Osório      | Arroio Grande           | -52.6528         | -32.0061        | ANA                    |
| <b>7</b>      | Granja Osório                    | Santa Vitória do Palmar | -53.1189         | -32.9539        | ANA                    |
| <b>8</b>      | Granja Santa Maria               | Rio Grande              | -52.5386         | -32.5381        | ANA                    |
| <b>9</b>      | Herval                           | Herval                  | -53.3978         | -32.0286        | ANA                    |
| <b>10</b>     | Pedras Altas                     | Pedras Altas            | -53.5881         | -31.7333        | ANA                    |
| <b>11</b>     | Pedro Osório                     | Pedro Osório            | -52.8103         | -31.8797        | ANA                    |
| <b>12</b>     | Pinheiro Machado                 | Pinheiro Machado        | -53.3769         | -31.5775        | ANA                    |
| <b>13</b>     | Ponte Cordeiro de Farias         | Pelotas                 | -52.4631         | -31.5739        | ANA                    |
| <b>14</b>     | Vila Freire                      | Cerrito                 | -52.7728         | -31.6694        | ANA                    |
| <b>15</b>     | Capão do Leão                    | Capão do Leão           | -52.4166         | -31.7833        | INMET                  |

Considerando a distribuição dos pontos satisfatória, o próximo passo foi a organização dos dados de precipitação e a identificação de possíveis falhas ao longo das séries históricas, o que foi possível observar em quase todas as séries utilizadas. De acordo com Melo e Silva (2013), é normal existir falhas ou ausências de dados nos registros das estações, sendo estes muitas vezes ocasionados por falhas técnicas ou ausência do observador. Para averiguar a precisão dos valores obtidos, realizou-se uma correção no preenchimento de falhas obtidos conforme Cardoso (2022).

### 5.2.2 Fenômeno ENOS

Para verificar se houve o fenômeno ENOS em um trimestre as informações foram obtidas do site do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA - <https://www.noaa.gov/>) por meio do índice *Oceanic Niño Index* (ONI), sendo que valores de  $ONI \geq 0,5$  corresponde a uma fase quente (El Niño), valores  $\leq -0,5$  indica uma fase fria (La Niña) e valores entre estes condiz com a fase neutra (NOAA, 2022). Os dados do índice ONI são informados em médias móveis trimestrais de anomalia de temperatura da superfície do mar na região do Nino 3.4, no Pacífico Tropical.

### 5.2.3 Outras Oscilações Climáticas

Também considerou-se os índices Modo anular Sul (SAM) e Anticiclone Sub-tropical do Atlântico Sul (ASAS) para analisar se houve uma possível influência de outra oscilação climática nos casos de ENOS com consequências anômalas. Para o levantamento dos índices foram utilizados dados da Ferramenta para o Monitoramento dos Padrões de Teleconexão (FMPT), conforme Souza e Reboita (2021), disponibilizados no *website* do curso de Ciências Atmosféricas da UNIFEI: <https://meteorologia.unifei.edu.br/teleconexoes>. Os dados dos índices SAM e ASAS são informados de forma mensal. O índice ASAS quando positivo está associado a déficit, enquanto valores negativos ao excesso de precipitação no RS, quanto ao índice SAM os valores positivos estão relacionados ao excesso, e o valores negativos ao déficit de precipitação na região Sul (SOUZA e REBOITA, 2021).

## 5.3 Metodologia

A primeira parte do estudo consistiu no levantamento das séries históricas de precipitação das 15 estações pluviométricas da Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo e do fenômeno ENOS durante o período de 1981-2020. Posteriormente foi

realizado o coeficiente de correlação de Pearson entre as precipitações de cada estação pluviométrica com o índice ONI, para cada estação do ano, a fim verificar se realmente as estações pluviométricas da BHMSG se comportam conforme Rao e Hada (1990) onde valores positivos de correlação indicam que se espera El Niño com chuva acima da média e La Niña com chuva abaixo da média.

Quanto a organização temporal dos dados de precipitação, estes foram em médias fixas trimestrais, ou seja, estações do ano, em que verão é composto pelos meses dez-jan-fev, outono é mar-abr-maio, inverno é jun-jul-ago e a primavera é set-out-nov. Assim foi possível comparar as estações do ano diretamente com os dados do fenômeno ENOS, já que os dados do ONI são médias móveis trimestrais, ou seja, comparar todos os verões dos dados de precipitação com os de dez-jan-fev do ONI, os do outono com mar-abr-maio, inverno jun-jul-ago, e primavera set-out-nov.

Após obter os acumulados mensais de precipitação em médias trimestrais fixas, foi realizado a normal climatológica (1981-2020) para cada estação do ano, para cada estação pluviométrica, onde os casos de déficit ou excesso de chuva foram detectados pela diferença entre a precipitação do mês e sua respectiva normal climatológica, deste modo, os valores da diferença de precipitação foram relacionados com a variabilidade ENOS por meio do índice *Oceanic Niño Index* (ONI). Quando a diferença de precipitação para qualquer estação pluviométrica da bacia apresentava sinal negativo (déficit de precipitação) e o índice ONI apresentava um trimestre de El Niño, tratou-se de um potencial caso de El Niño anômalo. Da mesma forma ocorreu quando a diferença de precipitação resultou em excesso (sinal positivo) em um trimestre de La Niña.

Para verificar se realmente tratava-se de um caso anômalo de ENOS, calculou-se o valor da diferença de precipitação com o valor do Desvio Padrão sazonal. Quando o resultado da diferença de precipitação era maior em magnitude que o valor do Desvio Padrão, considerou-se um caso anômalo de ENOS.

A intensidade do ENOS foi avaliada através de percentis (p25, p50 e p75) dos anos disponíveis na plataforma do NOAA (2022) entre 1952-2022. Os casos de El Niño anômalos apresentaram valores entre 0,5 à 0,9 fraco, de 1,0 à 1,2 moderado,

igual ou maior de 1,3 com intensidade forte. Quanto aos de La Niña mostraram valores de intensidade entre -0,5 à -0,7 fraco, -1 à -0,8 moderado, e igual ou maior de -1,1 forte.

Foram analisados os índices SAM e IASAS conforme (SOUZA e REIBOTA, 2021), para verificar a influência destas oscilações nos períodos sob ENOS de consequências anômalas.

