

ANÁLISE DOS IMPACTOS DE REGIMES DE PRECIPITAÇÃO EM DIFERENTES EVENTOS DE EL NIÑO E LA NIÑA NO CANAL SÃO GONÇALO – RS

Cássio Azzi Nunes¹

Josué Lucas Costa Barcellos²

Simone Emiko Sato³

RESUMO

Este estudo analisa os impactos dos fenômenos El Niño e La Niña na precipitação na região do Canal São Gonçalo, no Rio Grande do Sul, utilizando dados de 2000 a 2024 da estação meteorológica de Pelotas. A pesquisa avalia como diferentes intensidades desses eventos influenciam o regime de chuvas, com foco na primavera austral. A metodologia incluiu a análise de dados pluviométricos e sua correlação com os índices El Niño-Oscilação Sul (ENOS), Oscilação Antártica (AAO), Oscilação Decadal do Pacífico (PDO) e Atlântico Sul Tropical (TSA). Os resultados indicam que eventos de El Niño, especialmente os de intensidade moderada a muito forte, estão associados a chuvas acima da média, como em 2015/16 e 2023/24, principalmente quando associado a uma PDO positiva e AAO negativa. Em contrapartida, a La Niña tende a causar períodos de seca, efeito intensificado pela fase positiva da AAO e negativa da PDO. O estudo conclui que, embora El Niño e La Niña sejam influentes, a AAO atua como um modulador crucial, podendo atenuar ou intensificar os padrões de chuva esperados.

Palavras-chave: El Niño; La Niña; Precipitação; Canal São Gonçalo.

1. INTRODUÇÃO

O fenômeno El Niño está associado ao aumento da precipitação no sul do Brasil e à redução no centro-norte, enquanto a fase La Niña tende a produzir efeitos inversos. O Canal São Gonçalo, área de estudo da presente pesquisa, faz parte da Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo, a qual sofre consequências diretas da ação destes fenômenos, tanto do excesso de água quanto sua escassez, afetando, por exemplo, a rizicultura (Boeira *et al*, 2021).

Segundo o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC, 2023), fenômenos climáticos como El Niño e La Niña frequentemente causam impactos significativos. Estes fenômenos ocorrem através das variações nas anomalias de temperaturas da superfície do mar no Oceano Pacífico Equatorial, as quais geram

¹ Mestrando no Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande

² Graduado em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande

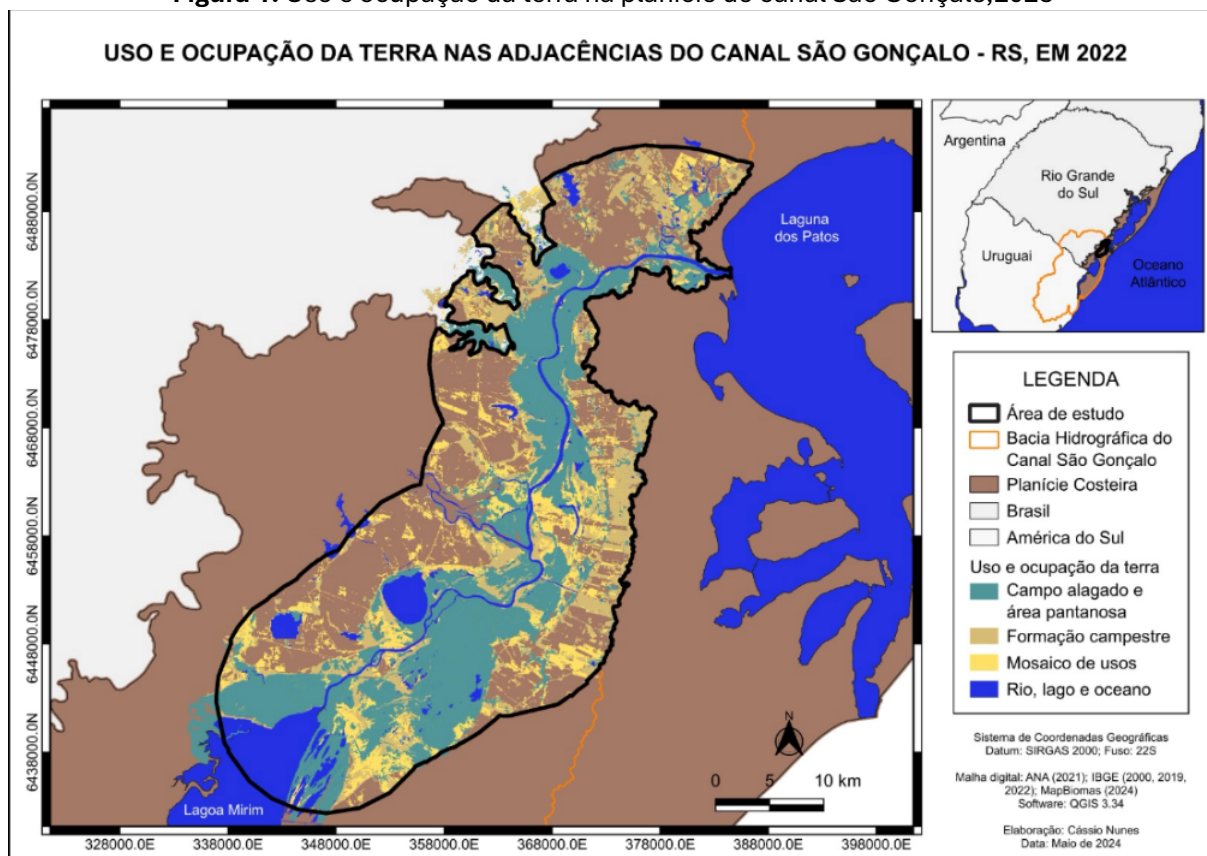
³ Professora do Departamento de Geografia e do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande

alterações atmosféricas. E no Brasil, seus efeitos são mais pronunciados especialmente nas regiões sul e centro-norte, com características pluviométricas opostas entre as duas regiões.

