



CORRELAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA NA CIDADE DE PELOTAS ENTRE O ANO DE 2020 E ANOS SIMILARES

Correlation of the daily average temperature in the city of Pelotas among the year 2020 and similar years

Correlación de la temperatura média diária en la ciudad de Pelotas entre el año de 2020 y años similares

Wiliam Morales  

Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas (UFPEL)

wiliammorales@gmail.com

Resumo: As estiagens na cidade de Pelotas têm se tornado frequentes nos recentes anos, causando impactos consideráveis na agricultura e submetendo a população ao racionamento de água. A última estiagem severa ocorreu entre 2019/2020 durante o período de neutralidade do fenômeno El Niño Oscilação Sul(ENOS), sendo considerado um evento anormal para uma cidade de clima subtropical úmido(Cfa) que, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger(1900), se caracteriza por verões quentes/úmidos e invernos frios/úmidos. Logo, o objetivo do estudo foi investigar a correlação entre 2020 com anos onde foram observados períodos semelhantes, utilizando os dados coletados entre 1999 e 2020 na Estação Agroclimatológica de Pelotas – UFPEL. Os resultados mostraram que 2020 esteve correlacionada com 2009, 2011 e 2019. O período de estiagem 2019/2020 fez com que os níveis de armazenamento de água na Barragem Santa Bárbara caíssem a níveis baixíssimos, alcançando 4m de profundidade. O término da estiagem ocorreu em função de um evento atmosférico que repôs quase 2m de água no reservatório em um único dia, sendo possível retomar os níveis normais gradativamente. O estudo ainda sugere que Pelotas é propensa a períodos de estiagem mesmo na fase neutra do ENOS, sendo importante para compreender melhor o clima local e oferecer recursos para tomar medidas para mitigar a escassez de água.

Palavras-chave: Correlação de Pearson. Barragem Santa Bárbara. Estiagem.

Abstract: In recent years, the city of Pelotas has grappled with frequent droughts, causing significant impacts on agriculture and forcing the population to contend with water rationing. The latest severe drought occurred between 2019 and 2020, during the neutral phase of the El Niño-Southern Oscillation(ENSO) phenomenon, an occurrence considered unusual for a city with a humid subtropical climate(Cfa). This type of climate is know for its hot and humid summers and cold wet and winters, according to the Köppen-Geiger climate classification(1900). Against the backdrop, the study aimed to unravel the connection between the year 2020 and years with similar patterns. It were used data collected between 1999 and 2020 at the Agroclimatology Station of Pelotas – UFPEL. The findings

pointed to a correlation between the year 2020 and the years 2009, 2011, 2019. During the drought period of 2019/2020, water storage levels in the Santa Bárbara Dam plummeted to extremely low levels, reaching a depth of 4 meters. The end of drought was facilitated by an atmospheric event that replenished nearly 2 meters of water in the reservoir in the single day allowing for a gradual return to normal levels. The study also suggests that Pelotas is susceptible to drought periods even during the neutral phase of ENSO. This understanding is crucial for implementing measures that assist in alleviating water scarcity and dealing more effectively with the local climate.

Keywords: Pearson Correlation. Santa Bárbara Dam. Drought.

Resumen: Las sequías en la ciudad de Pelotas se han vuelto frecuentes en los años recientes, causando impactos considerables en la agricultura y sometiendo la población al racionamiento del agua. La última sequía severa ocurrió entre 2019/2020 durante el periodo de neutralidad del fenómeno El Niño Oscilación Sur(ENOS), siendo considerado un evento anormal para una ciudad de clima subtropical húmedo(Cfa) que, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen-Geiger(1900), se caracteriza por veranos calientes/húmedos y inviernos fríos/húmedos. Por lo tanto, el objetivo del estudio fue investigar la correlación entre 2020 con años donde se observaron períodos similares, utilizando los datos recopilados entre 1999 y 2020 en la Estación Agroclimatológica de Pelotas – UFPEL. Los resultados muestran que 2020 fue correlacionada con 2009, 2011 y 2019. El período de sequía 2019/2020 hizo con que los niveles de almacenamiento de agua en la Presa Santa Bárbara caer a niveles muy bajos, alcanzando 4m de profundidad. El fin de la sequía ocurrió en función de un evento atmosférico que reemplazó casi 2m de agua en el reservorio en un solo día, siendo posible retomar los niveles normales gradualmente. El estudio también sugiere que Pelotas es propensa a períodos de sequía mismo en la fase neutral del ENOS, siendo importante para comprender mejor el clima local y ofrecer recursos para tomar medidas para escasez de agua.

Palabras clave: Correlación de Pearson. Presa Santa Bárbara. Sequía.

Submetido em: 01/03/2023

Aceito para publicação em: 09/02/2024

Publicado em: 28/02/2024

1. INTRODUÇÃO

A seca é uma ameaça natural na medida em que ocorre de forma intensiva e extensiva em áreas densamente povoadas, podendo resultar em desastre quando as capacidades locais são insuficientes para evitar danos significativos. O risco de um desastre associado à seca está relacionado com a ameaça física, as vulnerabilidades locais, a capacidade de resposta e com políticas de mitigação (CUNHA *et al.*, 2019).

Seca é um perigo natural complexo que impacta o ecossistema e as atividades humanas de muitas maneiras, principalmente associada com impactos hidrológicos. Secas hidrológicas podem ser definidas com fluxo baixo, baixos níveis afluentes e disponibilidade reduzida do lençol freático (VAN LOON, 2015; DEUSDARÁ-LEAL, 2020).

Na literatura, a seca é definida de quatro formas distintas: seca meteorológica, seca agrícola, seca hidrológica e seca socioeconômica. Conforme Wilhite (2000) a seca meteorológica é definida como resultado de um déficit de precipitação quando o valor da chuva acumulado em um período e em uma área se encontra significativamente abaixo do valor climatológico esperado. Já a seca agrícola, segundo Cunha *et al.* (2019), é o resultado da deficiência hídrica no solo e consequente estresse hídrico das plantas provocando redução na produção de biomassa. Em geral, a agricultura é o primeiro setor a ser impactado pela seca, uma vez que a umidade do solo é a primeira componente do sistema hidrológico a ser afetada. A seca hidrológica, de acordo com Cunha *et al.* (2019), está relacionada com a redução dos níveis médios de água em reservatórios de superfície e subterrâneos por um determinado período de tempo, podendo variar da escala de meses ou até mesmo de anos. Por último, a seca socioeconômica, que segundo Maia *et al.* (2015), está relacionada com o impacto da seca sobre atividades humanas, incluindo os impactos diretos e indiretos na produção agrícola, disponibilidade de água para o consumo humano, geração de energia e outras atividades econômicas.

Períodos de secas prolongadas são mais comuns na Região Nordeste do Brasil, no entanto, nos últimos anos, as regiões Centro-Oeste e Sudeste têm experimentado secas impactantes. Durante a seca de 2014-2015 no sudeste do Brasil, Nobre *et al.* (2016) observaram que as causas meteorológicas da seca estavam ligadas às mudanças na circulação regional, caracterizada por uma alta de bloqueio na média troposfera que durou 45 dias no verão de 2014, agravando a crise hídrica devido à ausência de precipitação e altas

temperaturas, sendo considerada a mais quente e mais seco sobre o reservatório do sistema Cantareira.