## **6 Resultados e Discussão**

### **6.1 Correlação entre a precipitação mensal sazonal e o índice ONI**

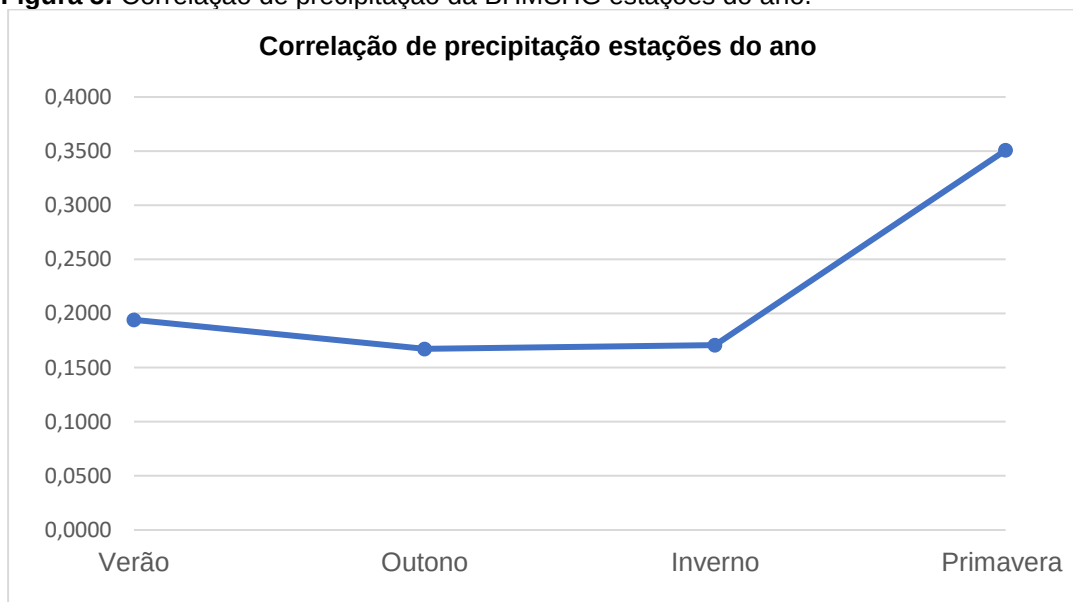
A partir do cálculo da correlação linear entre a precipitação sazonal pluviométricas e o índice ONI, observou-se que a relação de trimestres com chuva acima do normal em períodos de El Niño e abaixo do normal em período de La Niña. Observou-se que todos os casos apresentaram correlação positiva com o índice (Tabela 2), ou seja, maior precipitação em períodos de El Niño e menor em períodos de La Niña, conforme indicada a literatura, como por exemplo Grimm, 2009.

Entretanto 5 estações pluviométricas apresentaram uma correlação maior que 0,4: Canguçu no outono, Ferraria, Pedras Altas, Pinheiro Machado e Capão do Leão na primavera. Rao e Hada (1990) em seus estudos, para um nível de 99% de significância, obtiveram a correlação de 0,4 para algumas cidades do RS em um período anterior.

**Tabela 2:** Correlação sazonal de precipitação das 15 estações pluviométricas da BHMSG.

| Estação Pluviométrica            | Correlação por estação do ano |               |         |               |
|----------------------------------|-------------------------------|---------------|---------|---------------|
|                                  | Verão                         | Outono        | Inverno | Primavera     |
| Arroio Grande                    | 0,2239                        | 0,0002        | 0,1496  | 0,2083        |
| Canguçu                          | 0,2153                        | <b>0,4319</b> | 0,1438  | 0,3000        |
| Estação Experimental de Piratini | 0,2019                        | 0,1919        | 0,3055  | <b>0,4345</b> |
| Ferraria                         | 0,0726                        | 0,1610        | 0,1698  | 0,3101        |
| Granja Cerrito                   | 0,2454                        | 0,0831        | 0,1163  | 0,2877        |
| Granja Coronel Pedro Osório      | 0,1380                        | 0,2069        | 0,1024  | 0,3683        |
| Granja Osório                    | 0,2787                        | 0,1292        | 0,0661  | 0,3369        |
| Granja Santa Maria               | 0,1395                        | 0,0808        | 0,1542  | 0,3697        |
| Herval                           | 0,2248                        | 0,1149        | 0,0403  | 0,2454        |
| Pedras Altas                     | 0,3820                        | 0,2295        | 0,2718  | <b>0,4633</b> |
| Pedro Osório                     | 0,1375                        | 0,1696        | 0,1906  | 0,3566        |
| Pinheiro Machado                 | 0,3146                        | 0,1405        | 0,2341  | <b>0,4830</b> |
| Ponte Cordeiro de Farias         | 0,0661                        | 0,1386        | 0,2476  | 0,2298        |
| Vila Freire                      | 0,1146                        | 0,1730        | 0,1380  | 0,3858        |
| Capão do Leão                    | 0,1589                        | 0,2593        | 0,2329  | <b>0,4821</b> |

Assim como os estudos de Grimm (2009) e Santos e Diniz (2014) os resultados mostraram que ENOS influência mais na primavera, visto que a correlação entre o ONI e a precipitação foi maior na primavera, seguida do verão, do outono e inverno, considerando a média de todas as estações do ano (Figura 5).

**Figura 5:** Correlação de precipitação da BHMSG estações do ano.

## 6.2 Casos de déficit e de excesso inesperados na BHMSG em cada estação pluviométrica

Realizado o levantamento dos casos anômalos de excesso e déficit de precipitação no período de 1981 – 2020 identificou-se 118 casos nas 15 estações pluviométricas da Bacia Hidrográfica Mirim São Gonçalo (Tabela 3).

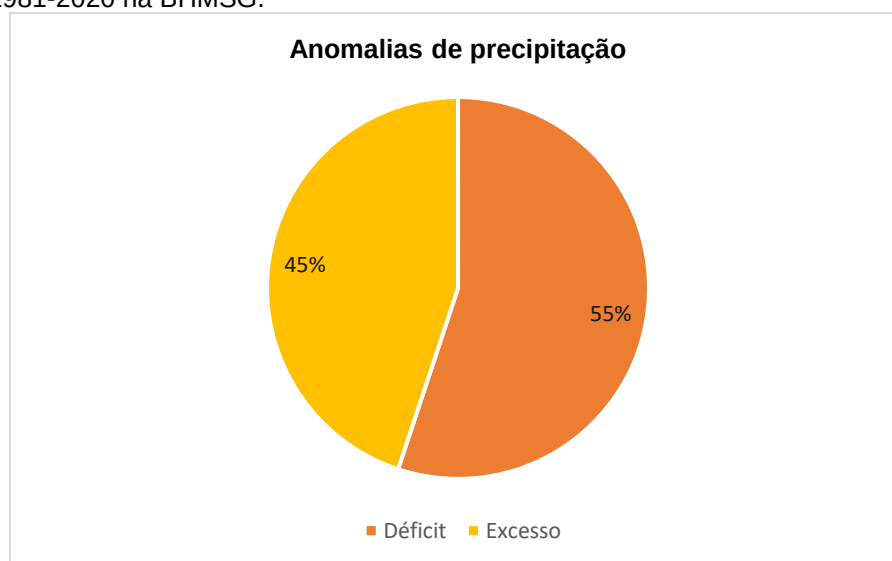
**Tabela 3:** Total de anomalias de precipitação (déficit em caso de El Niño e excesso em caso de La Niña) nas 15 estações pluviométricas no período de 1981-2020.