Influenciadas pelas mudanças climáticas durante o Pleistoceno e Holoceno, as oscilações de temperatura do planeta, procederam em eventos de avanço e recuo do mar que moldaram a região costeira do Rio Grande do Sul, resultando em uma extensa zona de sedimentação estruturada por cordões arenosos que deram origem às formações lacustres da linha de costa, como a Lagoa dos Patos e a Lagoa Mirim conectadas pelo Canal São Gonçalo (Tomazelli; Vilwock, 2005). Este canal foi estabelecido como um importante recurso para uso humano e natural, abrangendo uma área de influência de 790,91 Km², que inclui os municípios de Arroio Grande, Capão do Leão, Pelotas e Rio Grande (Simon; Silva, 2015).

Na imagem a seguir (Figura 1), temos uma demonstração da área de estudo, delimitada com o uso e cobertura da terra seguindo os dados da plataforma Mapbiomas. O MapBiomas é uma iniciativa colaborativa formada por diversas instituições, como universidades, ONGs e empresas de tecnologia, que utiliza imagens de satélite e inteligência artificial para mapear e monitorar anualmente o uso e a cobertura da terra no Brasil. A sua importância reside na possibilidade de subsidiar políticas públicas e estratégias de gestão ambiental com dados detalhados e atualizados, promovendo a conservação e o uso sustentável dos recursos naturais.

Entre os usos da terra mapeados, destacam-se na área de estudo os campos alagados e áreas pantanosas, que são fundamentais para a biodiversidade e o equilíbrio hidrológico; as formações campestres, que abrigam vegetação típica de savanas e são importantes para a manutenção da biodiversidade; e os mosaicos de uso da terra, que indicam áreas de transição ou mistura entre diferentes tipos de cobertura, evidenciando a complexidade das paisagens e a influência das atividades humanas (Map Biomas, 2024).

Figura 1: Uso e ocupação da terra na planície do canal São Gonçalo, 2023

Fonte: elaborado pelo autor.

No caso da Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo, localizada na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, estudos mostram que o comportamento hidrológico da bacia decorre principalmente da variabilidade dos processos climáticos e do uso da terra. Segundo Santos *et al.* (2010) as enchentes podem causar danos significativos ao solo e à vegetação. Por exemplo, a alteração da superfície da bacia tem impactos consideráveis sobre o escoamento. Além disso, o desmatamento e as queimadas podem danificar a vegetação próxima aos rios, fazendo com que as margens sejam diretamente afetadas e os leitos transbordem com mais facilidade.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O monitoramento e a análise das mudanças na cobertura da terra, especialmente durante eventos como o El Niño e La Niña, são fundamentais. A urbanização e a agricultura extensiva, com destaque para a produção de arroz irrigado, podem modificar significativamente a dinâmica do uso e ocupação da terra, agravando os impactos das enchentes (Fiorese, 2021). Assim, torna-se indispensável um planejamento estratégico

e eficaz para a gestão do uso e ocupação da terra nas áreas adjacentes ao Canal São Gonçalo. Esse planejamento deve incluir práticas de manejo do solo mais sustentáveis, a adoção de medidas de controle de enchentes e a implementação de políticas de planejamento urbano e agrícola mais eficientes.

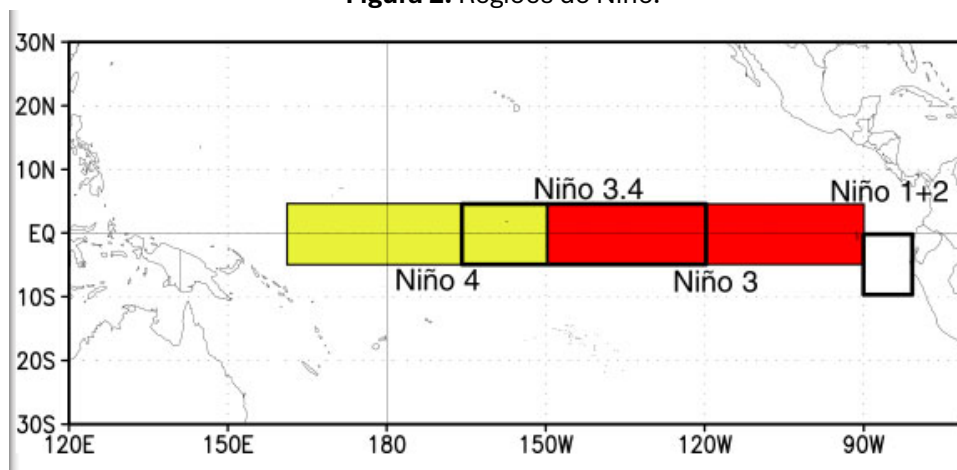
Neste sentido, a planície lagunar deste sistema hidrogeomorfológico é caracterizada por superfícies planas com solos mal e parcialmente drenados. Em tais áreas, os sistemas agrícolas e urbano-industriais encontraram características que propiciaram a organização e expansão destes sistemas antrópicos. O uso inadequado da terra pressiona os sistemas naturais, ocupando banhados, margens de arroios, lagoas e dunas, o que provoca alterações morfo-hidrodinâmicas com impactos sobre ecossistemas, biodiversidade e necessidades humanas básicas. (Simon; Silva, 2015).