Secas prolongadas e tempo quente e conseqüentemente disponibilidade de água abaixo do normal tem desafiado o Nordeste do Brasil, mas na última década o Sudeste tem também experimentado condições similares. Entre 2014 e 2016, as regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil experimentaram secas hidrológicas sem precedentes (NOBRE *et al.*, 2016; COELHO *et al.*, 2016; COELHO *et al.*, 2016, DEUSDARÁ-LEAL,2020).

Devido ao problema das secas se tornarem mais corriqueiras na última década por todas regiões do Brasil, alguns autores têm proposto métodos de mitigação de secas. Cunha *et al.* (2019) propôs a consolidação de um sistema de alerta de risco de desastres associados às secas no Brasil, atribuindo responsabilidades entre as instituições envolvidas com a finalidade de guiar ações para mitigação dos riscos. Deusdará-Leal *et al.* (2020) usaram um modelo hidrológico para avaliar o nível de armazenamento do sistema Cantareira assumindo que as políticas de mitigação de impactos de crise hídrica fossem implementadas antes da crise hídrica na região metropolitana de São Paulo (2014-2016). Segundo os autores, os impactos dinâmicos do nível de armazenamento foram avaliados em 4 cenários de políticas de mitigação. Os resultados mostraram que o volume de bombeamento somente seria necessário durante um período curto e considerando a relocação de água, a extração do volume de bombeamento não teria sido necessária, embora o volume de bombeamento ainda teria sido extraído durante um período curto, o impacto da escassez de água teria sido diminuído se as políticas tivessem sido implementadas antes da crise.

No Sul do Brasil, o Rio Grande do Sul é o estado que tem um regime de precipitação bem definido ao longo do ano e não sofre com secas crônicas como acontece na região do Nordeste Brasileiro por causa da passagem de ciclones que garantem as chuvas, porém períodos de secas também ocorrem no estado gaúcho, apesar de poucos trabalhos abordarem esse tema. Segundo Teixeira *et al.* (2013) a seca pode ocorrer em qualquer região sem diferenciação de clima, pois mesmo em um clima com características predominantemente úmidas esse fenômeno pode se manifestar.

Embora haja registro dos impactos das secas na Região Sul do Brasil, ainda são poucos os estudos que avaliam os eventos, em especial associados aos seus potenciais impactos nos

diferentes setores e nos três estados da região. A região desempenha um papel de destaque na produção agrícola do Brasil (FERNANDES *et al.*, 2021).

Um tipo de evento severo bastante comum no Rio Grande do Sul, principalmente no período primavera-verão, é a estiagem, frequentemente relacionadas com o fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS), na sua fase fria, La Niña (BERGAMASCHI, 2004; GOERL *et al.*, 2009; JACÓBSEN, 2004; NEDEL *et al.*, 2012; BRAZ, 2017).

No Rio Grande do Sul, a estiagem é um fenômeno mais comum em períodos de La Niña, enquanto em períodos de El Niño, observam-se chuvas acima do normal, situações distintas onde ambos fenômenos impactam a economia do Estado.

O sul do Brasil é densamente povoado e concentra grande atividade econômica, agricultura moderna e intensa geração de energia hidrelétrica. As inundações e estiagens associadas com esses episódios têm tido significante consequências econômicas e sociais. Por isso, a previsão de longo prazo de anomalia de precipitação associadas com eventos de El Niño e La Niña é de grande interesse (GRIMM *et al.*, 1998).

Fontana e Berlato (1997) quantificaram a influência do ENOS sobre a precipitação pluvial mensal no estado do Rio Grande do Sul entre 1913-1995. Os autores verificaram que a média de precipitação pluvial mensal para o Rio Grande do Sul é distinta conforme a fase do fenômeno. Na fase quente o estado é submetido a condições mais úmidas do que na fase fria e sobre a região oeste a precipitação é mais intensa nos meses de outubro e novembro.

Teixeira *et al.* (2013) analisaram a intensidade das secas utilizando o número de dias sem chuva (NDSC), o índice de porcentagem normal (IPN) e o índice padronizado de precipitação (SPI) para Bagé, na região da Campanha. Os resultados indicaram que tanto o NDSC, quanto o IPN detectaram os eventos de seca extrema e severa, sendo que esses eventos coincidiram com anos de ocorrência do fenômeno La Niña.

Braz *et al.* (2017) analisaram as ocorrências de eventos severos que atingiram a agricultura no RS entre 2003 e 2012 e a relação com o fenômeno ENOS. Observou-se que os eventos severos acontecem com maior frequência no período de verão e outono, sendo que os mais frequentes foram estiagem, granizo e vendaval, respectivamente. Segundo os autores, a estiagem ocorre com maior frequência nos meses de dezembro a julho e em períodos sem atuação do fenômeno ENOS, ou seja, em períodos de neutralidade. Quando há atuação do

ENOS, as estiagens são mais comuns em períodos de La Niña e El Niño, principalmente na região norte do RS.

Binda e Verdum (2020) analisaram a ocorrência de estiagens e secas de dados pluviométricos coletados na Bacia Hidrográfica do Arroio Miracatu, no sudoeste do RS, local onde está a maior área em processo de arenização. Constatou-se que houve registros de estiagem (período com mais de 15 dias sem chuva) em todos os anos estudados, sendo que o trimestre maio-julho o mais propício à ocorrência.

Fernandes *et al.* (2021) avaliaram os principais eventos de secas e seus impactos entre 1998 e 2020 na Região Sul do Brasil, utilizando índices de seca calculados a partir de dados de precipitação, vazão e derivados de satélite. Os resultados mostraram que o evento mais severo ocorreu no Paraná em 2006. Em Santa Catarina e Rio Grande do Sul os eventos de secas de maior severidade ocorreram em 2012/2013. Além disso, o evento de 2019/2020 foi considerado o mais crítico em termos de intensidade.

Alguns autores exploraram o elo entre o fenômeno de estiagem no Rio Grande do Sul com a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). Sperling *et al.* (2009) investigaram a relação entre a ODP e a precipitação no período de verão no Rio Grande do Sul. Os resultados indicam que os maiores valores de anomalia negativa de precipitação (fase fria da ODP) durante o verão se encontram mais ao sul e região de fronteira com o Uruguai. No noroeste do RS, estes valores apresentam sinal contrário. Por outro lado, as anomalias positivas de precipitação (fase quente da ODP) ocorrem em praticamente em todo Estado, exceto na região da serra do nordeste. A região da fronteira sul, especialmente a Campanha se destaca pelo maior sinal.