| Número | Nome da Estação                  | Município               | Nº de anomalias |
|--------|----------------------------------|-------------------------|-----------------|
| 1      | Arroio Grande                    | Arroio Grande           | 14              |
| 2      | Canguçu                          | Canguçu                 | 7               |
| 3      | Estação Experimental de Piratini | Piratini                | 6               |
| 4      | Ferraria                         | Piratini                | 10              |
| 5      | Granja Cerrito                   | Rio Grande              | 10              |
| 6      | Granja Coronel Pedro Osório      | Arroio Grande           | 7               |
| 7      | Granja Osório                    | Santa Vitória do Palmar | 7               |
| 8      | Granja Santa Maria               | Rio Grande              | 7               |
| 9      | Herval                           | Herval                  | 7               |

|    |                          |                  |    |
|----|--------------------------|------------------|----|
| 10 | Pedras Altas             | Pedras Altas     | 7  |
| 11 | Pedro Osório             | Pedro Osório     | 8  |
| 12 | Pinheiro Machado         | Pinheiro Machado | 4  |
| 13 | Ponte Cordeiro de Farias | Pelotas          | 11 |
| 14 | Vila Freire              | Cerrito          | 8  |
| 15 | Capão do Leão            | Capão do Leão    | 5  |

Destes 118 casos, 55% (65) correspondem a déficit de precipitação no período que estava com influência do fenômeno El Niño e 45% (53) correspondem ao excesso durante a fase de La Niña (Figura 6), conforme Grimm (2009) os casos de El Niño são mais frequentes que os de La Niña.

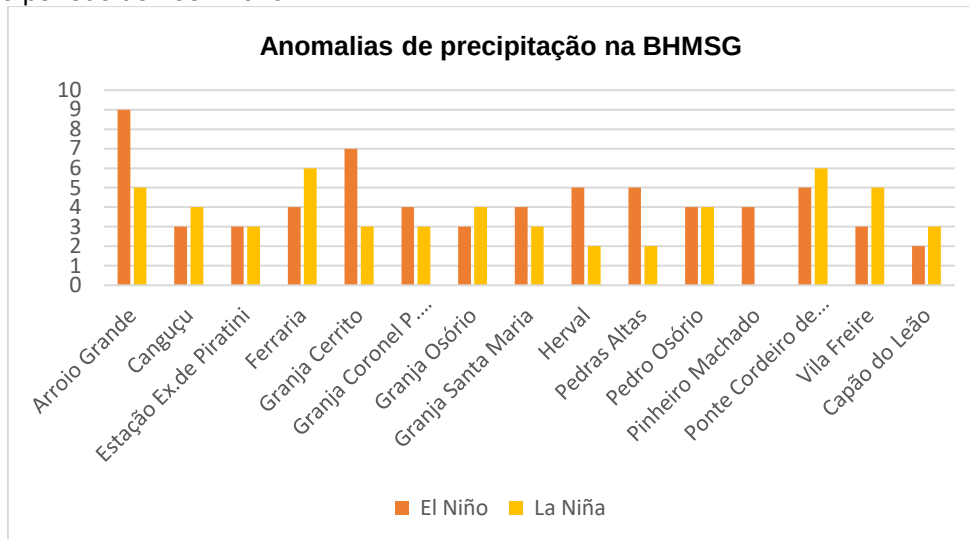
**Figura 6-** Casos de ENOS de consequências anômalas detectados nas estações pluviométricas no período de 1981-2020 na BHMSG.



As estações pluviométricas que mais apresentaram casos anômalos de déficit de precipitação durante o período de El Niño foram Arroio Grande, Granja Cerrito, Herval, Pedras Altas e Ponte Cordeiro de Farias. Para os casos de excesso sobre influência do La Niña, as mais atingidas foram Ferraria, Ponte Cordeiro de Farias, Arroio Grande, Vila Freire (Figura 7).

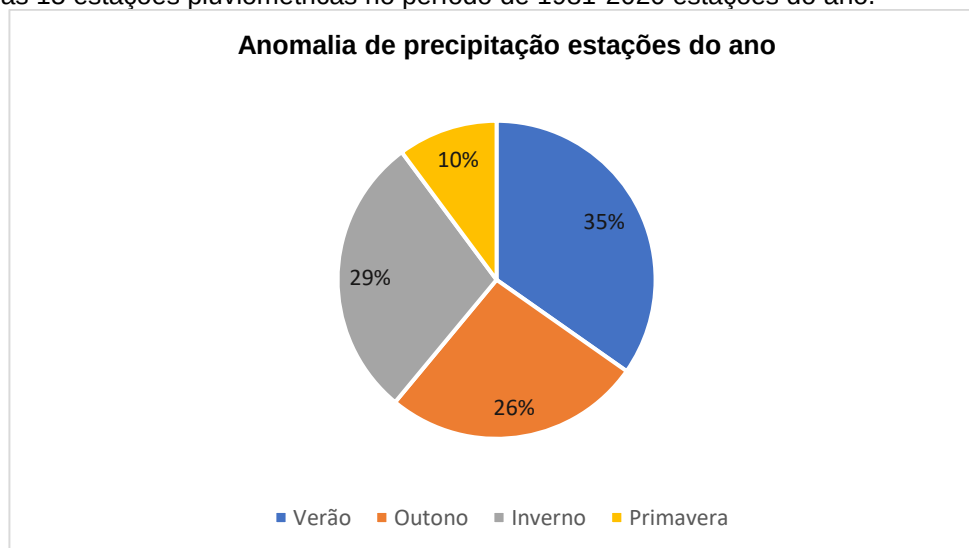


**Figura 7:** Total de déficit em caso de El Niño e excesso em caso de La Niña em cada estação pluviométrica no período de 1981-2020.



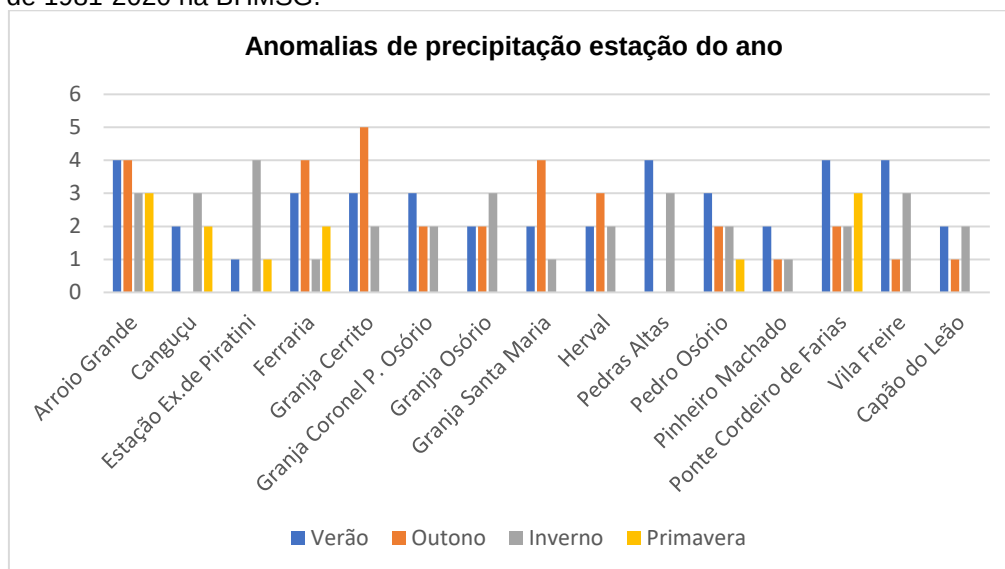
Identificou-se que 35% (41) das anomalias ocorreram no verão, 29% (34) no inverno, 26% (31) no outono, e 10% (12) dos casos na primavera (Figura 8).

