Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

NORMAIS CLIMATOLÓGICAS PARA PELOTAS/RS: AVALIAÇÃO DE PERÍODOS DE SECA ATRAVÉS DO IPP TRIMESTRAL

Climatological normals for Pelotas/RS: Assessment of drought periods through quarterly SPI

Normales climatológicas para Pelotas/RS: Evaluación de períodos de sequía a través del IPP trimestral

Retiele Vellar
Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
vellar.retiele@ufpel.edu.br

Tamara Leitzke Caldeira Beskow
Universidade Federal de Lavras (UFLA)
tamaraleitzkecaldeira@ufla.edu.br

Samuel Beskow
Universidade Federal de Lavras (UFLA)
samuel.beskow@ufla.edu.br

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

Aryane Araújo Rodrigues
Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
aryane03.2@gmail.com

Resumo: Eventos hidrológicos extremos, como secas e enchentes, têm se tornado mais frequentes e intensos no Rio Grande do Sul, o que demanda análises integradas em múltiplas escalas temporais e considerando diferentes variáveis climáticas. Neste contexto, o presente estudo analisou o comportamento do Índice Padronizado de Precipitação (IPP) no município de Pelotas/RS, em duas normais climatológicas (1961–1990 e 1991–2020), com o objetivo de identificar eventos de seca ao longo de seis décadas e relacioná-los ao Índice Oceânico Niño (ONI). Foram utilizados dados de precipitação provenientes da estação meteorológica do INMET, e o IPP foi aplicado na escala de três meses. A análise estatística envolveu testes não paramétricos (Mann-Kendall e Pettitt), e a correlação de Spearman entre o IPP e o ONI. Os resultados indicaram tendência significativa de redução da precipitação na estação e detecção de pontos de mudança nas séries temporais. A frequência de eventos de seca variou entre os dois períodos, destacando-se o aumento de secas moderadas e maior variabilidade na distribuição das chuvas. A correlação entre episódios de seca e a fase fria do ENOS (La Niña) foi estatisticamente significativa, especialmente na escala sazonal. Os achados contribuem para o entendimento da variabilidade climática e são relevantes para ações de monitoramento, mitigação e adaptação aos impactos das secas na região sul do Brasil.

Palavras-chave: Clima. El Niño. Secas meteorológicas. Variabilidade climática. Precipitação.

Abstract: Extreme hydrological events, such as droughts and floods, have become increasingly frequent and intense in Rio Grande do Sul, demanding integrated analyses across multiple temporal scales and involving different climatic variables. In this context, the present study analyzed the behavior of the Standardized Precipitation Index (SPI) in the municipality of Pelotas, southern Brazil, over two climatological normals (1961–1990 and 1991–2020), aiming to identify drought events throughout six decades and to relate them to the Oceanic Niño Index (ONI). Precipitation data obtained from the INMET meteorological station were used, and the SPI was applied at a three-month timescale. Statistical analyses included non-parametric tests (Mann-Kendall and Pettitt) and the Spearman correlation between SPI and ONI. The results indicated a significant decreasing trend in at the meteorological station and identified change points in the time series. The frequency of drought events varied between the two periods, with an increase in moderate droughts and greater variability in rainfall distribution. The correlation between drought episodes and the cold phase of ENSO (La Niña) was statistically significant, especially at the seasonal timescale. These findings contribute to understanding climatic variability and are relevant for monitoring, mitigation, and adaptation actions to drought impacts in southern Brazil.

Keywords: Climate. El Niño. Meteorological droughts. Climatic variability. Precipitation.

Resumen: Los eventos hidrológicos extremos, como sequías e inundaciones, se han vuelto más frecuentes e intensos en el estado de Rio Grande do Sul, lo que demanda análisis integrados en múltiples escalas temporales y considerando diferentes variables climáticas. En este contexto, el presente estudio analizó el comportamiento del Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) en el municipio de Pelotas, Brasil, a lo largo de dos normales climatológicas (1961–1990 y 1991–2020), con el objetivo de identificar eventos de sequía a lo largo de seis décadas y relacionarlos con el Índice Oceánico del Niño (ONI). Se utilizaron datos de precipitación provenientes de estación meteorológica del INMET, aplicando el IPE a una escala de tres meses. El análisis estadístico incluyó pruebas no paramétricas (Mann-Kendall y Pettitt) y la correlación de Spearman entre el IPE y el ONI. Los resultados indicaron una tendencia significativa de disminución de la precipitación en la estación y la detección de puntos de cambio en las series temporales. La frecuencia de los eventos de sequía varió entre los dos períodos, destacándose el aumento de sequías moderadas y una mayor variabilidad en la distribución de las lluvias. La correlación entre los episodios de sequía y la fase fría del ENOS (La Niña) fue estadísticamente significativa, especialmente en la escala estacional. Los hallazgos contribuyen a

la comprensión de la variabilidad climática y son relevantes para las acciones de monitoreo, mitigación y adaptación frente a los impactos de las sequías en el sur de Brasil.
Palabras clave: Clima. El Niño. Sequías meteorológicas. Variabilidad climática. Precipitación.