Conforme Rodrigues et al. (2011), as diferenças nas características dos eventos de El Niño podem gerar respostas atmosféricas e de precipitação variadas em diferentes regiões, incluindo o sul do Brasil. Eventos mais fracos, por exemplo, podem resultar em padrões de precipitação opostos aos observados em eventos mais intensos. Nos meses em que as condições de precipitação não seguirem o esperado, serão realizadas análises para investigar a influência de outras teleconexões na região.

Quanto aos dados de ENOS, serão utilizados os dados da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), obtidos em 2024, utilizando dados do Ocean Niño Index (ONI, Índice Oceanico- Niño em português). Este índice é obtido a partir de anomalias médias de TSM (temperatura da superfície do mar) na região 3.4 do El Niño-Oscilação Sul (NOAA,2024b). Caracterizam-se os eventos ENOS por índices como o Índice de Oscilação Sul (IOS) e o Índice Niño (Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4, ilustrados na figura 2). O primeiro é obtido através da diferença de pressão atmosférica na superfície entre o Taiti (no Pacífico) e Darwin (na Austrália), onde índices negativos menores que -0,7 indicam o estabelecimento de um El Niño e positivos, maiores que +0,7 de uma La Niña. Segundo o Índice Niño, utilizado pela NOAA para determinar a ocorrência de anomalias de TSM na região 3.4, uma anomalia de TSM (Temperatura da Superfície do Mar) positiva indica o estabelecimento do El Niño, enquanto uma anomalia de TSM negativa aponta para a presença de La Niña. Nesse contexto, o critério para classificar a intensidade de eventos ENOS é baseada em um período que ultrapassou o limite crítico da TSM (5 trimestres consecutivos), sendo classificados, segundo NULL

(2023) em: fraco (anomalia da TSM entre $+0,5^{\circ}\text{C}$ e $+0,9^{\circ}\text{C}$), moderado (anomalia da TSM entre $+1^{\circ}\text{C}$ e $+1,4^{\circ}\text{C}$), forte (anomalia da TSM entre $+1,5^{\circ}\text{C}$ e $+1,9^{\circ}\text{C}$) e muito forte (anomalia da TSM maior que $+2^{\circ}\text{C}$). Para La Niña: fraca ($-0,5^{\circ}\text{C}$ a $-0,9^{\circ}\text{C}$), moderado ($-1,0^{\circ}\text{C}$ a $-1,4^{\circ}\text{C}$) e forte ($-1,5^{\circ}\text{C}$ a -2°C).

Figura 2: Regiões do Niño.



Fonte: National Weather Service, NOAA, 2024c

Serão utilizados os critérios de classificação de eventos de El Niño e La Niña de acordo com Null, 2023. Para que um evento seja classificado como fraco, moderado, forte ou muito forte (este caso no El Niño), deve ter igualado ou excedido o limiar da categoria mais elevada durante pelo menos 3 períodos consecutivos de 3 meses sobrepostos. Tendo a série histórica de 2000-2024, podemos realizar a análise dos impactos de um evento de El Niño por categoria (fracos, moderados, fortes e muito fortes) e um de La Niña (fraco, moderado e forte). Considerando que segundo CPTEC (2024), os impactos de eventos ENOS no sul do país são mais perceptíveis durante a primavera austral, assim como para Matzenauer, Radin e Maluf (2018), que ao analisarem séries históricas de 1961 a 2010 em 28 estações meteorológicas do estado, identificaram aumentos significativos de precipitação em eventos de El Niño, sobretudo na primavera, enquanto episódios de La Niña estiveram associados a reduções expressivas nesse mesmo período.

Para meses que apresentaram dados atípicos foram analisadas possíveis influências de outras teleconexões no regime de precipitação. Teleconexão, em climatologia, refere-se à associação entre anomalias climáticas locais e forçantes remotas, decorrente da interação entre o oceano e a atmosfera. Nesse contexto, a atmosfera atua como uma ponte conectando diferentes partes dos oceanos, enquanto

os oceanos funcionam como um canal que acopla distintas regiões da atmosfera. As teleconexões resultam da propagação de ondas e do transporte de energia tanto na atmosfera quanto nos oceanos (Liu e Alexander, 2007).

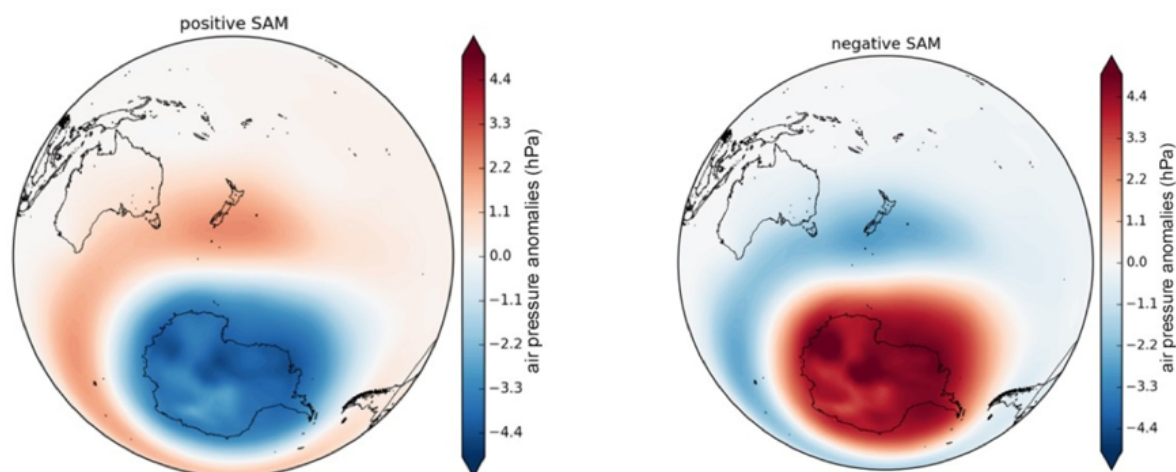
Embora os estudos sobre padrões de teleconexão tenham começado com as pesquisas sobre a Oscilação Sul (OS), o termo "teleconexão" foi usado pela primeira vez ao se referir ao dipolo de pressão atmosférica entre os Açores e a Islândia, conhecido atualmente como Oscilação do Atlântico Norte (Cavalcanti e Ambrizzi, 2009).