Cera *et al.* (2009) utilizaram dados de precipitação diária da Agência Nacional das Águas (ANA) em três períodos distintos 1960-1975, 1976-1990 e 1991-2005. Os autores correlacionaram a precipitação no Rio Grande do Sul com a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Pacífico para verificar a relação entre ambas e a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) categorizando em muito seco, seco, normal, chuvoso e muito chuvoso. Os autores observaram que no verão as categorias muito seco e normal predominaram em todo estado nos períodos 1960-1975 e 1976-1990. No período 1991-2005 a região Sul e Sudeste passou de um regime muito seco para seco. Na estação de outono de 1960-1975 a distribuição de chuvas variou de seco à normal do Centro ao Norte do Estado. Já na Região Sul prevaleceu a categoria seco. Para os períodos 1976-1990 e 1991-2005 a distribuição de chuvas variou entre normal e seco

em todo o Estado. No Sul do Estado o regime de chuvas passou da categoria normal no período 1976-1990 para a categoria seca no período 1991-2005. No inverno entre 1960-1975 houve um período muito chuvoso na Região Sul, normal na Região Central e seco no Extremo Norte. Para os outros dois períodos, no Nordeste e Sul do Estado houve mudança da categoria normal para seco do primeiro período para o segundo. Na primavera o Extremo Sul apresentou categoria normal nos três períodos. Nos dois primeiros períodos houve uma permanência da categoria chuvoso e muito chuvoso na Região Nordeste do Estado.

Fernandes *et al.* (2021) observam que o último evento de seca (2019/2020) mostrou a situação de deficiência hídrica que afetou os estados impactando tanto áreas agroprodutivas, bem como recursos hídricos da região. O evento de 2019/2020, pode estar associado à fase negativa da ODP e condições de neutralidade no Pacífico Equatorial. Segundo os autores, a seca em 2019/2020 transcorreu sob a influência da fase fria ou negativa da ODP. De acordo com os dados de ODP da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOOA), desde outubro de 2019 a maio 2020, os valores têm sido recorrentemente negativos, com pico registrado em março de 2020.

No entanto, no Rio Grande do Sul, em períodos de La Niña, a estiagem é comumente amenizada pela passagem esporádica de frentes frias relacionadas ao sinal negativo da Oscilação Antártica. Segundo Carmo (2002) durante a fase negativa os ciclones extratropicais tendem a ocorrer em latitudes mais baixas do que na fase positiva, tanto para o inverno como para o verão, em todo o Hemisfério Sul. De acordo com Carvalho *et al.* (2005), o fortalecimento/enfraquecimento da atividade convectiva no norte e sudeste da América do Sul é uma importante característica que parece estar relacionada aos padrões da Oscilação Antártica. Para Gong e Wang (1999) o termo Oscilação Antártica se refere a uma grande alternância de massas de ar atmosférica em grande escala entre a pressão em superfície das latitudes médias e pressão em superfície em latitudes altas.

Carvalho *et al.* (2005) definiram um padrão de Oscilação Antártica obtendo dados diários de anomalias de altura geopotencial em 700hPa entre 1979 e 2000. O objetivo dos autores era identificar as fases positivas e negativas e a relação com a atividade intrasazonal nos trópicos e fases de ENOS durante o verão austral. Foi observado que atividade intrasazonal dos trópicos para os extratropicos do Hemisfério Sul (Norte) está associada com fases negativa(positiva) da Oscilação Antártica. Além disso, a alteração de fase da Oscilação

Antártica parece ser ligada a migração latitudinal do jato subtropical de altos níveis e a variação na intensidade do jato polar.

Frente a uma das piores secas já registrada na cidade de Pelotas, ocorrida em um período de neutralidade no Oceano Pacífico Equatorial, o intuito deste trabalho consiste em investigar a correlação entre o ano de 2020, considerado um ano sem influência do fenômeno ENOS, com os demais anos, utilizando os dados de temperatura média diária da estação Agroclimatológica de Pelotas (Capão do Leão) para a cidade de Pelotas.

2. METODOLOGIA

Os dados de temperatura média diária e precipitação mensal foram obtidos no site da Estação Agroclimatológica de Pelotas (Capão do Leão) localizada na Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) Campus Capão do Leão entre os dias 01/01/1999 e 31/12/2020.

Para fins de visualização dos efeitos da estiagem na cidade de Pelotas foram utilizados dados de medição do nível da Barragem Santa Bárbara que está localizada fora do perímetro urbano de Pelotas, obtidos no site do Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas (SANEP) durante o período de estiagem (novembro de 2019 – setembro de 2020).

Além disso, também foram utilizados os dados mensais do índice de El Niño Oscilação Sul (ENOS) e os dados de média mensal do índice de Oscilação Antártica, ambos disponíveis no site do *National Oceanic Atmospheric Administration* (NOOA), para visualizar as fases do fenômeno ENOS e da Oscilação Antártica com o período correspondente ao trabalho.

A pesquisa consistiu em calcular a correlação entre a temperatura média diária do ano de 2020, ano que ocorreu uma intensa estiagem em Pelotas, com os demais anos, aplicar teste de hipótese nula para verificar se as correlações são verdadeiras e associar essa relação com a fase do ENOS, analisando a precipitação mensal sobre a cidade.

O tipo de correlação utilizada nesse trabalho foi a correlação de Pearson. Segundo Mukaka (2012) correlação é uma métrica estatística usada para avaliar a possível associação linear entre duas variáveis contínuas. O mesmo autor, Mukaka (2012), observou que a correlação é como uma relação recíproca entre duas ou mais coisas, uma representação estatística do quão próximas duas variáveis co-variam, ela pode variar de -1 (correlação perfeitamente negativa), através de 0 (sem correlação) para +1 (correlação perfeitamente positiva).

O coeficiente de correlação de Pearson é denotado como r para uma amostra estatística. Ela é usada quando ambas variáveis sendo estudadas são distribuídas. Esse coeficiente é afetado por valores extremos, das quais podem exagerar ou amortecer a força de relação e é por isso inapropriado quando ambas variáveis não são normalmente distribuídas (MUKAKA, 2012).

De acordo com Mukaka (2012), para a correlação entre variáveis x e y , a fórmula para calcular a amostra do coeficiente de correlação de Pearson é dada por:

(1)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

r = coeficiente de correlação de Pearson

x_i e y_i = valores individuais das variáveis em cada observação(amostra)

\bar{x} e \bar{y} = valores das médias das amostras das duas variáveis

n = tamanho da amostra

Os coeficientes de correlação são usados para avaliar a força e direção da relação linear entre pares de variáveis (MUKAKA, 2012).

Os coeficientes de correlação não comunicam a informação sobre se uma variável se move em resposta a outra. Não há tentativa de estabelecer uma variável como dependente e a outra como independente. Assim, as relações identificadas usando coeficientes de correlação deveriam ser interpretados para o que eles são: associações, não relações causais (MUKAKA, 2012).

O tipo de teste de hipóteses aplicado no estudo foi o T-Student para médias entre duas variáveis. Conforme Sampaio *et al.* (2018) o teste de hipóteses é um procedimento que permite tomar uma decisão (aceitar ou rejeitar a hipótese nula) entre duas ou mais hipóteses (nula ou alternativa), utilizando os dados observados do experimento dada por:

(2)

$$H_0: \mu \neq \mu_0 (\text{testebilateral})$$

H_0 = hipótese nula

μ = valor da média populacional sob a hipótese nula

μ_0 = valor da média populacional

Há dois tipos de erros que podem ser cometidos na realização de um teste de hipóteses: rejeitar a hipótese nula quando ela é verdadeira ou não rejeitar a hipótese nula quando ela é falsa.