**Figura 8:** Total de anomalias de precipitação (déficit em caso de El Niño e excesso em caso de La Niña) nas 15 estações pluviométricas no período de 1981-2020 estações do ano.



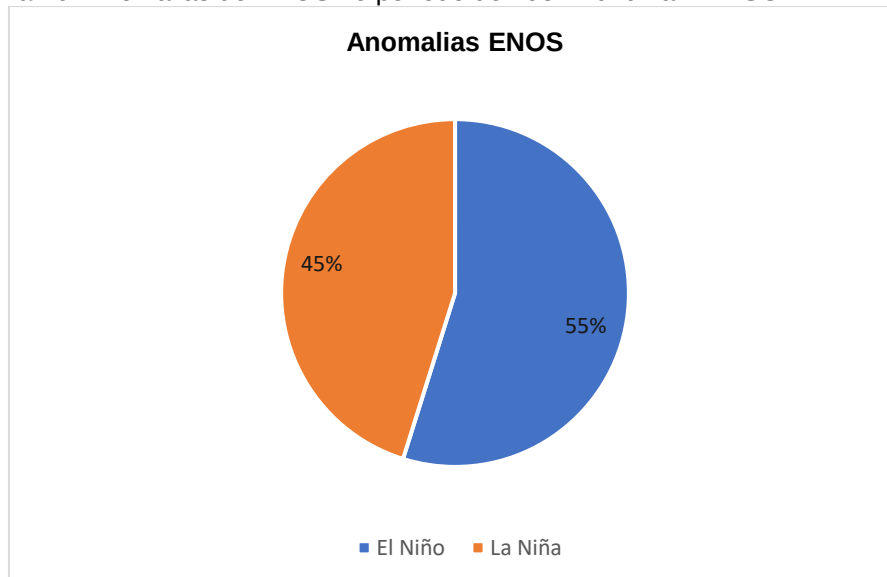
Arroio Grande, Ferraria, Pedro Osório e Ponte Cordeiro de Farias foram as estações pluviométricas que mais apresentaram anomalias durante as 4 estações do ano. Enquanto Pedras Altas apresentou apenas no verão e no inverno (Figura 9).

**Figura 9:** Identificação de anomalias de precipitação estações do ano durante fenômenos ENOS no período de 1981-2020 na BHMSG.



### 6.3 Casos anômalos de ENOS

A partir do levantamento destes 40 anos, detectou-se 47 casos com influência do fenômeno ENOS, sendo 51% (24) de El Niño e 49% (23) de La Niña. Dos 47 detectados neste período, observou-se 31 casos anômalos do fenômeno ENOS na BHMSG, sendo 55% (17) relacionados ao El Niño (com déficit) e 45% (14) a La Niña (com excesso), conforme a Figura 10.

**Figura 10:** Anomalias do ENOS no período de 1981-2020 na BHMSG.

Quanto as anomalias de El Niño, o verão de 2004/2005 foi o que mais abrangeu estações pluviométricas: 13 registraram déficit de precipitação. Observou-se que o ano de 1987 registrou influência do fenômeno com anomalia no verão, outono, inverno e primavera. O outono foi a estação do ano que mais apresentou anomalias, registrando episódios de EN com déficit de precipitação nos anos 1982, 1983, 1987, 2015 e 2019 (Tabela 4).

**Tabela 4:** Casos anômalos do fenômeno ENOS sob influência do El Niño no período de 1981-2020 na BHMSG.

| Estação do ano | Ano       | Estações Pluviométricas atingidas |
|----------------|-----------|-----------------------------------|
| Outono         | 1982      | 8                                 |
| Outono         | 1983      | 4                                 |
| Primavera      | 1986      | 1                                 |
| Verão          | 1986/1987 | 5                                 |
| Inverno        | 1987      | 1                                 |
| Primavera      | 1987      | 3                                 |
| Outono         | 1987      | 1                                 |
| Verão          | 1987/1988 | 2                                 |
| Inverno        | 1991      | 2                                 |

|           |           |    |
|-----------|-----------|----|
| Primavera | 1994      | 2  |
| Verão     | 1994/1995 | 4  |
| Inverno   | 2004      | 5  |
| Primavera | 2004      | 1  |
| Verão     | 2004/2005 | 13 |
| Inverno   | 2009      | 1  |
| Outono    | 2015      | 8  |
| Outono    | 2019      | 4  |

O La Niña do inverno de 1988 foi registrado em 12 estações pluviométricas da BHMSG. O ano de 2000 mostrou anomalias em 3 estações do ano: no outono, inverno e verão. Dos 14 casos com excesso de precipitação na bacia sob a influência do La Niña, 5 foram no verão e 5 no inverno (Tabela 5).

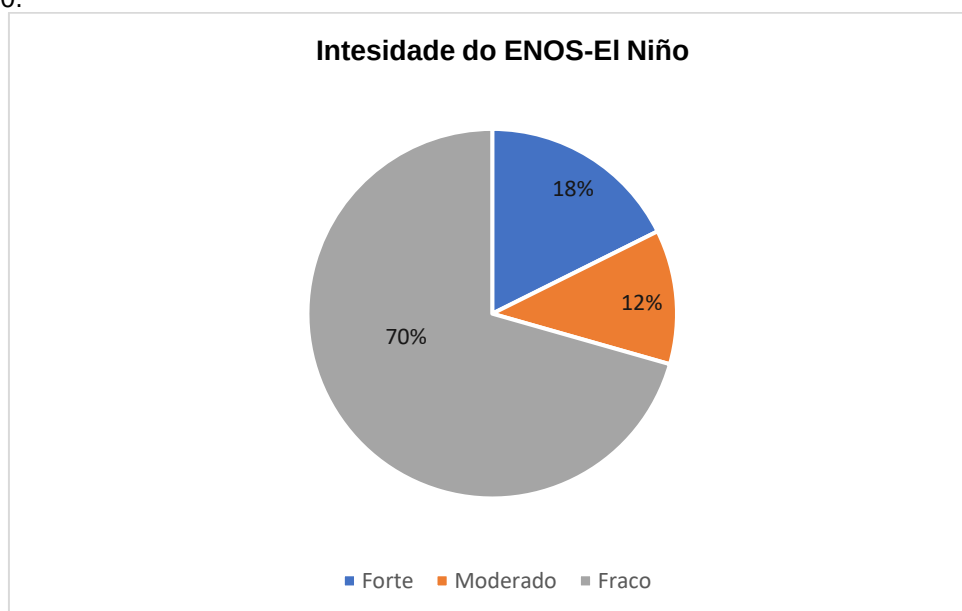
**Tabela 5:** Casos anômalos do fenômeno ENOS sob influência do La Niña no período de 1981-2020 na BHMSG.

