Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS
UFGD Editora

OSCILAÇÕES CLIMÁTICAS E A RELAÇÃO COM OS EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CAMAQUÃ/RS

Climate oscillations and the relationship with extreme precipitation events in the Camaquã/RS watershed

Las oscilaciones climáticas y la relación com eventos de precipitación extrema em la Cuenca de Camaquã/RS

Taís Pegoraro Scaglioni
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas (UFPel);
Unidade em Tapes, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS)
tais-scaglioni@uergs.edu.br

Leandra Martins Bressan
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
leandrambressan13@gmail.com

Renata Knorr Ungaretti Fernandes
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
biologarenataungaretti@gmail.com

André Becker Nunes
Departamento de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
beckernunes@gmail.com

Resumo: As alterações no ciclo hidrológico devido as mudanças climáticas podem resultar em graves efeitos na gestão de recursos hídricos, no meio ambiente e nos demais setores socioeconômicos, justificando a importância dos estudos do comportamento dessas alterações a longo prazo. Com isso, o objetivo deste estudo foi analisar o aspecto climatológico dos eventos extremos de precipitação (EEP), a partir do 99º percentil da série histórica diária, na Bacia Hidrográfica do Camaquã/RS, e a relação de tais eventos com as oscilações climáticas como: El Niño-Oscilação Sul (ENOS), Anticiclone relação Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e o Modo Anular Sul (SAM), no período de 1991-2020. Nas seis estações pluviométricas selecionadas, constatou-se o somatório de 632 EEP. A estação do município de Camaquã se destacou por apresentar a maior ocorrência de eventos (113) e o maior

acumulado diário (283,4mm). Além disso, observou-se, em praticamente todas as estações, tendência li near negativa não significativa, com redução entre 1,2 e 3 EPP nas últimas três décadas. Referente às oscilações climáticas, observou-se que na maioria das estações houve uma relação direta (correlação positiva com 5% de significância) entre os índices ENOS e ASAS e as ocorrências de EEP, já para o índice SAM a correlação predominante foi negativa.
Palavras-chave: Análise de Tendência. Correlação linear. oscilações ASAS/ENSO/SAM.

Abstract: Variations in the hydrological cycle due to climate change can result in serious effects on environmental and water resources management, in addition to other socio-economic sectors, justifying the importance of studying the behavior of these changes in long term. Thus, the objective of this study was to analyze the climatological view of extreme precipitation events (EEP), from 99th percentile of the daily historical series, in the Camaquã/RS watershed, and the relationship of such events with climatic oscillations as El Niño-Southern Oscillation (ENSO), South Atlantic Subtropical Anticyclone (SASA) and the Southern Annular Mode (SAM) between 1991-2020. In the six selected rain gauge stations, the sum of 632 EEPs was verified. The pluviometric station in Camaquã-RS City stands out for having the highest number of events (113) and the highest daily record (283.4mm). Furthermore, in almost all rainfall stations, a non-significant negative linear trend, with a decrease between 1.2 and 3 EPP in the last three decades, was observed. Considering climate oscillations, a direct relationship (positive correlation at 5% significance) between ENSO and SASA and EEP occurrences was observed in most rainfall stations, while for SAM index the predominant correlation was negative.
Keywords: Trend Analysis. Linear correlation. Oscillations SASA/ENSO/SAM.

Resumen: Las variaciones en el ciclo hidrológico debido al cambio climático pueden resultar en graves efectos en la gestión ambiental y de los recursos hídricos, además de otros sectores socioeconómicos, lo que justifica la importancia de estudiar el comportamiento de estos cambios a largo plazo. Así, el objetivo de este estudio fue analizar la visión climatológica de los eventos de precipitación extrema (EEP), del percentil 99 de la serie histórica diaria, en la cuenca Camaquã/RS, y la relación de tales eventos con oscilaciones climáticas como El Niño- Oscilación del Sur (ENOS), Anticiclón Subtropical del Atlántico Sur (SASA) y Modo Anular del Sur (SAM) entre 1991-2020. En las seis estaciones pluviométricas seleccionadas se verificó la suma de 632 EEPs. La estación pluviométrica de la ciudad de Camaquã-RS se destaca por tener el mayor número de eventos (113) y el mayor registro diario (283,4 mm). Además, en casi todas las estaciones pluviométricas se observó una tendencia lineal negativa no significativa, con una disminución entre 1,2 y 3 EPP en las últimas tres décadas. Considerando las oscilaciones climáticas, se observó una relación directa (correlación positiva al 5% de significación) entre las ocurrencias de ENOS y SASA y EEP en la mayoría de las estaciones pluviométricas, mientras que para el índice SAM la correlación predominante fue negativa.
Palabras clave: Análisis de tendencias. Correlación lineal. Oscilaciones ASAS/ENSO/SAM.

Submetido em: 27/12/2022
Aceito para publicação em: 11/08/2023
Publicado em: 14/09/2023

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas estão alterando a precipitação global e, como consequência, a variabilidade nos eventos extremos de precipitação (EEP). Nas últimas décadas, esses eventos têm impactado no regime de precipitação, sendo pelo excesso e/ou escassez hídrica. As mudanças sobre o ciclo hidrológico resultam em graves efeitos na gestão de recursos hídricos, no meio ambiente, em atividades do setor agrícolas e na produção de alimentos (MARENGO, 2009; SARKAR et al., 2021).

Com isso, análises de tendências em séries temporais, podem ser adotadas em diferentes variáveis hidroclimáticas para avaliar padrões de comportamento a longo prazo. Diversos trabalhos ressaltam a importância de identificar essa variação de crescimento ou decrescimento no período em estudo com papel relevante na elaboração da gestão dos recursos hídricos de determinada região (SARKAR et al., 2021; ALVES; GONÇALVES; NASCIMENTO, 2022).