No estudo, foi considerado o teste bilateral com P-valor, níveis de confiança e significância e valores críticos a partir da distribuição *t* de Student com $n - 1$ graus de liberdade. Sampaio *et al.* (2018) mostra que a fórmula da distribuição *t* é dada por:

(3)

$$T = \frac{(\bar{X} - \mu_0)}{\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)}$$

T = distribuição *t* de Student

\bar{X} = valor da média amostral

μ_0 = valor da média populacional sob a hipótese nula

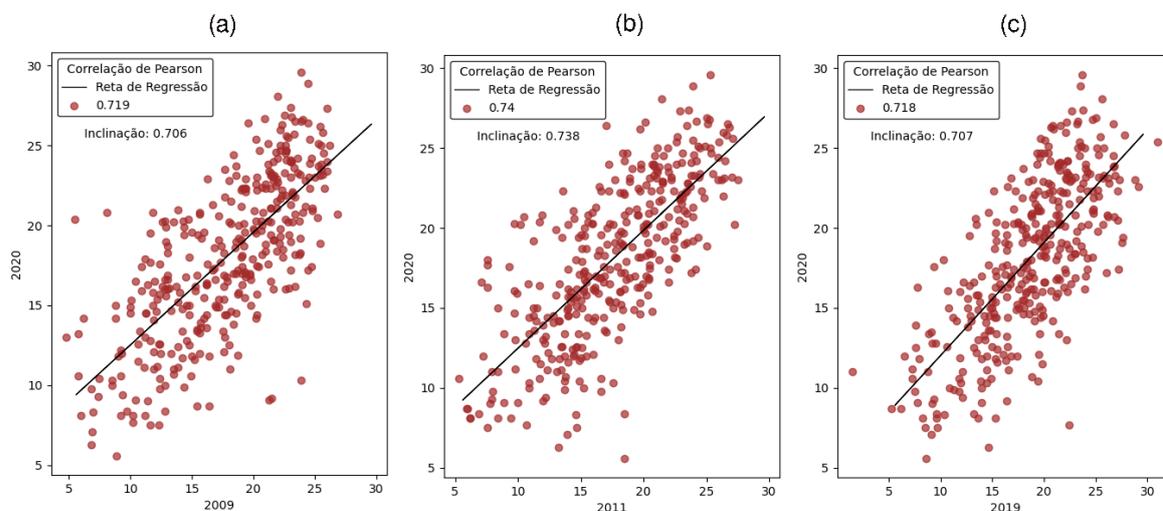
σ = desvio padrão amostral

n = tamanho da amostra

3. DESENVOLVIMENTO

A figura 1 mostra o gráfico de dispersão simples da temperatura média diária em Pelotas e a reta de ajuste entre o ano de 2020 com a temperatura média diária para os anos de 2009, Fig.1(a), 2011, Fig.1(b), e 2019, Fig.1(c), anos que tiveram o coeficiente de correlação de Pearson próximo de 1. Como pode ser observado, o ano de 2020 tem uma forte correlação positiva (SAMPAIO *et al.*, 2018) com os demais anos, pois à medida que os valores de 2020 aumentam, os valores de 2009, Fig.1(a), de 2011, Fig.1(b), e de 2019, Fig.1(c) também aumentam. Nos três casos, os pontos no gráfico de dispersão se agrupam bem próximos das retas crescentes. Também é possível notar que o coeficiente de correlação entre 2020 e 2011, Fig1(b), é o maior quando comparado com os outros anos. É importante ressaltar que a correlação não implica causalidade. Ou seja, uma variável não causa a ocorrência da outra, apenas indica o grau de associação entre duas variáveis.

Figura 1 – Gráfico de dispersão simples de correlação da temperatura média diária em Pelotas entre 2020 e 2009(a), 2011(b) e 2019(c).



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Como o valor do coeficiente de correlação entre duas variáveis observadas não indica que ambas sejam estatisticamente significativas, foi executado o teste de hipótese nula T-Student, comparando a média de duas amostras para verificar se há uma diferença estatística entre elas, utilizando um nível de confiança de 95% e nível de significância de 0.05. A tabela 1 mostra os valores de distribuição t e P-valor para cada período analisado. Como pode ser observado, a hipótese nula não foi rejeitada em 2020/2009, onde o P-valor mostrou-se maior que o nível de significância de 0.05, enquanto que em 2020/2011 e 2020/2019 os valores de P-valor estiveram abaixo do nível de significância, indicando que a hipótese nula pôde ser rejeitada e que as correlações foram verdadeiras.

Tabela 1- Resultado do teste T-Student para correlações.

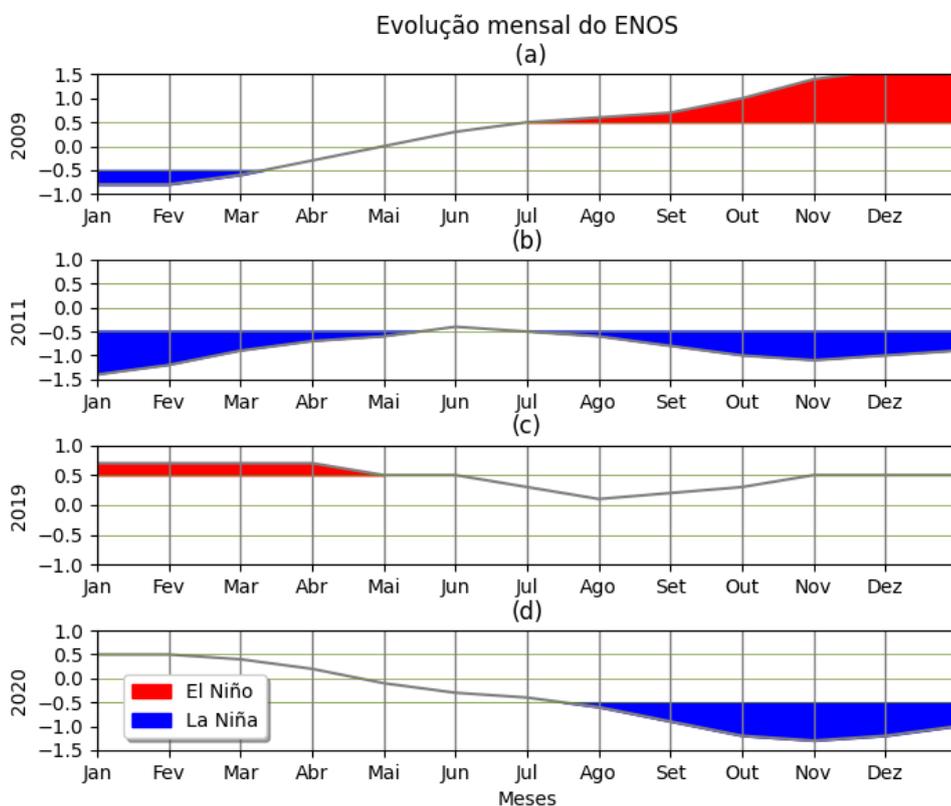
Correlação entre os anos	Distribuição t	P-valor
2020/2009	1.649	0.247
2020/2011	2.995	0.003
2020/2019	-3.017	0.003