Foram analisadas as influências de teleconexões como a Oscilação Antártica (AAO, Antarctic Oscillation), a Oscilação Decadal do Pacífico e o Atlântico Sul Tropical, que têm impacto direto sobre o clima do sul do Brasil (Reboita et al., 2021). Os dados dessas teleconexões foram obtidos junto à NOAA, em 2024.

O Modo Anular Sul (SAM, *Southern Annular Mode*), também conhecido como Oscilação Antártica, é um dos principais padrões climáticos modulados pelo ENOS (El Niño-Oscilação Sul), representando uma das variabilidades dominantes na circulação extratropical do hemisfério sul (Cardozo, Reboita e Garcia, 2015). A AAO é definida por um padrão dipolar, com perturbações de altura geopotencial entre 45°S e a Antártica, que reflete a troca de massa e energia entre latitudes médias e altas. Esse padrão ocorre ao longo de todo o ano, mas é mais intenso durante o inverno austral (Thompson, Wallace e Hegerl, 2000b).

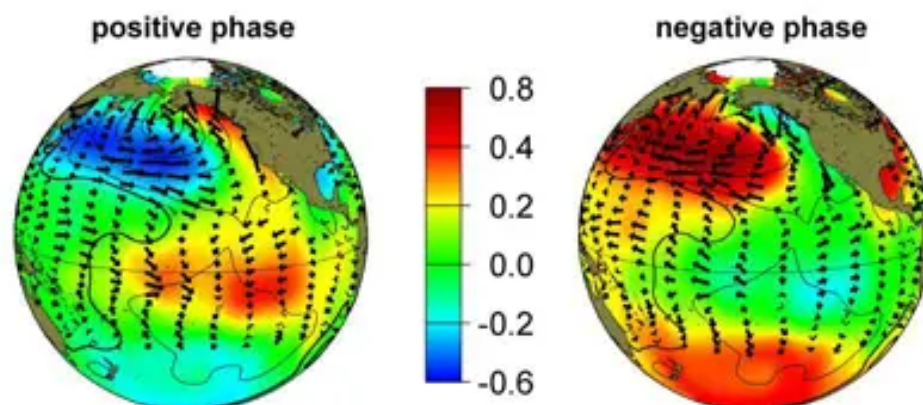
Nas fases positivas e negativas da AAO, conforme ilustra a figura 3 observa-se uma redistribuição dos ciclones: na fase positiva, os ciclones se concentram ao redor da Antártica, enquanto na fase negativa eles migram para latitudes médias, em torno de 45°S. Essa redistribuição afeta o sudeste da América do Sul, incluindo o sul do Brasil. Durante a fase negativa, a maior presença de ciclones em latitudes médias intensifica a formação de frentes frias, contribuindo para variações na precipitação regional (Reboita et al., 2009a, 2009b).

Na imagem a seguir, temos a representação de um evento positivo e de um negativo. O gradiente de cores vai desde anomalias de pressão mais baixas que a média em azul até acima da média em cores quentes.

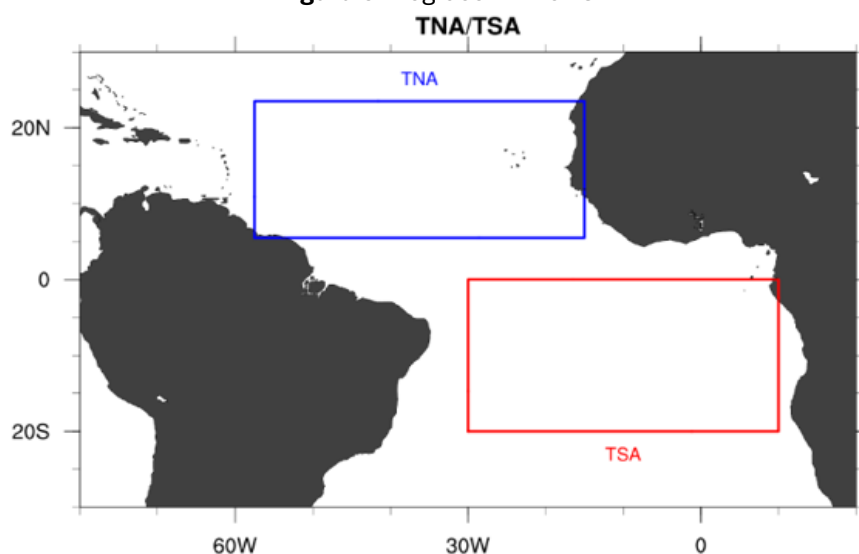
Figura 3: Modo Anular Sul/Oscilação Antártica**Fonte:** NIWA, 2024

A Oscilação Decadal do Pacífico (PDO, Pacific Decadal Oscillation) é uma variabilidade climática de longo prazo que afeta as temperaturas da superfície do mar (TSM) no Pacífico Norte, apresentando anomalias opostas em diferentes regiões desse oceano. A PDO possui duas fases principais: quente e fria. Na fase quente, observam-se anomalias positivas de TSM no Pacífico oriental e anomalias negativas no Pacífico Norte central e ocidental; na fase fria, esse padrão se inverte, indicado na figura 4. A fase quente da PDO está associada à intensificação da célula de baixa pressão das Aleutas e a anomalias de alta pressão sobre o oeste da América do Norte (Deser et al., 2004, apud Reboita et al., 2021).