As variações do regime de precipitação atreladas a eventos extremos têm afetado diversas regiões do mundo e do Brasil (LIRA et al., 2020; MALIK et al., 2020; QUIN et al., 2020), como no caso da região Sul do Brasil, que abrange os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do sul, e devido às suas condições geográficas e ao comportamento dos sistemas meteorológicos atuantes ao longo do ano, repercutem na distribuição de precipitação, pois não apresentam uma estação chuvosa bem definida (RAO; HADA, 1990; MARCELINO et al., 2014; CARDOSO; QUADRO; BONETTI, 2020). Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED, 2011), a ocorrência de enxurradas e inundações se mostraram como fenômenos mais frequentes nas regiões Sul e Sudeste, além de outros eventos relacionados como granizo, vendavais, sendo responsáveis por danos significativos, pois o excesso de precipitação acarreta prejuízos nos setores econômicos e sociais (AMORIM et al. 2020; CARDOSO; QUADRO; BONETTI, 2020).

Como consequência da variabilidade pluviométrica na região Sul 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). O ENOS é responsável por alterações no padrão de circulação geral atmosférico-oceânico, possuindo a fase quente (El Niño) e a fase fria (La Niña) (CERA; FERRAZ, 2015; SIQUEIRA; MOLION, 2015; RAMÓN-

VALENCIA et al., 2019). El Niño e La Niña são fenômenos que 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 (SAMPAIO, 2001). No Estado do Rio Grande do Sul (RS), o El Niño é caracterizado pelo excesso de precipitação e a La Niña pelo déficit de precipitação (RAO; HADA 1990; CHECHI; SANCHES, 2013; AMORIM et al. 2020; CAI et al. 2020; SCAGLIONI; FERNANDES; NUNES, 2022).

A ASAS contribui na precipitação ao longo do leste da América do Sul (DI LUCA; CAMILLONI; BARROS, 2006; REBOITA et al., 2019; GARBARINI; GONZALES; ROLLA, 2019), 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; REBOITA, 2021). O SAM é uma oscilação caracterizada por anomalias de sinais opostos entre os arredores da Antártica e as latitudes de 45°S (THOMPSON; WALLACE, 1998; REBOITA; AMBRIZZI; ROCHA, 2009; FOGT; MARSHALL, 2020). 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; AMBRIZZI, 2020; SOUZA; REBOITA, 2021).

Deste modo, o presente estudo visa analisar o aspecto climatológico dos eventos extremos de precipitação na bacia hidrográfica do Camaquã/RS e relacionar com as oscilações climáticas no período de 1991-2020.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

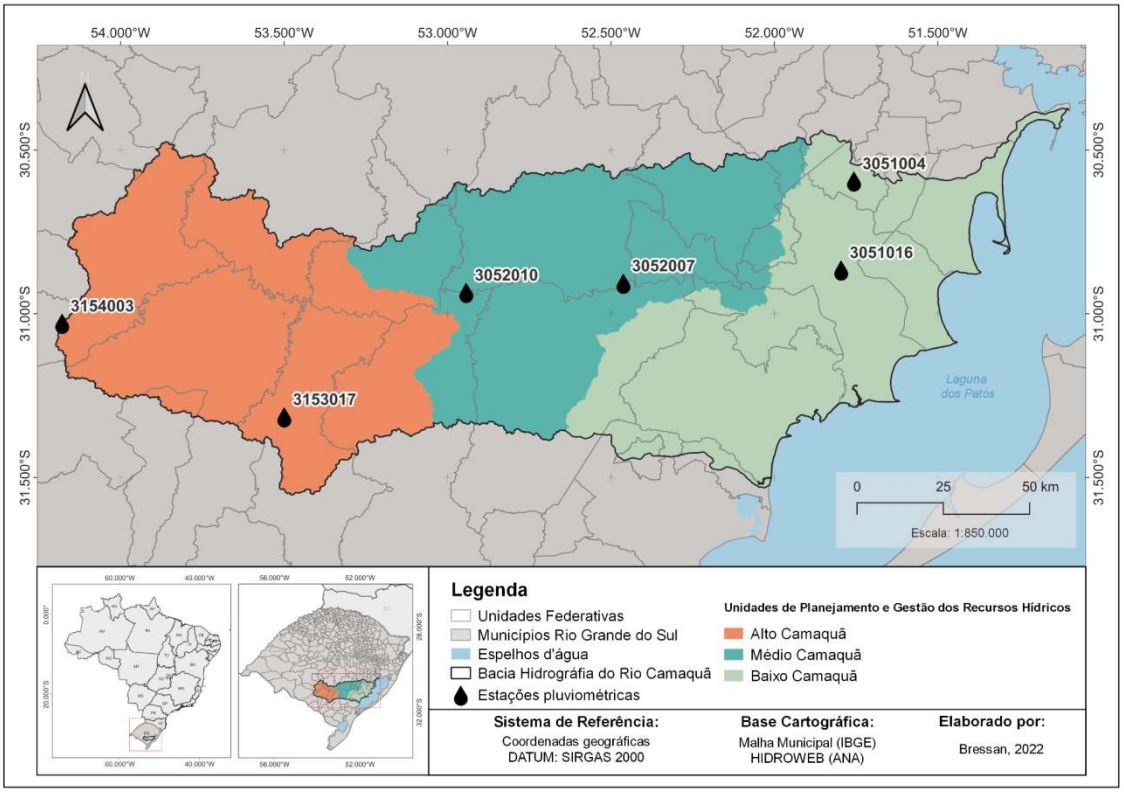
2.1. Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Camaquã (BHC) situa-se na Região Hidrográfica do Litoral, na porção centro-sul do RS. Ao Norte limita-se com as bacias do Lago Guaíba, Baixo Jacuí e Vacacaí–Vacacaí Mirim, a oeste com a bacia do rio Santa Maria; ao sul com as bacias Mirim–São Gonçalo e Rio Negro, totalizando uma área de 21.657,1 km², inserida em 28 municípios