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A figura 2 mostra a evolução mensal do fenômeno ENOS. Áreas em azul representam períodos de La Niña e áreas em vermelho representam períodos de El Niño. Observa-se que em 2009, Fig.2(a), o fenômeno La Niña esteve configurado com menos intensidade entre

janeiro e março, seguido de um período de neutralidade entre março e julho, quando o fenômeno El Niño foi gradativamente se fortalecendo até o final de 2009, alcançando um valor de 1.5 do índice de El Niño Oscilação Sul no início de novembro. Em 2011, Fig.2(b), o fenômeno La Niña esteve configurado com mais intensidade no início de janeiro e foi enfraquecendo até o início de maio, quando houve a passagem para um pequeno período de neutralidade, seguido por um novo período de La Niña mais moderada desde o início de julho até o final de 2011. Em 2019, Fig.2(c), houve um período de El Niño moderado de janeiro até final de abril, seguido por um período de neutralidade desde o início de maio até o final de 2019. Este período de neutralidade seguiu configurado durante o ano de 2020, Fig.2(d), até o final do mês de julho, quando finalmente o fenômeno La Niña se manifestou de forma moderada até o final do ano, atingindo valores do índice de El Niño Oscilação Sul próximos a -1.5 no mês de novembro.

Figura 2 – Evolução mensal do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) para os anos de 2009(a), 2011(b), 2019(c) e 2020(d).



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para analisar melhor a relação entre o ano de 2020 com os anos de 2009, 2011 e 2019, e a similaridade dos efeitos atmosféricos sobre Pelotas, foi plotado um gráfico de precipitação mensal dos anos em destaque.

A figura 3 mostra a precipitação mensal por temperatura média mensal sobre Pelotas para os anos de 2009(verde), 2011(azul), 2019(roxos) e 2020(vermelho). Observa-se que a precipitação durante o mês de janeiro para 2009(verde) e 2019(roxos) foram similares, alcançando valores acima de 250mm, apesar de ambos os anos estarem em fases opostas do fenômeno ENOS. Ou seja, 2009, Fig.2(a), sob influência de um período de La Niña fraca e 2019, Fig.2(c), sob influência de um período de El Niño fraco.

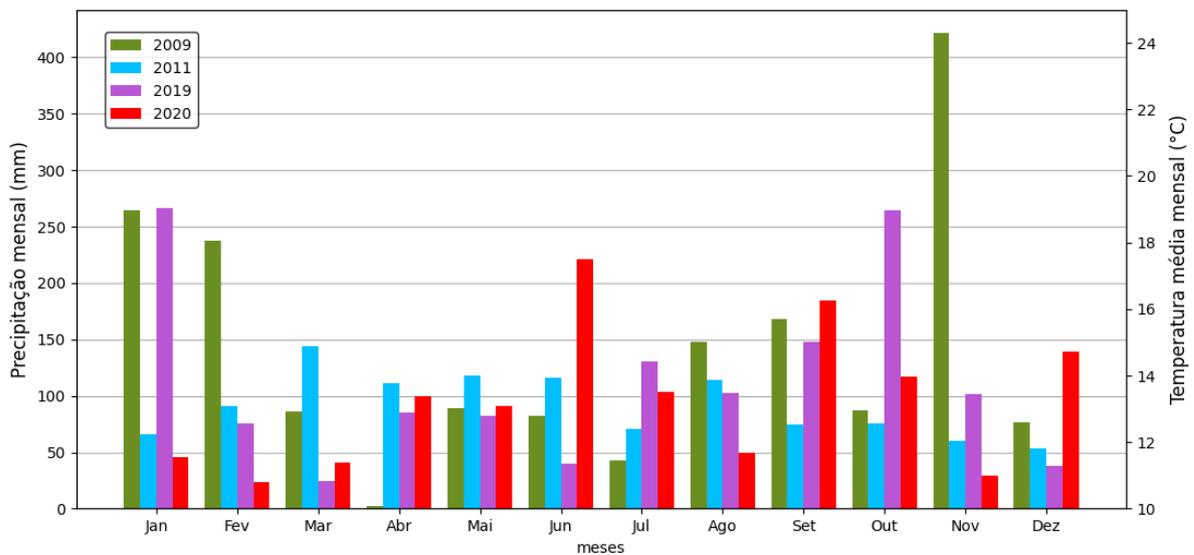
É possível notar também que mesmo sob influência de um episódio forte de La Niña, Fig.2(b), 2011(azul) teve precipitação mais elevada que 2020(vermelho) que esteve em fase de neutralidade, Fig.2(d). No mês de fevereiro, 2009(verde), ainda sob influência de La Niña fraca, Fig.2(a), apresentou uma quantidade elevada de precipitação, acima de 200mm, em relação aos outros anos. Em março, 2011(azul), com a fase de La Niña enfraquecendo, Fig.2(b), exibiu precipitação acima de 100mm, superando 2009(verde) e 2020(vermelho) que estavam em período de neutralidade, Fig.2(a) e Fig.2(d), respectivamente, e 2019(roxos), sob influência de El Niño fraco, Fig.3(c). Nos meses de abril e maio a quantidade de chuva precipitada foi semelhante para os anos de 2011(azul), 2019(roxos) e 2020(vermelho).

Em Junho todos os anos estiveram em fase de neutralidade, como pode ser visto na Fig.2, porém somente 2020(vermelho) se destacou por registrar precipitação acima de 200mm. Em julho de 2019(roxos), início de período de El Niño, Fig.2(a), e em agosto de 2009(verde), período de neutralidade, Fig.2(c), é possível observar que a precipitação superou a marca de 100mm. Em setembro houve uma similaridade na precipitação entre 2009(verde), 2019(roxos) e 2020(vermelho), das quais, respectivamente, ocorreu um fortalecimento do fenômeno El Niño, Fig.2(a), neutralidade, Fig.2(c) e fortalecimento da La Niña, Fig.2(d). Em outubro, somente 2019(roxos), sob influência da fase neutra, Fig.2(c), teve precipitação mais acentuada em relação aos outros anos, alcançando valores acima de 200mm.

Caso semelhante também ocorre em novembro para o ano de 2009(verde) que esteve sob influência de um período de El Niño mais intenso, Fig.2(a), onde a precipitação atingiu valores acima de 400mm. Em dezembro apenas para o ano de 2020(vermelho) a precipitação superou os 100mm, apesar de o ano em questão estar sob influência de um episódio de La

Niña mais intensa, Fig.2(d). É interessante notar para 2011(azul) que mesmo sendo um ano caracterizado pela influência do fenômeno La Niña, Fig.2(b), na maior parte do ano, a precipitação mensal não ficou abaixo de 50mm em nenhum dos doze meses, o que ocorreu somente para 2009(verde) no mês de abril durante um período de neutralidade, Fig.2(a).

Figura 3 – Precipitação mensal por temperatura média mensal na cidade de Pelotas para os anos de 2009(verde), 2011(azul), 2019(roxo) e 2020(vermelho).