| <b>Estação do ano</b> | <b>Ano</b> | <b>Estações Pluviométricas atingidas</b> |
|-----------------------|------------|------------------------------------------|
| Primavera             | 1983       | 3                                        |
| Verão                 | 1983/1984  | 5                                        |
| Inverno               | 1985       | 4                                        |
| Inverno               | 1988       | 12                                       |
| Verão                 | 1995/1996  | 4                                        |
| Outono                | 2000       | 4                                        |
| Inverno               | 2000       | 3                                        |
| Verão                 | 2000/2001  | 1                                        |
| Inverno               | 2007       | 4                                        |
| Verão                 | 2008/2009  | 6                                        |
| Inverno               | 2010       | 1                                        |
| Outono                | 2011       | 2                                        |
| Primavera             | 2017       | 3                                        |
| Verão                 | 2017/2018  | 1                                        |

#### 6.4 Intensidade do ENOS com consequências anômalas

Verificou-se que 70% (12) das anomalias de El Niño apresentaram intensidade fraca, 12% (2) moderada e 18% (3) dos casos com intensidade forte (Figura 11). Conforme Grimm et al., (2000), casos de El Niño com intensidade fraca são mais frequentes de acontecerem.

**Figura 11:** Intensidade dos casos anômalos de El Niño na BHMSG durante o período de 1981-2020.

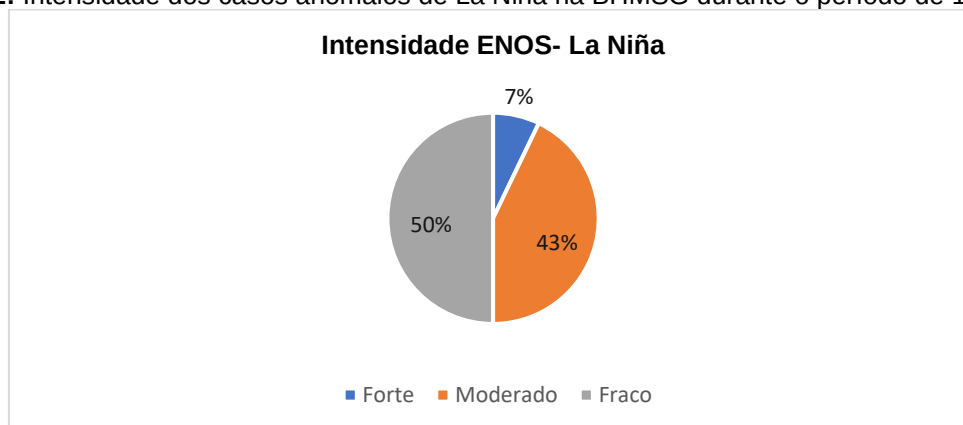


Anomalias de El Niño com o índice ONI de intensidade forte foram o outono de 1983, inverno e a primavera de 1987. O ano de 1987 apontou déficit em todas as estações do ano, todavia com intensidade diferente conforme a Tabela 6.

**Tabela 6:** Intensidade do ENOS nos casos anômalos de El Niño na BHMSG durante o período de 1981-2020.

| Estação do ano | Ano       | Estações Pluviométricas | Índice ONI | Intensidade |
|----------------|-----------|-------------------------|------------|-------------|
| Outono         | 1982      | 8                       | 0,5        | Fraco       |
| Outono         | 1983      | 4                       | 1,3        | Forte       |
| Primavera      | 1986      | 1                       | 0,9        | Fraco       |
| Verão          | 1986/1987 | 5                       | 1,2        | Moderado    |
| Inverno        | 1987      | 1                       | 1,5        | Forte       |
| Primavera      | 1987      | 3                       | 1,5        | Forte       |
| Outono         | 1987      | 1                       | 0,9        | Fraco       |
| Verão          | 1987/1988 | 2                       | 0,8        | Fraco       |
| Inverno        | 1991      | 2                       | 0,7        | Fraco       |
| Primavera      | 1994      | 2                       | 0,7        | Fraco       |
| Verão          | 1994/1995 | 4                       | 1,0        | Moderado    |
| Inverno        | 2004      | 5                       | 0,5        | Fraco       |
| Primavera      | 2004      | 1                       | 0,5        | Fraco       |
| Verão          | 2004/2005 | 13                      | 0,6        | Fraco       |
| Inverno        | 2009      | 1                       | 0,5        | Fraco       |
| Outono         | 2015      | 8                       | 0,7        | Fraco       |
| Outono         | 2019      | 4                       | 0,7        | Fraco       |

Assim como o El Niño, maior parte das anomalias de La Niña registraram intensidade fraca com 50% (7), 43% (6) moderada, e 7% (1) forte (Figura 12). Entretanto, observou-se um grande número de casos de intensidade moderada de La Niña quando comparados com o do El Niño.

**Figura 12:** Intensidade dos casos anômalos de La Niña na BHMSG durante o período de 1981-2020.

Dos 14 casos que registraram excesso de precipitação, apenas o inverno de 2010 apresentou índice ONI (-1) com intensidade forte. Observou-se que o inverno foi a estação do ano que apresentou casos de anomalias com intensidade: forte, moderada e fraca (Tabela 7).