(SEMA, 2022). A bacia possui características distintas em seu território, e foi dividida em Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRHs), sendo: Baixo Camaquã-Duro, Médio Camaquã, Alto Camaquã, Arroio Velhaco e Arroio Turuçu (SEMA, 2016). Porém, neste trabalho, considerou-se a UPGRHs Arroio Velhaco e Arroio Turuçu como região do Baixo Camaquã, assim sendo definidas três regiões de estudos, no qual para cada região, foram escolhidas duas estações pluviométricas, totalizando seis estações representativas inseridas na região da BHC.

Na Figura 1, observa-se a delimitação da bacia e a localização das seis estações pluviométricas nas três regiões, as quais foram escolhidas pela distribuição geográfica e por apresentar poucas falhas nas séries históricas de precipitação no período de 30 anos (1991-2020). As estações estão localizadas no Alto Camaquã inseridas nos municípios de Dom Pedrito (3154003) e Pinheiro Machado (3153017), no Médio Camaquã nos municípios de Piratini (3052010) e Encruzilhada do Sul (3052007), e no Baixo Camaquã nos municípios Cerro Grande do Sul (3051004) e Camaquã (3051016).

Figura 1 - Mapa de localização da área em estudo e das estações pluviométricas analisadas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

2.2. Metodologia

As séries históricas de precipitação de 1991 a 2020 foram obtidas no portal do Sistema de Informações Hidrológicas - HIDROWEB (2022), disponibilizado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), sendo selecionadas seis estações geograficamente representativas dentro da BHC e que não ultrapassasse 10% de falhas nas séries históricas. A partir dos dados diários, calculou-se o percentil 99% (P99) para a identificação dos casos de eventos extremos de precipitação de cada estação pluviométrica e quantificaram-se os casos que ultrapassaram este limiar. Além disso, identificou-se o máximo acumulado de precipitação, data da ocorrência, bem como as principais medidas de posição e variação da estatística descritiva. Também, os casos foram agrupados sazonalmente: verão (Dez-Jan-Fev), outono (Mar-Abr-Mai), inverno (Jun-Jul-Ago), primavera (Set-Out-Nov), anualmente e em três décadas, de modo a identificar qual o período de maior incidência dos eventos extremos. Aplicou-se o teste não paramétrico de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975), para avaliar se a tendência dos eventos extremos agrupados anualmente era estatisticamente significativa. Para o teste, a série de dados de precipitação é denominada como variável dependente, e o tempo a variável independente. Deste modo, é possível observar a significância ou não do comportamento da série de dados e quantificar o aumento e/ou diminuição da tendência a partir da inclinação conforme Sen Slope (SEN, 1968).

Para os dados das oscilações climáticas, foram empregados os índices SAM, ASAS e ONI (SOUZA; REBOITA, 2021; NOAA, 2022), anualmente e sazonalmente, relacionando-os com a ocorrência dos eventos extremos. Foram calculados os coeficientes de correlação linear de Pearson, cuja significância estatística (5%) foi estimada aplicando o teste t Student (WILKS, 2011), a fim de constatar se existia correlação significativa entre as ocorrências de eventos extremos de precipitação e as oscilações climáticas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Climatologia dos EPP

Nas seis estações em análise, constatou-se a ocorrência de 632 eventos extremos de precipitação (EEP) que ultrapassaram o P99 de cada estação, os quais registraram limiares entre 53,8mm a 62mm. Na Tabela 1, verifica-se o limiar do P99 de cada estação, o total de

eventos registrados e a máxima precipitação diária registrada destas ocorrências. Em praticamente todas as estações meteorológicas, foram registrados mais de 100 casos de EEP, exceto em Encruzilhada do Sul (3052007) com 98 casos, o que pode ser consequência de três anos de falhas (2013, 2014 e 2015).

A estação no município de Camaquã se destaca por ter mais ocorrência de eventos, 113 casos, e o acumulado diário mais intenso, de 283,4 mm. Este evento foi avaliado por Scaglioni, Fernandes e Nunes (2022), os quais evidenciaram a atuação de um ciclone extratropical, que ocasionou muitos prejuízos e transtornos para região no período.

Tabela 1 - Estação pluviométrica, município, percentil 99% (P99), total de eventos extremos, precipitação máxima e data do registro, para o período de 1991-2020, na BHC.