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

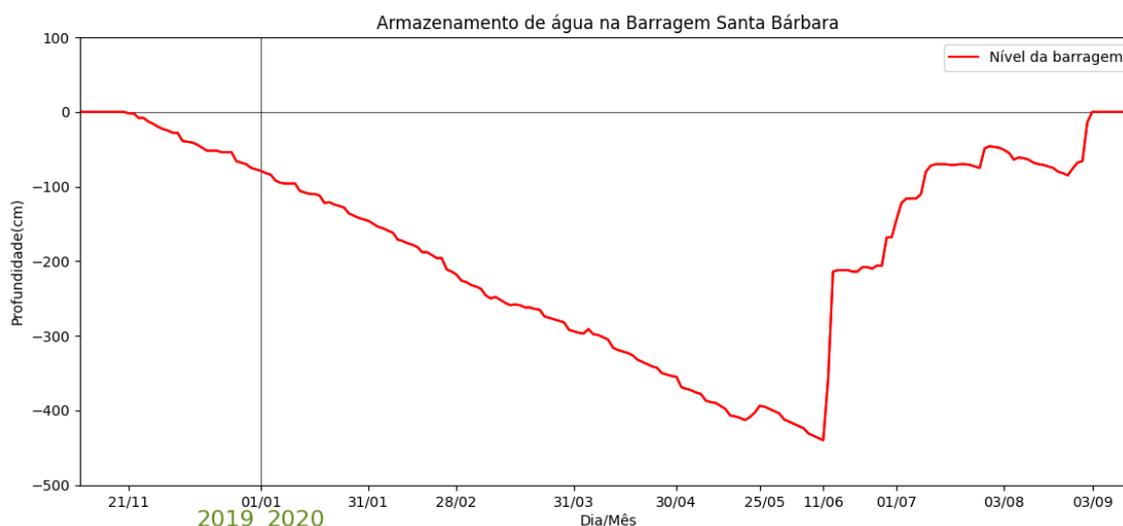
A precipitação registrada em 2020 pelo pluviômetro da Estação Agroclimatológica de Pelotas que está situada na Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) Campus Capão do Leão, não necessariamente representa o que precipita sobre área urbana da cidade de Pelotas, pois o Campus da UFPEL está localizado no município vizinho a mais de 20km de Pelotas. Além disso, durante 2020 a população sofreu desabastecimento em alguns bairros por alguns dias e foi emitido um alerta de racionamento de água pelas autoridades da cidade devido aos baixos níveis de armazenamento da Barragem Santa Bárbara.

A figura 4 mostra o armazenamento da Barragem Santa Bárbara localizada fora do perímetro urbano da cidade de Pelotas durante o período de estiagem até a data em que o nível voltou à normalidade. Observa-se que os níveis de armazenamento de água na barragem começam a cair por volta do dia 21/11 de 2019 e, ao longo do ano de 2020, a queda gradativa segue até atingir a profundidade de 4 metros em torno do mês de maio. Os primeiros registros de chuva sobre a barragem acontecem pouco antes do dia 25/05, pois há uma pequena

elevação nos níveis de armazenamento seguido por outra queda até o dia 11/06, quando ocorre uma forte precipitação que eleva em quase 2 metros o nível de armazenamento.

O pluviômetro na estação Agroclimatológica de Pelotas da UFPEL, localizada no Campus Capão do Leão, a mais de 20km de distância da Barragem Santa Bárbara, registrou precipitação de 114mm no dia 12 junho. Por volta do dia 01/07 a precipitação sobre a barragem passa a ser mais regular e os níveis de armazenamento voltam a se elevar entre os meses de julho, agosto e início de setembro, quando a barragem alcança apenas 1 metro abaixo do nível normal. No dia 01/09 foi registrado 47mm de precipitação no pluviômetro da Estação Agroclimatológica de Pelotas da UFPEL e logo em seguida, no dia 03/09, outra precipitação intensa ocorre sobre a barragem e o nível de armazenamento de água, depois de quase 10 meses, volta ao normal. É importante ressaltar que esse fato foi crucial para que a prefeita de Pelotas suspendesse o alerta de racionamento de água na cidade.

Figura 4 – Armazenamento de água na Barragem Santa Bárbara em Pelotas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Durante o período de estiagem sobre Pelotas (novembro de 2019 até setembro de 2020), quando os níveis de armazenamento de água da Barragem Santa Bárbara estiveram abaixo do normal, as condições no Oceano Pacífico Equatorial gradativamente foram configurando uma situação de neutralidade, Fig.2(c) e Fig.2(d), pelo menos até o final de junho de 2020, segundo o índice de ENOS. A volta das chuvas em Pelotas pode ter sido desencadeada

pela influência do sinal negativo da Oscilação Antártica durante os meses de junho, julho e agosto.

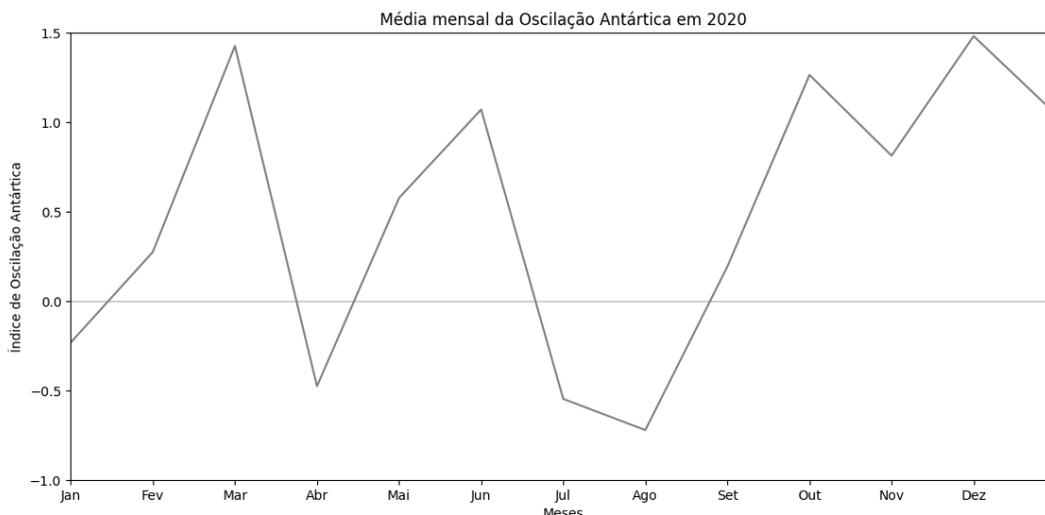
Ciclones tendem a formar e mover-se para menores latitudes durante a fase negativa da Oscilação Antártica, bem como ter maiores centro de pressões quando comparado a fase positiva da Oscilação Antártica (CARVALHO *et al.*, 2005).

A figura 5 mostra a média mensal da Oscilação Antártica durante o ano de 2020. Observa-se que mesmo com o sinal negativo do Índice de Oscilação Antártica (IOA), no início de janeiro de 2020, a precipitação mensal foi discreta, em torno de 50mm, registrado pelo pluviômetro da Estação Agroclimatológica de Pelotas (Capão do Leão), como pode ser visto na Fig.3. Porém nota-se que neste período o nível de armazenamento de água na Barragem Santa Bárbara segue uma tendência contínua de queda.