No contexto da América do Sul, especialmente durante períodos de neutralidade do ENOS, a fase fria da PDO, durante a primavera austral, tende a estar relacionada a secas em uma faixa que se estende do noroeste ao sudeste do Brasil. Por outro lado, a fase quente da PDO pode resultar em anomalias positivas de precipitação, embora essas correlações não sejam estatisticamente significativas (Reboita et al., 2021).

Figura 4: Mapa com as anomalias da Oscilação Decadal do Pacífico**Fonte:** NASA,2024.

O *Tropical Southern Atlantic Index* (TSA) é um indicador da variação das temperaturas da superfície do mar (TSM) no Atlântico Sul tropical, entre 20°S e 0° de latitude e 30°O e 10°L de longitude, definido por Enfield et al. (1999). Suas anomalias, positivas (quentes) ou negativas (frias), influenciam o clima regional. O TSA apresenta relação dipolar com o *Tropical North Atlantic Index* (TNA), que mede a TSM no Atlântico tropical norte: anomalias positivas no TNA correspondem a negativas no TSA e vice-versa. A fase positiva do TSA, com anomalias quentes no Atlântico Sul, aumenta a umidade em áreas como o norte e leste do Nordeste brasileiro, a Amazônia oriental, o extremo sul do Rio Grande do Sul, o Uruguai e partes da Argentina. Já a fase negativa, com anomalias frias, está associada a secas nessas regiões (Reboita et al., 2021).

Figura 5: Regiões TNA e TSA**Fonte:** WMO Lead Center,2024.

3. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo analisar a precipitação média sob diferentes intensidades dos fenômenos El Niño e La Niña no Canal São Gonçalo e suas áreas adjacentes. Para isso, serão utilizados dados da estação meteorológica convencional de Pelotas, que está próxima à área de estudo. A pesquisa busca compreender como as variações nas características dos eventos de El Niño e La Niña influenciam as respostas atmosféricas e os padrões de precipitação na região sul do Brasil. Além disso, serão realizadas análises para investigar a influência de outras teleconexões na região nos meses em que as condições de precipitação não seguirem os padrões esperados. O estudo visa contribuir para a compreensão dos impactos climáticos na dinâmica hídrica local e na gestão dos recursos naturais.

4. METODOLOGIA

Foram utilizados dados da Estação Meteorológica Convencional de Pelotas, localizada na latitude 31,78° S e longitude 52,41° O. A estação foi escolhida devido a sua maior proximidade com o canal em comparação a outras estações (INMET, 2023).

Serão utilizados os dados de ENOS disponibilizados pela NOAA em 2024, com base no Ocean Niño Index (ONI). Esse índice é obtido a partir de anomalias médias de TSM na região 3.4 do El Niño-Oscilação Sul (NOAA, 2024b). Para a classificação dos eventos de El Niño e La Niña, foram adotados os critérios estabelecidos por Null (2023). Com a série histórica de 2000-2024, será realizada a análise dos impactos de eventos El Niño, por categoria (fracos, moderados, fortes e muito fortes), e La Niña (fracos, moderados e fortes). A escolha desse recorte temporal deve-se à disponibilidade contínua de dados meteorológicos na estação de Pelotas e à ocorrência de episódios relevantes de ENOS nesse intervalo, o que garante uma base comparativa consistente. A relação entre os eventos climáticos e a precipitação foi avaliada de forma descritiva, a partir da comparação dos volumes mensais e sazonais registrados durante episódios de ENOS com os valores climatológicos médios da normal 1991–2020 do INMET (2024b). Além disso, foram consultados índices de teleconexões adicionais (SAM, PDO e TSA, obtidos através de NOAA, 2024d), com o objetivo de identificar possíveis fatores moduladores em anos que apresentaram desvios do padrão esperado. Para quantificar a

associação linear entre a precipitação mensal e as anomalias das teleconexões, foi calculado o coeficiente de Correlação de Pearson (r). Este método estatístico mede a força e a direção de uma relação linear entre duas variáveis, com valores que variam de -1 (correlação negativa perfeita) a +1 (correlação positiva perfeita), onde 0 indica ausência de correlação linear. A fórmula usada foi:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

onde X_i e Y_i são os valores mensais de precipitação e das anomalias, $\bar{x}$ e $\bar{y}$. Esta análise foi aplicada para correlacionar os volumes de precipitação (mm) com os índices AAO, PDO e TSA para o conjunto de dados total da primavera (setembro, outubro e novembro) e, de forma segmentada, para cada mês individualmente ($n=7$ para cada mês), buscando aprofundar a compreensão qualitativa com uma medida quantitativa da influência dessas forçantes remotas.

5. RESULTADOS

Foram selecionados para análise os seguintes eventos de El Niño de acordo com sua intensidade: 2018/19; 2002/03; 2023/24 e 2015/16. Já os eventos de La Niña selecionados foram os seguintes: 2016/17; 2021/23 e 2010/11. A seguir, na tabela 1 serão retratados primeiramente os volumes de precipitação dos meses de setembro, outubro e novembro de eventos de El Niño do mais fraco ao mais forte, e posteriormente, os eventos de La Niña, seguindo a mesma lógica. Os anos selecionados correspondem a eventos de ENOS classificados pela NOAA (2024b) e Null (2023) em diferentes intensidades, o que possibilita comparar os padrões pluviométricos sob distintas condições do fenômeno. A análise concentrou-se em identificar diferenças nos totais de precipitação durante a primavera austral, especialmente em novembro, em relação à climatologia de referência (1991–2020), ressaltando ainda a influência de teleconexões adicionais nos casos em que os valores observados destoaram do esperado.