Estação pluviométrica	Município	P99(mm)	Total de eventos	Pmáx (mm) (data)
3153017	Pinheiro Machado	62,0	102	155,6 (02/05/2000)
3154003	Dom Pedrito	61,0	104	185,3 (01/06/2001)
3052007	Encruzilhada do Sul	55,3	98	162,2 (01/12/2002)
3052010	Piratini	53,8	110	173,5 (01/02/2006)
3051016	Camaquã	54,9	113	283,4 (24/12/1995)
3051004	Cerro Grande do Sul	59,3	105	196,3 (02/04/2018)
Total			632	

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

De modo a analisar as medidas de posição e variação dos EEP, os mesmos foram organizados na Tabela 2, onde a média de ocorrência ficou entre 3,3 a 3,8 EEP ao ano nas estações. A maior variabilidade no coeficiente de variação foi registrada nas estações do Alto e Médio Camaquã nos municípios de Pinheiro Machado (3153017), Dom Pedrito (3154003) e Encruzilhada do Sul (3052007), os quais também apresentaram maior número de EEP, no ano de 1997, sendo 11 e 12 casos anuais (Figura 2A), e em 2002, 13 casos em Encruzilhada do Sul (3052007) (Figura 2B). Neste período 1997/1998 e 2002/2003, o RS estava sob influência do fenômeno El Niño, ocasionando excessos de precipitação (BERLATO; CORDEIRO, 2017; CPTEC, 2022). Já as demais estações da BHC registraram no máximo 9 EEP anuais (2002, 2010, 2013 e 2014) e a variabilidade ficou entre 59% a 61%.

Tabela 2 - Características da estatística descritiva anual para os EEP, atuantes na BHC no período de 1991 - 2020.

Parâmetros descritivos (EEP)	Estações Pluviométricas					
	3153017	**3154003**	**3052007**	**3153006**	**3051016**	**3051004**
	Pinheiro Machado	**Dom Pedrito**	**Encruzilhada do Sul**	**Piratini**	**Camaquã**	**Cerro Grande do Sul**
Média	3,4	3,5	3,3	3,7	3,8	3,5
Mínimo	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0
(Ano)	1999,2007, 2008,2010, 2016	1999, 2006,2008, 2010	2007,2010, 2013,2014, 2015	1991, 1992, 2012, 2015, 2020	1994,2000, 2008, 2009, 2010, 2014	1994
Máximo	11,0	12,0	13,0	9,0	9,0	9,0
(Ano)	1997	1997	2002	2010	2002	2013, 2014
Desvio Padrão	2,7	3	2,9	2,2	2,3	2,1
Coeficiente de variação (%)	79	86,3	89,5	60,9	60,7	59,9

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

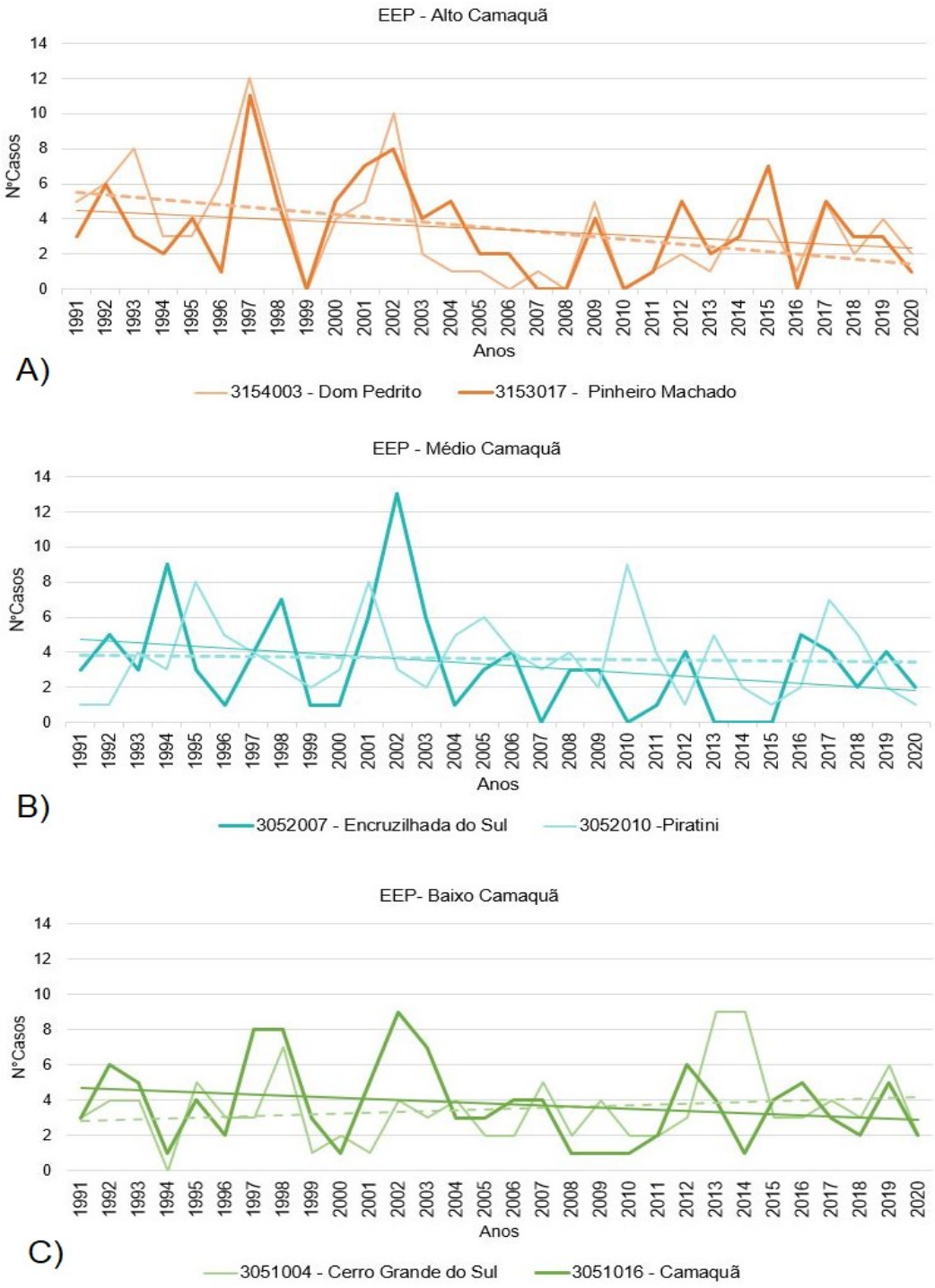
Na Figura 2, pode-se verificar que ao longo do período, os EEP estão reduzindo, a partir da análise dos dados e das tendências lineares, como pode ser visto na Tabela 3 e nas Figuras 2A, 2B e 2C. Com exceção da estação de Cerro Grande do Sul (3051004), Figura 2C, que registrou tendência positiva na ocorrência de EEP, porém quando avaliado a significância deste aumento o teste estatístico t Student (5%) apresentou não significância, assim como nas demais estações.