**Tabela 7:** Intensidade do ENOS nos casos anômalos de La Niña na BHMSG durante o período de 1981-2020

| Estação do ano | Ano       | Estações pluviométricas | Índice ONI | Intensidade |
|----------------|-----------|-------------------------|------------|-------------|
| Primavera      | 1983      | 3                       | -0,8       | Moderado    |
| Verão          | 1983/1984 | 5                       | -0,6       | Fraco       |
| Inverno        | 1985      | 4                       | -0,5       | Fraco       |
| Inverno        | 1988      | 12                      | -0,8       | Moderado    |
| Verão          | 1995/1996 | 4                       | -0,9       | Moderado    |
| Outono         | 2000      | 4                       | -0,8       | Moderado    |
| Inverno        | 2000      | 3                       | -0,6       | Fraco       |
| Verão          | 2000/2001 | 1                       | -0,7       | Fraco       |
| Inverno        | 2007      | 4                       | -0,6       | Fraco       |
| Verão          | 2008/2009 | 6                       | -0,8       | Moderado    |
| Inverno        | 2010      | 1                       | -1         | Forte       |
| Outono         | 2011      | 2                       | -0,7       | Fraco       |
| Primavera      | 2017      | 3                       | -0,7       | Fraco       |
| Verão          | 2017/2018 | 1                       | -0,9       | Moderado    |

## 6.5 Influências de outras Oscilações Climáticas

Analizando os índices SAM e IASAS, observou-se que em 7 casos anômalos de El Niño poderiam estar com influência de ambos os índices. O SAM apresentou índices positivos (déficit) em 9 casos e o IASAS índices negativos (déficit) em 13 dos 17 casos. Entretanto o verão de 1986/1987 e primavera de 1987 não se observou influência da SAM nem da IASAS. Estes dois casos, portanto, necessitam de uma análise mais aprofundada (Tabela 8).

**Tabela 8:** Influência dos índices SAM e IASAS (coluna Resultado indica a consequência esperada quanto à precipitação) nos casos anômalos de El Niño na BHMSG durante o período de 1981-2020.

| Estação do ano | Ano       | Índice SAM | Resultado esperado quanto à precipitação | Índice IASAS | Resultado esperado quanto à precipitação |
|----------------|-----------|------------|------------------------------------------|--------------|------------------------------------------|
| Outono         | 1982      | 1,08       | Déficit                                  | -0,73        | Déficit                                  |
| Outono         | 1983      | -0,04      | Excesso                                  | -0,91        | Déficit                                  |
| Primavera      | 1986      | 0,31       | Déficit                                  | -0,73        | Déficit                                  |
| Verão          | 1986/1987 | -0,26      | Excesso                                  | 0,23         | Excesso                                  |
| Inverno        | 1987      | -0,25      | Excesso                                  | -0,91        | Déficit                                  |
| Primavera      | 1987      | -0,13      | Excesso                                  | 0,39         | Excesso                                  |
| Outono         | 1987      | 0,24       | Déficit                                  | 0,29         | Excesso                                  |
| Verão          | 1987/1988 | 0,07       | Déficit                                  | 0,21         | Excesso                                  |
| Inverno        | 1991      | -0,78      | Excesso                                  | -0,83        | Déficit                                  |
| Primavera      | 1994      | -0,77      | Excesso                                  | -0,91        | Déficit                                  |
| Verão          | 1994/1995 | 0,97       | Déficit                                  | -0,91        | Déficit                                  |
| Inverno        | 2004      | 0,87       | Déficit                                  | -0,83        | Déficit                                  |
| Primavera      | 2004      | -0,01      | Excesso                                  | -0,91        | Déficit                                  |
| Verão          | 2004/2005 | 0,05       | Déficit                                  | -0,81        | Déficit                                  |
| Inverno        | 2009      | -0,80      | Excesso                                  | -0,81        | Déficit                                  |
| Outono         | 2015      | 0,74       | Déficit                                  | -0,91        | Déficit                                  |
| Outono         | 2019      | 0,47       | Déficit                                  | -0,73        | Déficit                                  |

Das 14 anomalias de La Niña, 4 delas os índices SAM e IASAS podem ter influenciado em conjunto no excesso de precipitação na BHMSG. Em 4 casos o SAM



apresentou índice negativo (excesso), e o IASAS registrou valores positivos (excesso) em 5. Nestes períodos o índice SAM registrou intensidade negativa (positiva), que segundo Carpenedo e Ambrizzi (2020) indica um deslocamento para sul do ASAS (SUN, COOK e VIZY, 2017), que por sua vez apresentou índice de valor positivo (+), constatando aumento de precipitação no Sul do Brasil devido a um maior transporte de umidade (Tabela 9). Ainda se observou que a ASAS pode explicar o excesso de precipitação na primavera de 2017. Entretanto, os outros 9 casos, em que não se verificou influência da SAM ou do ASAS, necessitam de uma análise posterior.

**Tabela 9:** Influência dos índices SAM e IASAS nos casos anômalos de La Niña na BHMSG durante o período de 1981-2020.

| Estação do ano | Ano       | Índice SAM | Resultado esperado quanto à precipitação | Índice IASAS | Resultado esperado quanto à precipitação |
|----------------|-----------|------------|------------------------------------------|--------------|------------------------------------------|
| Primavera      | 1983      | 0,41       | Déficit                                  | -0,07        | Déficit                                  |
| Verão          | 1983/1984 | -0,39      | Excesso                                  | 0,69         | Excesso                                  |
| Inverno        | 1985      | 0,73       | Déficit                                  | -0,68        | Déficit                                  |
| Inverno        | 1988      | 1,13       | Déficit                                  | -0,66        | Déficit                                  |
| Verão          | 1995/1996 | 0,43       | Déficit                                  | -0,31        | Déficit                                  |
| Outono         | 2000      | 0,50       | Déficit                                  | -0,10        | Déficit                                  |
| Inverno        | 2000      | -0,17      | Excesso                                  | 0,76         | Excesso                                  |
| Verão          | 2000/2001 | -0,68      | Excesso                                  | 0,78         | Excesso                                  |
| Inverno        | 2007      | -1,31      | Excesso                                  | 0,32         | Excesso                                  |
| Verão          | 2008/2009 | 0,87       | Déficit                                  | -0,99        | Déficit                                  |
| Inverno        | 2010      | 2,00       | Déficit                                  | -0,53        | Déficit                                  |
| Outono         | 2011      | 0,03       | Déficit                                  | -1,15        | Déficit                                  |
| Primavera      | 2017      | 0,50       | Déficit                                  | 1,30         | Excesso                                  |
| Verão          | 2017/2018 | 1,10       | Déficit                                  | -0,30        | Déficit                                  |

O verão 1983/1984, inverno 2000, verão 2000/2001, inverno de 2007, apresentaram índice SAM com intensidade negativa, que segundo Nieto et al., 2014; Carpenedo e Ambrizzi, 2020; Souza e Reboita, 2021; durante a fase negativa do SAM, o transporte de umidade atmosférica para o sudeste da América do Sul é intensificado, o que favorece o aumento de precipitação no RS.

## 7 Conclusões

Através do levantamento dos casos anômalos de excesso e déficit de precipitação no período de 1981 – 2020, identificou-se 118 casos nas 15 estações pluviométricas da Bacia Hidrográfica Mirim São Gonçalo.

Destes 65 corresponderam a casos a déficit de precipitação no período que estava com influência do fenômeno El Niño e 53 correspondem ao excesso durante a fase de La Niña.

Arroio Grande e Ponte Cordeiro de Farias foram as estações pluviométricas que apresentaram anomalias de precipitação em ambas as fases;

No geral dos casos, a estação do ano que mais apresentou anomalia de precipitação foi o verão com 41 dos casos, e a que menos apresentou foi a primavera, com 12 casos.