Tabela 1: Eventos de El Niño e La Niña classificados de acordo com sua intensidade e volume de precipitação(mm) dos meses de setembro, outubro e novembro de cada ano.

Ano	Fenômeno	Intensidade	Precipitação setembro (mm)	Precipitação outubro (mm)	Precipitação novembro (mm)
2002	El Niño	Moderado	179,2	193,1	118
2010	La Niña	Forte	139,3	33,3	70,1
2015	El Niño	Muito Forte	252,6	199,1	158,8
2016	La Niña	Fraca	85	111,9	111,9
2018	El Niño	Fraco	227,7	177,3	52,9
2022	La Niña	Moderada	50,1	107,4	39,4
2023	El Niño	Forte	462,4	58,3	101,4

Fontes: NOAA(2024b), Null(2023) e INMET(2024a).

Tabela 2: Dados de AAO, PDO e TSA

Ano	Mês	AAO	PDO	TSA
2002	Setembro	-0.864	-0.21	-0.08
	Outubro	-2.564	-0.20	0.14
	Novembro	-0.924	1.08	-0.07
2010	Setembro	0.402	-2.45	0.23
	Outubro	1.335	-1.60	0.43
	Novembro	1.516	-1.57	0.40
2015	Setembro	0.542	0.97	-0.04
	Outubro	-0.170	0.84	0.28
	Novembro	0.695	0.17	0.37
2016	Setembro	2.333	-0.80	0.26
	Outubro	-0.177	-0.43	0.46
	Novembro	-1.508	0.96	0.28
2018	Setembro	1.458	-0.35	0.36
	Outubro	0.530	-0.58	0.53
	Novembro	0.991	-0.70	0.39
2022	Setembro	1.469	-2.29	0.35
	Outubro	0.330	-1.81	0.52
	Novembro	1.713	-2.41	0.51
2023	Setembro	-1.050	-2.99	0.40
	Outubro	0.535	-2.23	0.41
	Novembro	0.97	-1.79	0.91

Fonte: NOAA,2024d

A análise da relação entre a precipitação e as teleconexões para os meses de primavera dos anos selecionados revelou associações quantificáveis. O cálculo do coeficiente de Correlação de Pearson para o conjunto total de dados da primavera ($n=21$) resultou nos seguintes valores:

- **Precipitação vs. AAO:** $r = -0.19$ (correlação negativa muito fraca)
- **Precipitação vs. PDO:** $r = -0.13$ (correlação negativa muito fraca)
- **Precipitação vs. TSA:** $r = -0.05$ (correlação praticamente nula)

As correlações de Pearson, calculadas de forma isolada para cada mês da primavera ($n=7$ para cada mês), são apresentadas na Tabela 3:

Tabela 3: correlação entre precipitação e teleconexões nos meses de setembro, outubro e novembro

Mês	AAO	PDO	TSA
Setembro	-0.37	-0.42	0.23
Outubro	-0.63	-0.31	0.20
Novembro	-0.58	0.12	0.08

Fonte: Elaborado por Nunes, Barcellos, Sato(2025).

Esses resultados mensais indicam que a AAO e a PDO exercem uma influência negativa mais notável sobre a precipitação em setembro, outubro e novembro, com a AAO apresentando correlações negativas moderadas a fortes nestes meses. Isso sugere que fases negativas da AAO tendem a estar associadas a maior precipitação, enquanto fases positivas se relacionam a menor chuva. A PDO também mostra uma correlação negativa em setembro e outubro, mas sua influência em novembro é quase nula e ligeiramente positiva. O TSA, por sua vez, apresenta correlações consistentemente muito fracas e positivas, indicando uma menor influência direta sobre a variabilidade da precipitação durante a primavera. TSA esteve em níveis neutros no período, sem impacto direto.

A primavera de 2002, sob El Niño Moderado, teve precipitação consistentemente acima da média. A Oscilação Antártica fortemente negativa em setembro e outubro potencializou as chuvas, conforme a correlação negativa ($r=-0.63$ para outubro). Em novembro, a continuidade da AAO negativa e uma PDO positiva também sustentaram anomalias positivas de chuva. TSA esteve em níveis neutros no período, sem impacto direto.

Setembro de 2010 apresentou chuva atípica (acima da média) para uma La Niña Forte, apesar da AAO positiva e PDO fortemente negativa, possivelmente atribuído a outros fatores. Contudo, outubro e novembro foram secos, conforme esperado. A forte fase positiva da AAO e PDO negativa atuaram em sinergia com a La Niña, inibindo as chuvas e sendo consistente com as correlações negativas da AAO.

As chuvas volumosas em setembro e outubro de 2015 refletiram o El Niño de intensidade Muito Forte. Em setembro, a forte influência do El Niño e uma PDO positiva superaram a AAO positiva, que por si só tenderia a reduzir a precipitação. Em novembro, apesar da AAO ainda positiva, e PDO neutro, o El Niño prevaleceu, mantendo as chuvas acima da média.

Outubro e novembro de 2016, sob La Niña fraca, teve chuva ligeiramente acima da média, contrariando o padrão que favorece a seca. Essa anomalia é atribuída à forte inversão da AAO para fase negativa, que promove a formação de chuvas, e a uma PDO positiva (0.96) no caso de novembro. A correlação negativa da AAO é bem ilustrada aqui.