De modo a visualizar melhor os EEP nas estações, estes foram agrupados em três intervalos decadais. No Alto Camaquã, Figura 2A, a estação de Pinheiro Machado (3153017) apresentou em 1991-2000, 40 casos, 2001-2010, 32 casos e em 2011-2020 30 casos e na estação de Dom Pedrito (3154003) em 1991-2000, 53 casos; 2001-2010, 25 casos e 2011 - 2020, 26 casos. No Médio Camaquã (Figura 2B) a estação de Encruzilhada do Sul (3052007) apresentou 1991 - 2000, 37 casos; 2001-2010, 39 casos e em 2011-2020, 22 casos e na estação de Piratini (3052010), 1991 - 2000, 34 casos; 2001-2010, 46 casos e em 2011-2020, 30 casos. No Baixo Camaquã (Figura 2C) a estação de Camaquã (3051016) apresentou em 1991-2000,

41 casos, 2001-2010, 38 casos e em 2011-2020, 34 casos e a estação de Cerro Grande do Sul (3051004) registrou em 1991-2000, 32 casos; 2001-2010, 29 casos e em 2011-2020, 44 casos.

Considerando as três décadas na BHC, a primeira (1991-2000) registrou 237 EEP, a segunda (2001-2010, 209) EEP e a terceira (2011-2020) 186 casos. Na primeira década, os anos de 1996 e 1999 não estavam sob influência das oscilações com índice ONI positivo, SAM negativo e ASAS positivo. Porém, nos demais anos, uma das oscilações com índice favorável à instabilidade ao menos estava atuante. O que se assemelhou a segunda década, que na maioria dos anos estava sob influência de pelo menos uma oscilação com índice favorável, porém nos anos de 2002, 2003 e 2007 as três oscilações com índice SAM negativo, ONI positivo e ASAS positivo estavam atuantes, favorecendo a ocorrência de 84 EEP nestes três anos. Na última década, nenhum dos anos apresentou atuação conjunta entre os índices favoráveis das oscilações. Houve quatro anos com a maioria dos meses com a atuação de El Niño (2015,2016, 2018 e 2019), SAM negativo na maioria dos meses em 2011 e ASAS positivo na maioria dos meses dos anos 2012 e 2014. Isso resultou na menor quantidade de EEP comparado às outras duas décadas.

Figura 2 - Variabilidade do comportamento anual do número de EEP identificados nas estações pluviométricas e suas respectivas linhas de tendência: A) Alto Camaquã, B) Médio Camaquã e C) Baixo Camaquã.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Na Tabela 3, apresenta-se os resultados dos testes estatísticos não paramétricos de Mann-Kendall e a magnitude pela inclinação de Sen Slope. Em que praticamente todas as estações, evidencia-se a tendência linear negativa não significativa, ao nível de significância

de 5%, ou seja, retratam um declínio nas ocorrências dos eventos extremos ao longo do tempo analisado. Resultados similares foram apresentados por Ogassawara, Nunes e Riquetti (2021) nas análises de tendências dos EEP no período de 1981 a 2016 na Bacia hidrográfica do Piratini/RS.

Quanto à magnitude da ocorrência desses eventos (Sen Slope), observa-se na Tabela 3, que as estações localizadas no Alto Camaquã (3153017 e 3154003) apresentam um decréscimo de -0,06 a -0,10 EEP por ano, ou seja, ao longo dos 30 anos observados, houve uma redução média de 1,8 a 3 casos, respectivamente. Ressalta-se que a aplicações dos testes estatísticos foram conclusivos, porém a rigidez do critério para a escolha dos EEP, no caso P99, pode ter influenciado na falta de tendência linear significativa, o que corrobora com os resultados apresentados em Ogassawara, Nunes e Riquetti (2021).

Tabela 3 - Tendências lineares, coeficiente de determinação, Teste de Mann-Kendall e inclinação de Sen Slope, com nível de significância de 5%, aplicados aos eventos extremos de precipitação que ultrapassaram o P99, para cada estação inserida nas regiões da BHC, no período de 1991-2020.