Quanto aos casos anômalos de ENOS a partir do levantamento destes 40 anos detectou-se 47 casos com influência do fenômeno ENOS, sendo 31 dos casos anômalos. Observou-se que 17 casos de anomalias de El Niño (com déficit) e 14 de La Niña (com excesso).

A anomalia do El Niño do verão de 2004/2005 abrangeu 13 estações pluviométricas, enquanto a anomalia do La Niña do inverno de 1988 registrou excesso de precipitação em 12 estações pluviométricas.

Verificou-se que a intensidade do ENOS foi na maioria dos casos fraca. Anomalias de El Niño com o índice ONI de intensidade forte foram o outono de 1983, inverno e a primavera de 1987, enquanto a anomalia de La Niña o inverno de 2010 apresentou índice ONI (-1) com intensidade forte.

Analisando os índices SAM e IASAS, observou-se que dos 17 casos anômalos de El Niño 7 poderiam estar com a influência de ambos os índices.

O SAM apresentou índices positivos (déficit) em 9 casos e o IASAS índices negativos (déficit) em 13. Todavia, 2 casos não se observaram influência da SAM nem da IASAS, portanto, necessitam de uma análise mais aprofundada.

Das 14 anomalias de La Niña, 4 delas os índices SAM e IASAS podem ter influenciado no excesso de precipitação na BHMSG.

O SAM apresentou índice negativo (excesso) em 4 casos, e o IASAS em 5. Entretanto, os outros 9 casos, em que não se verificou influência da SAM ou do ASAS, necessitam de uma análise posterior.

Mais estudos devem ser realizados nesta importante região do RS, especialmente levando em conta outros aspectos, como correlação defasada, e outras oscilações climáticas como o ENOS Modoki, a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA) e Oscilação do Atlântico Norte (OAN).

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Hidroweb**. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>> Acesso em: 06 mai. 2022.

ANDREOLI, R.; KAYANO, M. ENSO-related rainfall anomalies in South America and associated circulation features during warm and cold Pacific Decadal Oscillation regimes. **International Journal of Climatology**, p. 2017–2030, 2005.

ANDREOLI, R. V.; OLIVEIRA, S. S.; KAYANO, M.T.; VIEGAS, J.; SOUZA, R. A. F.; CANDIDO, L. A. The influence of different El Niño types on the South American rainfall. **International Journal of Climatology**, p. 1374-1390, 2016.

BJERKNES, J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. **Monthly Weather Review**. p. 163-172, 1969.

BRUICK, Z.S.; RASMUSSEN, K.L.; ROWE, A.K.; MCMURDIE, L.A. Characteristics of Intense Convection in Subtropical South America as Influenced by El Niño–Southern Oscillation. **American Meteorological Society**. p. 1947–1966, 2019.

CAI, W., MCPHADEN, M. J.; Grimm, A. M.; RODRIGUES, R. R.; TASCHETTO, A. S.; GARREAUD, R. D.; DEWITTE, B.; POVEDA, G.; HAM, Y. G.; SANTOSO, A.; NG, B.; ANDERSON, W.; WANG, G.; GENG, T.; JO, H.S.; MARENGO, J.A; ALVES, L.M.; OSMAN, M.; LI, S.; WU, L.; KARAMPERIDOU, C.; TAKAHASHI, K.; VERA, C. Impactos climáticos do El Niño–Oscilação Sul na América do Sul. **Nature Reviews Earth & Environment**, p. 215-231, 2020.

CARDOSO, I. P. **Variabilidade climática do fluxo de vapor d'água sobre a Bacia Hidrográfica Mirim- São Gonçalo no Rio Grande do Sul**. Qualificação (Doutorado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas, 2022.

CARPENEDO, C. B.; AMBRIZZI, T. Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul Associado ao Modo Anular Sul e Impactos Climáticos no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 605-613, 2020.

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

COELHO, C.A.S.; OLIVEIRA, C.P.; AMBRIZZI, T.; REBOITA, M. S.; CARPENEDO, B.; CAMPOS, J. L. P. S; REHBEIN, A. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. *Clim. Dyn.*, 46, p. 3737-3752, 2016.

CHECHI, L.; SANCHES, F.O. O uso do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) na avaliação do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) no Alto Uruguai Gaúcho entre 1957-2012. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 6, p.1586 -1597, 2013.

CHRONIS, T. G.; GOODMAN, S. J.; CECIL, D.; BUECHLER, F.J.; PITTMAN, J.; BLAKESLEE, J.R. Global lightning activity from the ENSO perspective. **Geophysical Research Letters**. v.35, L19804, 2008.

DI LUCA, A., CAMILLONI, I., BARROS, V. Sea-Level Pressure Patterns In South America And The Adjacent Oceans In The Ipcc Ar4 Models. **8 ICSHMO**, 235-243, 2006.

DORNELES, V. R.; RIQUETTI, N.B.; NUNES, A. Forçantes dinâmicas e térmicas associadas a um caso de precipitação intensa sobre o Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**. v.26, p. 220-232, 2020.

FOGT, R. L.; MARSHALL, G. J. The Southern Annular Mode: Variability, trends, and climate impacts across the Southern Hemisphere. **Wires Climate Change**, v. 11, 2020.

FRITZSONS, E.; WREVE, M. S.; MANTOVANI, L. E. Altitude e temperatura: estudo do gradiente térmico no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, 2015.

GARBARINI, E. M.; GONZALEZ, M. H., & ROLLA, A. L. The influence of Atlantic High on seasonal rainfall in Argentina. **Int J Climatol**, 39(12), 4688-4702, 2019.

GRIMM, A; FERRAZ, S.E.T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**. v.11, p. 2863-2880, 1998.

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

GRIMM, A. M. Variabilidade interanual do clima no Brasil. In: CAVALCANTI, Iracema Fonseca De Albuquerque; FERREIRA, Nelson Jesus; SILVA, Maria Gertrudes Alvarez Justi da; DIAS, Maria Assunção Faus da Silva (org). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 435-460.

GRIMM, A. M.; AMBRIZZI, T. Teleconnections into South America from the Tropics and Extratropics on Interannual and Intraseasonal Timescales. **Developments in Paleoenvironmental Research**. p.159–191, 2009.

GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R.G. ENSO and Extreme Rainfall Events in South America. **Journal of Climate**. v.22, p.1589-1609, 2009.

HARTMANN, D.L.; WALLACE, J.M.; LIMPASUVAN, V.; THOMPSON, D.W.J.; HOLTON, J.R. Can ozone depletion and global warming interact to produce rapid climate change? **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 97, n. 4, p. 1412- 1417, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades do Rio Grande do Sul**, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs.html> . Acesso em: 20 mai. 2022.