Setembro e outubro de 2018 foram mais chuvosos, sob um El Niño Fraco. No entanto, novembro registrou seca. Esta anomalia seca de novembro coincide com uma AAO positiva e PDO negativa que, em conjunto, suprimiram os efeitos do El Niño fraco, conforme as correlações negativas dessas teleconexões.

A primavera de 2022, sob La Niña Moderada, foi predominantemente seca, especialmente em setembro e novembro. Este padrão é consistente com a forte fase positiva da AAO e PDO intensamente negativa, que reforçaram as condições de seca. As correlações negativas da AAO são fortemente evidenciadas por este período de AAO positiva e chuvas escassas.

Setembro de 2023 foi excepcionalmente chuvoso (462,4 mm) devido a um El Niño Forte potencializado por uma AAO negativa. Contudo, outubro e novembro tiveram chuvas abaixo e na média, respectivamente. A mudança para uma AAO positiva em outubro e novembro parece ter sido o fator-chave para modular e inibir as chuvas, ilustrando como teleconexões de alta frequência como a AAO podem modular os efeitos de eventos ENOS mesmo fortes, em linha com a forte correlação negativa da AAO em outubro ($r=-0.63$).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A precipitação no Canal São Gonçalo é influenciada pelo El Niño e La Niña, mas de forma modulada principalmente pela Oscilação Antártica (AAO) e Oscilação Decadal do Pacífico (PDO), enquanto episódios de El Niño classificados como moderados a fortes geralmente aumentam as chuvas (favorecendo a agricultura, mas elevando riscos de enchentes), fases positivas da AAO podem atenuar ou reverter esse efeito. Episódios de La Niña, por outro lado, tendem a reduzir a precipitação, um efeito que é frequentemente intensificado por AAO positiva e PDO negativa. As correlações de Pearson destacaram a significativa influência negativa da AAO na precipitação de outubro e novembro, e da PDO em setembro, enquanto o TSA apresentou correlações muito fracas, ressaltando a complexidade da interação desses sistemas. Estudos futuros poderão ampliar a rede de observações, aplicar técnicas estatísticas mais avançadas para correlacionar índices climáticos ao regime pluviométrico mês a mês, e explorar previsões sazonais mais integradas para apoiar decisões agrícolas e políticas públicas.

Para o setor agrícola, isso significa que práticas de manejo e planejamento da safra devem incorporar a previsão e classificação desses eventos: culturas suscetíveis ao excesso de umidade (como arroz ou hortaliças) requerem atenção aumentada a drenagem e escolha de variedades mais tolerantes; além disso, o calendário de plantio pode ser adaptado para evitar danos causados por chuvas intensas. Na esfera ambiental, há necessidade de fortalecer medidas de controle de erosão, drenagem urbana e manejo de áreas de risco, visto que o aumento das chuvas pode agravar enchentes e comprometimento de bacias hidrográficas.

7. REFERÊNCIAS

- BOEIRA, L. S.; GONÇALVES, G.M. S; BARTELS, G.K. SILVEIRA, J. F; COLLARES, G.L .Influência do Fenômeno El Niño Oscilação Sul no cultivo de arroz irrigado na bacia hidrográfica Mirim- São Gonçalo. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial –Sul, v. 1, n. 2, p. 344-356, jul. 2021.
- CARDOZO, A. B.; REBOITA, M. S.; GARCIA, S. R. Climatologia de Frentes Frias na América do Sul e sua relação com o Modo Anular do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 17, p. 9 -26, 2015.

CAVALCANTI, I. F. A.; AMBRIZZI, T. Teleneconexões e suas Influências no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 316 – 335.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. **El Niño e La Niña**. São Paulo. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>> Acesso em: 24 mar. 2024.

ENFIELD, D. B.; MESTAS-NUÑEZ, A. M.; MAYER, D. A. How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic sea surface temperatures? **Geophysical Research Letters**. v. 26, n. 6, p. 7841–7848, 1999.

IORESE, C. H. U. (2021). Dinâmica do uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Fruteiras, Estado do Espírito Santo, Brasil. **Labor E Engenharia**, Campinas, v. 15. p. 1-12, 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados de chuva acumulada mensal**. Brasília, DF: INMET, 2024a.. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A802>. Acesso em: 25 mar. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Brasília, DF: INMET, 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 16 nov. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. INMET. **Normais climatológicas do Brasil**. Brasília, DF: INMET, 2024b. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>. Acesso em: 24 mar. 2024.

JET PROPULSION LABORATORY. **Pacific Decadal Oscillation (PDO)**. NASA, 2024. Disponível em: <https://sealevel.jpl.nasa.gov/data/el-nino-la-nina-watch-and-pdo/pacific-decadal-oscillation-pdo/>. Acesso em: 10 dez. 2024.

LIU, Z.; ALEXANDER, M. Atmospheric bridge, oceanic tunnel, and global climatic teleconnections. **Reviews of Geophysics**. v. 45, n. 2, p. 1-34, jun. 2007. DOI: 10.1029/2005RG000172.

MAPBIOMAS. **Coleção MapBiomas**. 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org>. Acesso em: 10 dez. 2024.

MATZENAUER, R.; RADIN, B.; MALUF, J. R. T. O fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. **Agrometeoros**, v. 26, n. 1, p. 171-181, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/198541/1/AGROMETEOROS-v26-n1-p171-181-2018.pdf>. Acesso em: 20 set. 2025.

NATIONAL INSTITUTE OF WATER AND ATMOSPHERIC RESEARCH. **Southern Annular Mode**. Wellington: NIWA, 2024. Disponível em: <https://niwa.co.nz/climate-and-weather/southern-annular-mode>. Acesso em: 10 dez. 2024.