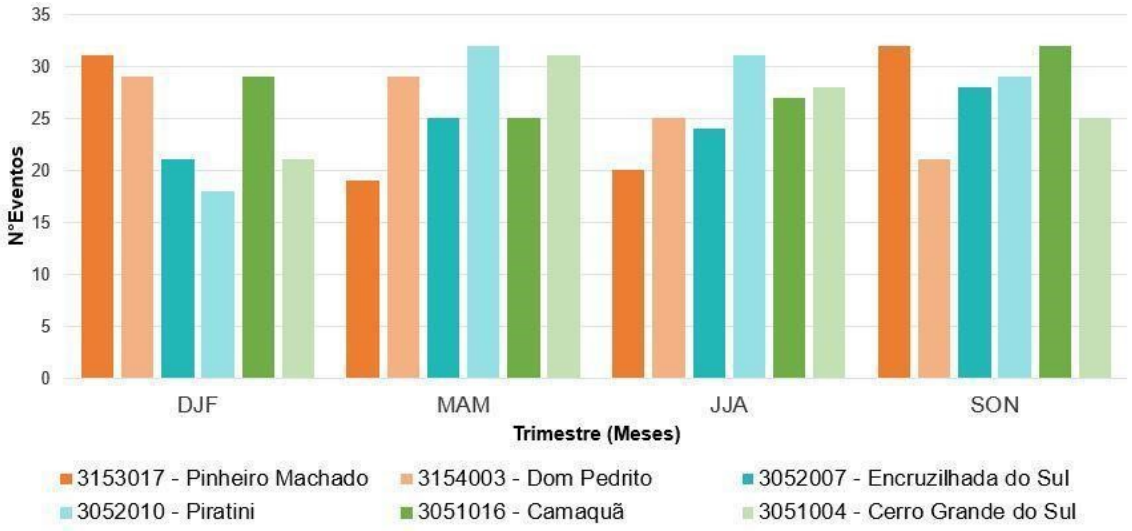
Região BHC	Código estação	Equação	Tendência Linear	Coeficiente de determinação	Mann-Kendall (p-valor)	Sen Slope (EEP/ano)
Alto	3153017	y=-0,07x+4,52	Negativa	0,05	0,26	-0,06
Alto	3154003	y=-0,14x+5,65	Negativa	0,17	0,07	-0,10
Médio	3052007	y=-0,10x+4,81	Negativa	0,09	0,12	-0,07
Médio	3052010	y=-0,01x+3,87	Negativa	0,002	0,66	0,00
Baixo	3051016	y=-0,06x+4,71	Negativa	0,05	0,32	-0,04
Baixo	3051004	y= 0,05x+2,76	Positiva	0,04	0,52	0,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Quando avaliado os dados sazonalmente (Figura 3), nota-se que a primavera (164) e o outono (161) apresentaram mais casos de EEP ao longo dos 30 anos. Isso pode ser justificado por serem estações de transição, quando os fenômenos meteorológicos são mais intensos e frequentes (BERLATO; CORDEIRO, 2017). Além disso, Cordeiro (2010) ressalta o incremento de precipitação pluvial no RS nessas duas estações do ano, e Penalba e Robledo (2010) encontraram aumento de precipitação na região Sul, especialmente de eventos extremos no verão, outono e primavera.

No inverno e no verão, registraram-se 153 e 150 EEP, respectivamente, sendo este comportamento bimodal significativo na precipitação em várias partes do Sul do Brasil (GRIMM; FERRAZ; GOMES, 1998). No Alto Camaquã (3153017 e 3154003), a maioria dos casos dos EEP ocorreram no verão e na primavera, enquanto no Médio (3052007 e 3052010) e Baixo (3151016 e 3051004) ocorreu no outono e na primavera.

Figura 3 - Sazonalidade dos eventos extremos de precipitação nas estações pluviométricas localizadas na BHC no período de 1991-2020.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

3.2. Análise das oscilações climáticas

Um dos fatores que podem contribuir na ocorrência dos EEP na BHC são as oscilações climáticas. No presente estudo, essas oscilações foram correlacionadas com os índices ONI, SAM e ASAS, anual e sazonal com os eventos (Tabela 4), de modo a identificar quais das oscilações contribuíram na intensificação ou manutenção dos extremos.

Tabela 4 - Correlações de Pearson aplicado ao teste t Student com nível de significância de 5%, no período sazonal e anual aos EEP, índices das oscilações ONI, SAM e ASAS, para cada estação inserida nas regiões da BHC, no período de 1991-2020. Os valores em vermelho apresentaram significância no teste estatístico.

Correlações	Período	Estações Pluviométricas					
		3153017	3154003	3052007	3052010	3051016	3051004
		Pinheiro Machado	Dom Pedrito	Encruzilhada do Sul	Piratini	Camaquã	Cerro Grande do Sul
ONIxEEP	**Anual**	**0,32**	**0,18**	**0,24**	**-0,19**	**0,27**	**0,27**
	DJF	0,21	-0,02	0,17	-0,10	0,29	0,17
	MAM	0,08	0,23	0,34	-0,20	0,15	0,30
	JJA	**0,51**	0,09	-0,06	-0,21	0,18	**0,47**
	SON	**0,51**	0,54	**0,39**	-0,28	**0,39**	0,28
SAMxEEP	**Anual**	**-0,01**	**-0,07**	**-0,09**	**0,06**	**0,02**	**-0,08**
	DJF	0,00	0,09	0,16	-0,05	0,13	-0,17
	MAM	-0,25	**-0,23**	**-0,41**	0,02	0,07	0,13
	JJA	0,05	-0,09	0,01	-0,14	0,16	-0,13
	SON	0,14	-0,21	-0,17	**0,44**	-0,25	-0,13
ASASxEPP	**Anual**	**-0,04**	**0,04**	**0,04**	**-0,08**	**0,01**	**0,02**
	DJF	0,04	**0,04**	-0,01	-0,13	0,17	0,23
	MAM	**0,41**	**0,41**	**0,49**	-0,01	-0,18	-0,08
	JJA	**-0,12**	0,04	0,06	-0,16	0,01	0,03
	SON	0,30	0,33	0,13	-0,10	0,24	0,05

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Analisando o índice ONI anualmente observou-se correlação positiva, entre 0,18 e 0,32, em praticamente todas as estações, exceto na estação em Piratini (3052010) com coeficiente de correlação de Pearson de -0,19. Quando aplicado o teste t Student a 5% em todas as estações, estas não foram significativas, devido ao rigor no critério da seleção dos casos. Porém, sazonalmente, as correlações foram significativas nas estações: Pinheiro Machado (3153017) no inverno (0,51) e na primavera (0,51); Encruzilhada do Sul (3052007) na primavera (0,39); Camaquã (3151016) na primavera (0,39) e Cerro Grande do Sul (3051004) no inverno (0,47). Destaca-se que em Piratini (3052010) em todos os períodos registrou correlação negativa entre -0,10 a -0,28, contrariando o comportamento normal da atuação do fenômeno ENOS no Sul do Brasil, que, no geral apresenta correlação maior e positiva na

primavera nos acumulados mensais de precipitação (RAO; HADA, 1990; GRIMM; FERRAZ; GOMES, 1998).