Em meados do mês de abril o sinal do IOA volta a ser negativo e a precipitação mensal registrada na Estação Agroclimatológica de Pelotas (Capão do Leão) foi mais expressiva, alcançando a marca de 100mm, Fig.4, enquanto que os níveis de armazenamento de água na Barragem Santa Bárbara seguem em queda. É importante notar que tanto no início de janeiro como em abril, quando o sinal do IOA negativou, as chuvas não ocorreram sobre a área onde está localizada a barragem.

Apesar do sinal do IOA negativar novamente somente no final de junho, no 11º dia do mês em questão, ocorre um evento atmosférico que causa precipitação muito expressiva sobre a área da Barragem Santa Bárbara, suficiente para repor quase 2m de água no reservatório da cidade em um único dia. O IOA continua negativo até início de setembro e durante este período as chuvas ocorreram com mais persistência sobre a barragem até os níveis de armazenamento voltarem gradativamente à normalidade por volta do dia 03/09, como pode ser visto na Fig.5.

Figura 5 – Média mensal da Oscilação Antártica em 2020.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os coeficientes de correlação de Pearson entre o ano de 2020 com os anos de 2009, 2011 e 2019 foram próximos do valor de 1, mostrando uma forte correlação positiva (SAMPAIO *et al.*, 2018). Por sua vez, a hipótese nula, segundo o teste T-Student com nível de confiança de 95% e nível de significância de 0.05, foi rejeitada nas correlações entre os anos de 2020/2011 e 2020/2019, indicando correlações verdadeiras, mas não entre 2020/2009.

Apesar do ano de 2020 ter estado sob influência da neutralidade até meados de julho e da fase negativa (La Niña) do fenômeno ENOS até o final de dezembro, os testes de correlação e dos níveis de significância mostraram que há uma associação significativa entre o ano de 2020 com os anos de 2009, 2011 e 2019, anos que estiveram sob diferentes fases do fenômeno ENOS ao longo do ano. O resultado mais expressivo, como indicado, mostra que o ano de 2011 esteve mais significativamente associado com o ano de 2020.

Apesar do sinal da Oscilação Antártica negativar somente no final do mês de junho de 2020, houve um rompimento do quadro de estiagem na cidade de Pelotas no dia 11 de junho de 2020, período que estava sobre a influência da neutralidade do fenômeno ENOS, quando ocorreu uma chuva bastante expressiva sobre a barragem Santa Bárbara, que foi capaz de repor cerca de quase 2m de água no reservatório. A partir deste evento atmosférico ocorreram mais precipitações significativas sobre o reservatório da cidade de forma gradativa até os níveis da barragem voltarem à normalidade no início de setembro de 2020.

É importante considerar que houve limitações tanto na análise e disponibilidade ideal de dados quanto na interpretação dos resultados do estudo. Do ponto de vista estatístico, a Correlação de Pearson pode não capturar as complexidades das relações entre as variáveis e não implica causalidade, bem como a hipótese nula do teste T-Student ser rejeitada entre os anos de 2020/2011 e 2020/2019, mas não ser rejeitada entre os anos de 2020/2019. Do ponto de vista interpretativo, é preciso reconhecer que, apesar dos valores das correlações serem próximas de 1 (SAMPAIO *et al.*, 2018) os resultados não levam em consideração outras variáveis não analisadas como umidade relativa do ar, que é importante na regulação da temperatura e formação de precipitação que é diretamente influenciada pela proximidade da Laguna dos Patos, que impacta no clima local.

No entanto, a limitação mais significativa é o fato da estação agroclimatológica do Campus Capão do Leão (UFPEL) estar localizada na cidade vizinha, a cerca de 20km de distância do centro de Pelotas. A ausência de uma estação com dados climáticos dentro da cidade (o que seria uma fonte de dados em local ideal) torna a compreensão do clima local uma tarefa muito desafiadora, pois os dados utilizados não representam fidedignamente as temperaturas e o regime pluviométrico do perímetro urbano de Pelotas.

Apesar dos anos analisados oscilarem em diferentes fases do fenômeno ENOS ao longo dos 365 dias, com exceção de 2011, os resultados sugerem que Pelotas é propensa a períodos de estiagem entre a primavera e o outono na fase neutra do ENOS. Neste sentido, o estudo agrega para a compreensão do clima da região e serve como uma ferramenta aos planejadores urbanos e gestores de recursos hídricos na tomada de decisão para lidar com a escassez de água. Além disso, vale salientar a importância para que sejam realizados estudos futuros para investigar as causas da estiagem em Pelotas, levando em conta também a influência das mudanças climáticas sobre a região.

REFERÊNCIAS

AMARAL CUNHA, A. P. M; A. *et al.* The challenges of consolidation of drought-related disaster risk warning system to Brazil. **Sustentabilidade em Debate**. v.10, n.1, p.60-76, 2019. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/19380>. Acesso em: 22 fev 2024.

BERGAMASCHI, Homero; DALMAGO, Genei Antonio; BERGONCI, João Ito; BIANCHI, Cleusa Adriane Menegassi; MÜLLER, Artur Gustavo; COMIRAN, Flávia; HECKLER, Bruna Maria

Machado. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.9, p.831-839, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/rkfy676L3qKKHBZCLySRDYR/>. Acesso em: 22 jun 2022.

BINDA, Andrey Luis; VERDUM, Roberto. Estiagens, secas e os processos de arenização na Bacia Hidrográfica do Arroio Miracatu, sudoeste do estado do Rio Grande do Sul. **GeoTextos**, v.16, n.2, p.131-150, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/38159>. Acesso em: 13 mai 2022.

BRAZ, Dejanira Ferreira; PINTO, Luciana Barros; CAMPOS, Claudia Rejane Jacondino de. Ocorrência de eventos severos em regiões agrícolas do Rio Grande do Sul. **Geociências**, v.36, n.1, p.89-99, 2017. Disponível em: <https://scholar.archive.org/work/prnqdxix6za4vdrhwvu3rd7wfg/access/wayback/https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/download/12298/8108>. Acesso em 10 jul 2022.

CARMO, Alexandre Melo Casseb do. **Os storm tracks no Hemisfério Sul**. 2002. Tese(Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais(INPE), São José dos Campos, 2002.

CARVALHO, Leila M. V; JONES, Charles; AMBRIZZI, Tércio. Opposite phases of the Antarctic Oscillation and relationships with intraseasonal to interannual activity in the tropics during the austral summer. **Journal of Climate**, v.18, n.5, p.702-718, 2005. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/18/5/jcli-3284.1.xml>. Acesso em: 11 mar 2022.

CEOLIN CERA, Jossana; TELEGINSKI FERRAZ, Simone Erotildes; BENDER, Fabiane Denise. Influência da Oscilação Decadal do Pacífico e as mudanças no regime de chuva no Rio Grande do Sul. **Ciência e Natura**, p.317-320, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4675/467546322076.pdf>. Acesso em: 03 dez 2021.