NOAA. **National Oceanic and Atmospheric Administration**. National Ocean Service. What are El Niño e La Niña. NOAA, 2024a. Disponível em: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/ninonina.html> . Acesso em 08 abr. 2024.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. Climate Prediction Center. **Cold and Warm episodes by season**. NOAA, 2024b. Disponível em:

https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 25 mar. 2024.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. Climate Prediction Center. **El Niño regions**. NOAA, 2024c. Disponível em: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/nino_regions.shtml. Acesso em: 9 dez. 2024.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. Physical Sciences Laboratory. **Climate Indices**: Monthly Atmospheric and Ocean Time Series. NOAA, 2024d. Disponível em: <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>. Acesso em: 30 set. 2024.

NULL, J. **El Niño and La Niña Years and Intensities**.: Golden Gate Weather Services, 2023. Disponível em: <https://ggweather.com/enso/oni.htm>. Acesso em: 25 mar. 2024.

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

REBOITA, M. S. *et al.* Southern Annular Mode Impacts in South America. *In*: EGU GENERAL ASSEMBLY, 11., 2009, Viena. **Geophysical Research Abstracts** [...]. Viena: EGU, 2009b. v. 11.

REBOITA, M.S. *et al.* Impacts of teleconnection patterns on South America climate. **Annals of the New York Academy of Sciences**, p. 1-38, 2021. doi: 10.1111/nyas.14592

RODRIGUES, R. R.; HAARSMA, R. J.; CAMPOS, E. J. D.; AMBRIZZI, T. The impacts of inter-El Niño variability on the tropical Atlantic and Northeast Brazil climate. **Journal of Climate**, v. 24, p. 3421-3435, 2011.

SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 8, p. 829-837, ago. 2010.

SCHOBER, Patrick; BOER, Christa; SCHWARTE, Lothar A. **Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. Anesthesia & Analgesia**, v. 126, n. 5, p. 1763-1768, 2018.

SIMON, A. L. H.; SILVA, P. F. Análise geomorfológica da planície lagunar sob influência do canal São Gonçalo – Rio Grande do Sul – Brasil. **Geociências**, São Paulo, v. 34, n. 4, p. 749-767, 2015.

THOMPSON, D. W. J.; WALLACE, J. M.; HEGERL, G. C. Annular modes in extratropical circulation. Part II: Trends. **Journal of Climate**, Boston. v. 13, n. 21, p. 1018-1036, 2000b.

TOMAZELLI, L. J.; VILWOCK, J. A. Mapeamento geológico de planícies costeiras: o exemplo da costa do Rio Grande do Sul. **Gravel**, Porto Alegre, v. 3, p. 109-115, 2005.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Lead Centre For Long Range Forecast Multi Model Ensemble. **Climate indices**. Geneva: WMO, 2024. Disponível em: <https://www.wmolc.org/contents/index/ClimateIndices>. Acesso em: 10 dez. 2024.

ANALYSIS OF THE IMPACTS OF PRECIPITATION REGIMES ON DIFFERENT EL NIÑO AND LA NIÑA EVENTS IN THE SÃO GONÇALO CHANNEL, RS

ABSTRACT

This study analyzes the impacts of El Niño and La Niña events on precipitation in the São Gonçalo Channel region of Rio Grande do Sul, using data from 2000 to 2024 from the Pelotas meteorological station. The research evaluates how different intensities of these events influence rainfall patterns, focusing on the austral spring. The methodology included the analysis of rainfall data and their correlation with the El Niño-Southern Oscillation (ENSO), Antarctic Oscillation (AAO), Pacific Decadal Oscillation (PDO), and Tropical South Atlantic (TSA) indices. The results indicate that El Niño events, especially those of moderate to very strong intensity, are associated with above-average rainfall, as in 2015/16 and 2023/24, especially when combined with a positive PDO and negative AAO. In contrast, La Niña tends to cause dry periods, an effect intensified by the positive AAO and negative PDO phases. The study concludes that, although El Niño and La Niña are influential, the AAO acts as a crucial modulator, potentially attenuating or intensifying expected rainfall patterns.

Keywords: El Niño; La Niña; Precipitation; São Gonçalo Canal

ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS DE LOS REGÍMENES DE PRECIPITACIÓN EN DIFERENTES EVENTOS DE EL NIÑO Y LA NIÑA EN EL CANAL DE SÃO GONÇALO, RS

RESUMEN

Este estudio analiza los impactos de los eventos de El Niño y La Niña en la precipitación en la región del Canal de São Gonçalo, Rio Grande do Sul, utilizando datos de la estación meteorológica de Pelotas de 2000 a 2024. La investigación evalúa cómo las diferentes intensidades de estos eventos influyen en los patrones de lluvia, con especial atención a la primavera austral. La metodología incluyó el análisis de los datos de lluvia y su correlación con los índices de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), Oscilación Antártica (AAO), Oscilación Decenal del Pacífico (ODP) y Atlántico Sur Tropical (TSA). Los resultados indican que los eventos de El Niño, especialmente aquellos de intensidad moderada a muy fuerte, se asocian con precipitaciones superiores a la media, como en 2015/16 y 2023/24, especialmente cuando se combinan con una PDO positiva y una AAO negativa. Por el contrario, La Niña tiende a causar períodos secos, un efecto que se intensifica con las fases de PDO positiva y negativa. El estudio concluye que, si bien El Niño y La Niña son influyentes, la AAO actúa como un modulador crucial, pudiendo atenuar o intensificar los patrones de lluvia previstos.

Palabras clave: El Niño; La Niña; Precipitación; Canal de São Gonçalo

Recebido em: 27/07/2025

Aceito em: 19/09/2025