O índice de SAM negativo influencia o regime pluviométrico no Sul do Brasil (SILVESTRI; VERA, 2003; REBOITA; AMBRIZZI; ROCHA, 2009; CARDOZO; REBOITA; GARCIA, 2015), que em geral, são dominadas por anomalias negativas de altura geopotencial, em médias latitudes. Isso favorece a instabilidade na região, contribuindo nas anomalias positivas de precipitação. Neste sentido, quando correlacionados os EEP e o índice SAM (Tabela 4), das seis estações pluviométricas, quatro delas apresentaram correlações negativas anuais, sendo -0,01 em Pinheiro Machado (3153017), -0,07 em Dom Pedrito (3154003), -0,11 em Encruzilhada do Sul (3052007) e -0,08 em Cerro Grande do Sul (3051004) e nas estações de Piratini (3052010) 0,06 e Camaquã (3151016) 0,02, correspondendo a correlações positivas, sendo que em todas o teste estatístico t Student a 5% não apresentou significância. Quanto à sazonalidade, Dom Pedrito (3154003) e Encruzilhada do Sul (3052007) apresentaram correlações negativas significativas no outono, e Piratini (3052010) apresentou correlação positiva significativa na primavera.

Para o índice do ASAS, as correlações lineares anuais apresentaram valores não significativos em todas as estações pluviométricas da bacia hidrográfica, sendo em duas com correlação negativa e em quatro delas correlações positivas. Mostrando que a região tem certa relação com o índice positivo do ASAS, o qual influencia no transporte de umidade do oceano para o continente e, portanto, na precipitação ao leste América do Sul (DI LUCA et al., 2006; REBOITA et al., 2019; GARBARINI et al., 2019). Quando os EEP são avaliados sazonalmente ao índice do ASAS, destaca-se a estação do outono com índices positivos significativos acima de 0,41 nas estações pluviométricas do Alto Camaquã (3153017 e 3154003) e em Encruzilhada do Sul (3052007) no Médio Camaquã. No verão, a estação 3154003, inserida em Dom Pedrito (3154003), apresentou uma correlação significativa positiva de 0,04. E no inverno, para a estação em Pinheiro Machado (3153017), a correlação negativa apresentou valor de -0,12, sendo significativa. Segundo Souza e Reboita (2021), no verão, os ventos do ASAS contribuem para o transporte de calor e umidade para o continente favorecendo a precipitação e no inverno, atua dificultando a passagem de frentes frias e a organização da convecção, resultados que corroboram neste estudo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No período desta pesquisa, foram identificados 632 EEP que ultrapassaram os limiares do P99 de cada uma das seis estações, distribuídas estrategicamente na BHC. No Alto Camaquã, a maioria dos casos dos EEP ocorreram no verão e na primavera, enquanto no Médio e Baixo Camaquã, no outono e na primavera, ou seja, nas estações de transição ou de maior aquecimento da atmosfera, proporcionando condições mais apropriadas a precipitação.

Ao avaliar as tendências lineares a partir do teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall e a magnitude pela inclinação de Sen Slope, pode-se concluir que em praticamente todas as estações, observa-se a tendência linear negativa não significativa, ao nível de significância de 5%, com redução entre 1,2 a 3 EEP nas últimas três décadas.

Referente às oscilações climáticas ENOS, SAM e ASAS, quando correlacionadas aos EEP na maioria das estações, houve uma relação direta entre o índice e as ocorrências anuais. Para o ENOS e ASAS, as correlações, na maioria, foram positivas, relacionando ONI positivo ao fenômeno El Niño e ao aumento dos EEP, assim como o índice do ASAS positivo contribuiu na manutenção da umidade oceânica para o continente. Já para o índice SAM, a correlação predominante foi negativa, visto que os índices negativos de SAM estão relacionados à instabilidade e consequentemente a precipitação na região.

De modo geral, as correlações foram fracas e estatisticamente não significativas, o que pode ser devido ao critério de utilizar o P99 nas séries históricas, o que reduziu a quantidade de EEP e, consequentemente, a correlação entre as variáveis.

Outro ponto a ser destacado foi que as estações que pertencem à mesma zona (Alto, Médio e Baixo Camaquã) não apresentaram comportamento tão similar. Uma das explicações para isto é o caráter convectivo e localizado que alguns eventos de precipitação podem ter e que acabam influenciando no acumulado mensal dos casos P99.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Hidroweb**. Acessado em 21 nov. 2022. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao.

ALVES, J.; GONÇALVES, T.; NASCIMENTO, S. A. Precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, Nordeste do Brasil: tendências e variabilidade (1970-2020). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais**, v. 17, n. 2, p. 527-542, 2022.

AMORIM, A. C. B.; et al. Eventos Extremos de Precipitação no Litoral do Paraná (Baía de Paranaguá). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 4, p. 563-575, 2000.