COELHO, Caio A. S; CARDOSO, Denis H. F; FIRPO, Maria A. F. Precipitation Diagnostics of an Exceptionally Dry Event in São Paulo, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v.125, p.769-784, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-015-1540-9>. Acesso em: 22 fev 2024.

COELHO, Caio A. S; OLIVEIRA, Cristiano Prestrelo de; AMBRIZZI, Tércio; REBOITA, Michele Simões; CARPENEDO, Camila Bertoletti; CAMPOS, José Leandro Pereira Silveira; TOMAZIELLO, Ana Carolina Nóbile; PAMPUCH, Luana Albertani; CUSTÓDIO, Maria de Souza; DUTRA, Lúvia Márcia Mosso; ROCHA, Rosemeri P. da; REHBEIN, Amanda. The 2014 Southeast Brazil Austral Summer Drought: Regional Scale Mechanisms and Teleconnections. **Climate Dynamics**, v.46, p-3737-3752, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Camila-Carpenedo/publication/312462564_The_2014_southeast_Brazil_austral_summer_drought_Regional_scale_mechanisms_and_teleconnections/links/598c53a10f7e9b07d224672d/The-2014-southeast-Brazil-austral-summer-drought-Regi. Acesso em: 12 set 2021.

DEUSDARÁ-LEAL, Karine Reis; CUARTAS, Luz Adriana; ZHANG, Rong; MOHOR, Guilherme S.; CASTRO CARVALHO, Luis Valério de; NOBRE, Carlos Afonso; MEDIONDO, Eduardo Mario. BROEDEL, Elisângela; SELUCHI, Marcelo Enrique; SANTOS ALVALÁ, Regina Célia dos.

Implications of the New Operational Rules for Cantareira Water System: Re-Reading the 2014-2016 Water Crisis. **Journal of Water Resource and Protection**, v.12, p.261-274, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/59871>. Acesso em: 10 jan 2023.

FERNANDES, Valesca Rodriguez; AMARAL CUNHA, Ana Paula Martins do; PINEDA, Luz Adriana Cuartas; DEUSDARÁ-LEAL, Karina Reis; COSTA, Lidiane C. O; BROEDEL, Elisângela; FRANÇA, Daniela de Azevedo; ALVALÁ, Regina Célia dos Santos; SELUCHI, Marcelo Enrique; MARENGO, José. Secas e os impactos na Região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.28, p.561-584, 2021. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14748>. Acesso em: 11 fev 2022.

FONTANA, C. D; BERLATO, M. A. Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v.5, n.1, p.127-137, 1997. Disponível em: <http://www.sbagro.org/files/biblioteca/128.pdf>. Acesso em: 02 fev 2024.

GOERL, Roberto Fabri; KOBAYAMA, Masato; CORREA, Gabriela Pacheco; ROCHA, Henrique Lucini; GIGLIO, Joana Nery. Desastre hidrológico resultante das chuvas intensas em Rio dos Cedros – SC. In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 2009, Campo Grande. **Anais[...]**. Campo Grande, 2009.

GONG, Daoyi; WANG, Shaowu. Definition of Antarctic Oscillation index. **Geophysical Research Letters**, vol.26, n.4, p.459-462, 1999. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/1999GL900003>. Acesso em: 23 fev 2024.

GRIMM, Alice M; FERRAZ, Simone E. T; GOMES, Júlio. Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**. v.11, p.2863-2880, 1998. Disponível em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/11/11/1520-0442_1998_011_2863_paisba_2.0.co_2.xml?alreadyAuthRedirecting. Acesso em: 20 fev 2024.

JACÓBSEN, Lizandro Oliveira. **Efeitos associados a El Niño e La Niña na vegetação do estado do Rio Grande do Sul**. 2002. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2002.

KÖPPEN, W; GEIGER, R. Klimate der Erde. **Meteorologische Zeitschrift**, 17, p.253-274, 1900.

MAIA, R; VIVAS, E; SERRALHEIRO, R. *et al.* **Water Resource Manage**. v.29, p.575, 2015.

MUKAKA, M. M. Statistics corner: a guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, v.24, n.3, p.69-71, 2012. Disponível em: <https://www.ajol.info/index.php/mmj/article/view/81576>. Acesso em: 11 fev 2024.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION – NOAA. Disponível em: <https://www.noaa.gov>. Acesso em: 12 out. 2022.

NEDEL, Anderson Spohr; SAUSEN, Tania Maria; SAITO, Silvia Midori. Zoneamento dos desastres naturais ocorridos no estado do Rio Grande do Sul no período 2003-2009 – Parte I: Seca. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.2, p.119-126, 2012. Disponível em:

http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2013/08.19.13.38/doc/20_95661.pdf. Acesso em: 11 jan 2024.

NOBRE, Carlos A; MARENGO, José; SELUCHI, Marcelo Enrique; CUARTAS, Adriana; ALVES, Lincoln M. Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. **Journal of Water Resource and Protection**, v.8, p.252-262, 2016. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=63776> Acesso em: 12 fev 2024.

SALTON, Flávia Galvanini; MORAIS, Heverly; LOHMANN, Marciel. Períodos secos no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.36, n.2, p.295-303, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/kHjyZLqDXPyK6gHvWsQsD4C/?lang=pt> Acesso em: 09 dez 2023.

SAMPAIO, Nilo Antonio de Souza; ASSUMPÇÃO, Alzira Ramalho Pereira de; FONSECA, Bernardo Bastos da. **Estatística Inferencial**. Belo Horizonte: Editora POISSON, 2018.

SANCHES, F. de O; VERDUM, R; FISCH, G. O índice de Anomalia de Chuva(IAC) na avaliação das precipitações anuais em Alegrete/RS(1928-2009). **Caminhos da Geografia**. v.15, n.51, p.73-84, 2014. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/26423> Acesso em: 01 jan 2024.

SERVIÇO AUTÔNOMO DE SANEAMENTO DE PELOTAS – SANEP. Disponível em: <https://portal.sanep.com.br>. Acesso em 13 out. 2022.

SPERLING, Vinicius; FERNANDES, Valesca; MARQUES, Júlio Renato. Relação entre a Oscilação Decadal do Pacífico(ODP) e a precipitação de verão no Rio Grande do Sul. *In*: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 18., 2009, Pelotas, **Anais[...]**. Pelotas, 2009.

TEIXEIRA, Claudia Fernanda Almeida; DAMÉ, Rita de Cássia Fraga; BACELAR, Luiz Carlos Salgueiro; Silva, Gisele Machado da; Couto, Rosiane Schwantz do. Intensidade de seca utilizando índices de precipitação. **Revista Ambiente & Água**. v.8, p.203-213, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/zLPSMgtqRYkLfDTtK74xMcS/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 02 jan 2024.

VAN LOON, Anne F. Hydrological Drought Explained. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v.2, p.359-392, 2015. Disponível em: <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/wat2.1085>. Acesso em: 18 fev 2024.

WILHITE, Donald A. **Chapter 1 Drought as a natural hazard: concepts and definitions**. In: *Drought: A global Assessment*. Vol.1, cap.1, p.3-18, Ed. Routledge: London. 2000. Disponível em: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1068&context=droughtfacpub>. Acesso em: 11 dez 2023.