JULIAN, P.R.; CHERVIN, R.M. A Study of the Southern Oscillation and WalkerCirculation Phenomenon. **Monthly Weather Review**. v.106, p.1433 – 1451, 1978.

KIDSON, J.W. Interannual variations in the Southern hemisphere circulation. **Journal of Climate**, v. 1, n. 12, p. 1177- 1198, 1988.

KIDSON, J.W.; WATTERSON, I.G. The structure and predictability of the “high-latitude mode” in the CSIRO9 general circulation model. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 56, n. 22, p. 3859-3873, 1999

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia Naturais e Tecnológicas**, v. 2, n. 1, p. 171-182, 2001.

LIMA, M. V., NUNES, A. B. Comportamento climático do balanço do vento térmico na América do Sul de acordo com os eventos ENOS: Estudos preliminar. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.11, n. 03, p. 728-744, 2018.

LINDEMANN, D.; FREITAS, R.; RODRIGUES, J.; NUNES. M.; PINTO, L. Oscilações decadais da temperatura do ar na América do Sul durante o período de verão austral e suas relações com o Oceano Atlântico Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física**, p. 2163-2176, 2019.

MARSHALL, G.J. Trends in the Southern Annular Mode from observations and reanalyses. **Journal of Climate**, v. 16, n. 24, p. 4134-4143, 2003.

MARSHALL, G.J.; STOTT, P.A.; TURNER, J.; CONNOLLEY, W.M.; KING, J.C.; LACHLAN-COPE, T.A. Causes of exceptional atmospheric circulation changes in the Southern Hemisphere. **Geophysical Research Letters**, v. 31, n. 14, 2004.

MELO, C. R. de; SILVA, A. M. da. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Editora UFLA, Lavras, p.455, 2013.

NOOA- National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponível em: <https://www.noaa.gov/>. Acesso em 15 de nov. 2022.

NUNES, A. B.; PEREIRA, R. D. S. Estimativa de eventos de precipitação com potencial para alagamentos urbanos no Rio Grande do Sul. In: NUNES, André Becker; MARIANO, Glauber Lopes (org). **Meteorologia em tópicos: Volume 4**. Pelotas: Clube dos Autores, 2017. p.273- 313.

OLIVEIRA, H. A.; FERNANDES, E. H. L.; MÖLLER JÚNIOR, O. O.; COLLARES, G. L. Processos Hidrológicos e Hidrodinâmicos da Lagoa Mirim. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**. v. 20, n,1, p. 34-45, 2015. Porto Alegre.

PEIXOTO, J.P.; OORT, A.H. Physics of climate. **American Institute of Physics**. New York: 1992.

PEREIRA, H. R.; REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T. Características da Atmosfera na Primavera Austral Durante o El Niño de 2015/2016. **Revista Brasileira de Meteorologia**, n. 32, p- 293-310, 2017.

PEZZI, L.P.; CAVALCANTI, I.F.A. The relative importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. **Climate Dynamics**. v. 17, p. 205-212, 2001.

RADIN, B., MATZENAUER, R.; MELO, R. W.; WREGE, M. S.; STEINMENTZ, S. Quantificação e distribuição sazonal da precipitação pluvial nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1161-1169, 2017.

RAO, V.B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with southern oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 42, n. 2, p. 81-91, 1990.

RASMUSSEN, E.M., CARPENTER, T. H. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. **Monthly Weather Review** 110, p. 354-384, 1982.

REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. D. Relationship between the southern annular mode and southern hemisphere atmospheric systems. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 24(1), 48-55, 2009.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

REBOITA, M.S., SANTOS, I. Influência de alguns padrões de teleconexão na precipitação no norte e nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, p. 28-48, 2015.

REBOITA M. S., AMBRIZZI T., Silva B. A., Pinheiro R. F., & Rocha R. P. The South Atlantic Subtropical Anticyclone: Present and Future Climate. **Frontiers in Earth Science**, 7(8). p.1-15, 2019.

REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T.; CRESPO, N. M. et al. Impacts of teleconnection patterns on South America climate: a review. **Annals of the New York Academy of Sciences**, 2021.

RIO GRANDE DO SUL. **Atlas eólico: Rio Grande do Sul**. Secretaria de Desenvolvimento e Promoção do Investimento, Porto Alegre, p. 116, 2014. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/atlas-eolico-do-rs>. Acesso em: 14 dez. 2022.

RODRIGUES, A. A.; SIQUEIRA, T. M.; BESKOW, T. L. C.; BESKOW, S.; NUNES, A. B. Tendência e variabilidade da chuva no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.32, p. 179- 206, 2023.

ROSSATO, M. S. Os Climas do Rio Grande do Sul: tendências e tipologia. In: Francisco Mendonça. (Org.). **Os Climas do Sul: Em Tempos de Mudanças Climáticas Globais**. Jundiaí: Paco Editorial, p. 217-271, 2014.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Padrões de precipitação em escala global e regional associados ao El Niño / Oscilação Sul. **Monthly Weather Review**. v.115, p. 1606 – 1626, 1987.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA. **Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre- RS, 2020. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/l040-bh-mirim>. Acesso em: 18 set. 2021.

SOUZA, C. A. de; REBOITA, M. S. Ferramenta para o Monitoramento dos Padrões de Teleconexão na América do Sul. **Terrae Didática**, Campinas, SP, v. 17, n. 00, p. e02109, 2021.

SOSINSKI, L. T. W. **Caracterização da Bacia Hidrográfica Mirim São Gonçalo e o uso dos recursos naturais**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, ed. 1, 2009.

SUN, X.; COOK, K.H.; VIZY, E.K. The South Atlantic subtropical high: Climatology and interannual variability. **Journal of Climate**, v. 30, n. 9, p. 3279-3296, 2017.

SCAGLIONI, T. P.; FERNANDES, R. K. U.; NUNES, A. B. Eventos extremos de excesso e déficit de precipitação atuantes na Bacia Hidrográfica do Camaquã no período de 1991-2020. **Conjecturas**, v. 22, n. 2, p. 672-686, 2022.

TRENBERTH, K. E. Short-term climate variations: Recent accomplishments and issues for future progress. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 78, p.1081-1096, 1997.



TRENBERTH, K. E.; SMITH, L. The vertical structure of temperature in the tropics: Different flavors of El Nino. **Journal of climate**, n19, p. 4956- 4973, 2006.

THOMPSON, D. W. J., WALLACE, J. M. **The Arctic oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields**. Geo-physical research letters, 25 (9), 1297-1300, 1998.

THOMPSON, D.W.J.; WALLACE, J.M.; HEGERL, G.C. Annular modes in the extra-tropical circulation. Part II: Trends, **Journal of Climate**, v. 13, n. 5, p. 1018-1036, 2000.

THOMPSON, D.W.J.; SOLOMON, S. Interpretation of recent southern hemisphere climate change. **Science**, v. 296, n. 5569, p. 895-899, 2002.