BERLATO, M. A.; CORDEIRO, A. P. A. Sinais de mudanças climáticas globais e regionais, projeções para o século XXI e as tendências observadas no Rio Grande do Sul: uma revisão. **Agrometeoros**, v. 25, n. 2, p. 273-302, 2017.

CAI, W.; et al. Climate impacts of the El Niño–Southern Oscillation on South America. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 1, n. 4, p. 215-231, 2020. http://dx.doi.org/10.1038/s43017-020-0040-3.

CARDOSO, C. S.; QUADRO, M. F. L.; BONETTI, C. Persistência e abrangência dos eventos extremos de precipitação no Sul do Brasil: Variabilidade espacial e padrões atmosféricos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 2, p. 219-231, 2020.

CARDOZO, A. B.; REBOITA, M. S.; GARCIA, S. R. Climatologia de frentes frias na América do Sul e sua relação com o modo anular sul (Climatology of cold fronts over South America and its relation with the southern annular mode). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, p. 09-26 2015.

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. 01, p. 81-88, 2015.

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.

CORDEIRO, A. P. A. **Tendências climáticas das variáveis meteorológicas originais, estimadas e das derivadas do balanço hídrico seriado do Rio Grande do Sul**. 2010. 273f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CPTEC/INPE. (2022). **El Niño e La Niña**. Acessado em 21 de out. 2022. Disponível em: http://enos.cptec.inpe.br/.

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**, p. 235-243, 2006.

FOGT, R. L.; MARSHALL, G. J. The Southern Annular Mode: variability, trends, and climate impacts across the Southern Hemisphere. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 11, n. 4, p. e652, 2020.

GARBARINI, E. M.; GONZALEZ, M. H.; ROLLA, A. L. The influence of Atlantic High on seasonal rainfall in Argentina**. International Journal Climatology**, v. 39, n. 12, p. 4688-4702, 2019.

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

KENDALL, M. G. **Rank correlation measures**. Charles Griffin: London, U.K, p.220, 1975.

LIRA, B. R. P.; et al. Identificação de homogeneidade, tendência e magnitude da precipitação em Belém (Pará) entre 1968 e 2018. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n.4, p. 426-439, 2020.

MALIK, A.; et al. Application of nonparametric approaches to identify trend in streamflow during 1976-2007 (Naula watershed). **Alexandria Engineering Journal,** v. 59, n. 3, p. 1595-1606, 2020.

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. Econometrica: **Journal of the Econometric Society**, p. 245–259, 1945.

MARCELINO, I. D. O. Adversidades Atmosféricas no Estado de Santa Catarina no Período de 1980 a 2010. **Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina**. Instituto Histórico e Geográfico de Santa Catarina, Florianópolis, p. 13-82, 2014.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. **FBDS (org) Mudanças Climáticas Eventos Extremos no Brasil**. p. 05-19, 2009.

NOAA- **National Oceanic and Atmospheric Administration**. Acessado em 13 out. 2022. Disponível em: https://www.noaa.gov/.

OGASSAWARA, J. F.; NUNES, A. B.; RIQUETTI, N. V. Eventos extremos de precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Piratini: relação com ENOS e estudo de caso. **Revista Brasileira de Climatologia.** v.28, 2021.

PENALBA, O. C.; ROBLEDO, F. A. Spatial and temporal variability of the frequency of extreme daily rainfall regime in the La Plata Basin during the 20th century. **Climatic Change**, v. 98, p.531-550, 2010.

QIN, N. X.; et al. Observed trends of different rainfall intensities and the associated spatiotemporal variations during 1958- 2016 in Guangxi, China. **International Journal of Climatology,** v. 41, n. S1, p. 1-16, 2020.

RAMÓN-VALENCIA, J. A.; et al. Early warning system on extrem weather events for disaster risk reduction. **Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioqua**, v. 92, p. 80-87, 2019.

RAO, V. B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theoretical and applied climatology**, v. 42, n. 2, p. 81-91, 1990.

REBOITA M. S.; et al. The South Atlantic Subtropical Anticyclone: Present and Future Climate. **Frontiers in Earth Science,** v. 7, n. 8, p. 1-15, 2019.

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

SAMPAIO, G. O. **O El Niño e Você - o fenômeno Climático**. São Paulo: Transtec Editorial, 2001.

SARKAR, D.; et al. Compiling non-parametric tests along with CA-ANN model for precipitation. **Water Cycle**, v. 2, p. 71-84, 2021.

SEMA. **Secretaria Estadual do Meio Ambiente**. Serviços e Informações. 2022. Acessado em 25 set. 2022. Disponível em: https://sema.rs.gov.br/bacias-hidrográficas.

SEMA. **Secretaria Estadual do Meio Ambiente**. Serviços e Informações**.** 2016. Acessado em 25 set. 2022. Disponível em: https://sema.rs.gov.br/l030-bh-rio-camaqua.

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.

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American Statistical Association,** v. 63, n. 324, p. 1379-1389, 1968.

SILVESTRI, G. E.; VERA, C. S. Antarctic Oscillation signal on precipitation anomalies over southeastern South America. **Geophysical Research Letters**, v. 30, n. 21, 2003.

SIQUEIRA, A. H. B.; MOLION, L. C. B. Climate analysis: the Hodrick-Prescott filter applied to Southern Oscillation index and North Atlantic Oscillation index. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, p. 307-318, 2015.

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

THOMPSON, D. W. J.; WALLACE, J. M. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. **Geophysical research letters**, v. 25, n. 9, p. 1297-1300, 1998.

WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. Academic press, 2011.