Submetido em: 30/06/2025
Aceito para publicação em: 02/12/2025
Publicado em: 24/07/2026

1. INTRODUÇÃO

A seca é considerada um dos desastres naturais mais devastadores e onerosos, dada sua recorrência temporal e espacial e seus impactos diretos sobre o sistema produtivo global (Mishra; Singh, 2010; WMO, 2012). Trata-se de um fenômeno natural e complexo, associado à redução prolongada da precipitação (Caldeira et al., 2017), que afeta o ciclo hidrológico e pode ser classificada em quatro tipos: meteorológica, hidrológica, agrícola e socioeconômica (Wilhite, 2000).

No Rio Grande do Sul (RS), a variabilidade climática se manifesta por meio de eventos extremos de seca e cheia. Em maio de 2024, o estado enfrentou sua maior catástrofe climática registrada com inundações em quase todo o território (EMATER, 2024; Collischonn et al., 2024). Apesar disso, secas severas também têm ocorrido com frequência. Em 2022, mesmo com médias nacionais elevadas de precipitação, o RS registrou déficits entre 25% e 50% em relação à média histórica (ANA, 2024), e em 2023, a estiagem atingiu fortemente o sul do estado, especialmente o município de Pelotas, que decretou restrições ao uso da água potável (Pelotas, 2023).

A coexistência de secas e cheias evidencia a complexidade climática da região, agravada por ações antrópicas como urbanização, crescimento populacional e mudanças nos padrões de consumo, alertando que um dos grandes desafios futuros será a gestão dos recursos hídricos (IPCC, 2022; WMO, 2019). Soma-se a isso a influência de fenômenos climáticos como o El Niño Oscilação Sul (ENOS), caracterizado por alterações na temperatura do Pacífico Equatorial, e medido pelo Índice Oceânico Niño (ONI), que afeta diretamente a precipitação no sul do Brasil (Grimm, 2009; Reibota et al., 2021; Arruda et al. 2025; UNIFEI, 2025). Este fenômeno complexo que é resultante da interação entre a atmosfera e o oceano, e apresenta dois componentes, o El Niño, e a La Niña.

Diante do exposto, e tendo em vista a incerteza inerente à dinâmica dos processos hidrológicos, atenta-se que nos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, a produção agrícola continua sendo a principal fonte de renda de regiões rurais (Birara et al., 2018; Rodrigues et al., 2023), sendo notória a importância de estudos sobre uma quantificação adequada das secas (NDMC, 2023).

Diversos estados brasileiros também apresentam parte significativa do seu PIB com base agrícola, como é o caso o Rio Grande do Sul que possui 15% do PIB oriundo desta atividade (IBGE, 2021). No entanto, este setor vem sendo afetado constantemente pelas secas ao longo dos últimos anos, impactando no seu desenvolvimento econômico. A título de exemplo, somente na seca ocorrida no ano de 2020, a produção de soja no estado deixou de colher 7.190.359 toneladas de grãos e, embora existam muitas variáveis envolvidas nesse sistema produtivo como tipo de solo, tecnologias de sementes, cultivo, dentre outros, a carência de água tem sido muito impactante (EMATER, 2024).

Diante disso, torna-se essencial aprimorar a quantificação das secas para mitigar seus impactos (NDMC, 2023), sendo o Índice de Precipitação Padronizado (IPP) uma ferramenta amplamente utilizada para essa finalidade (Mckee et al., 1993). O IPP permite quantificar o déficit ou o excesso de precipitação em diferentes escalas de tempo e seus valores oscilam acima ou abaixo de zero (Hayes et al., 1999).

Neste contexto, o presente estudo analisou o comportamento do IPP trimestral no município de Pelotas-RS, no período de duas normais climatológicas (1961 a 1990, e 1991 a 2020), com o objetivo de identificar eventos de seca ao longo de seis décadas e relacionando o seu comportamento com o ONI.

2. METODOLOGIA

2.1. Caracterização da Área de Estudo

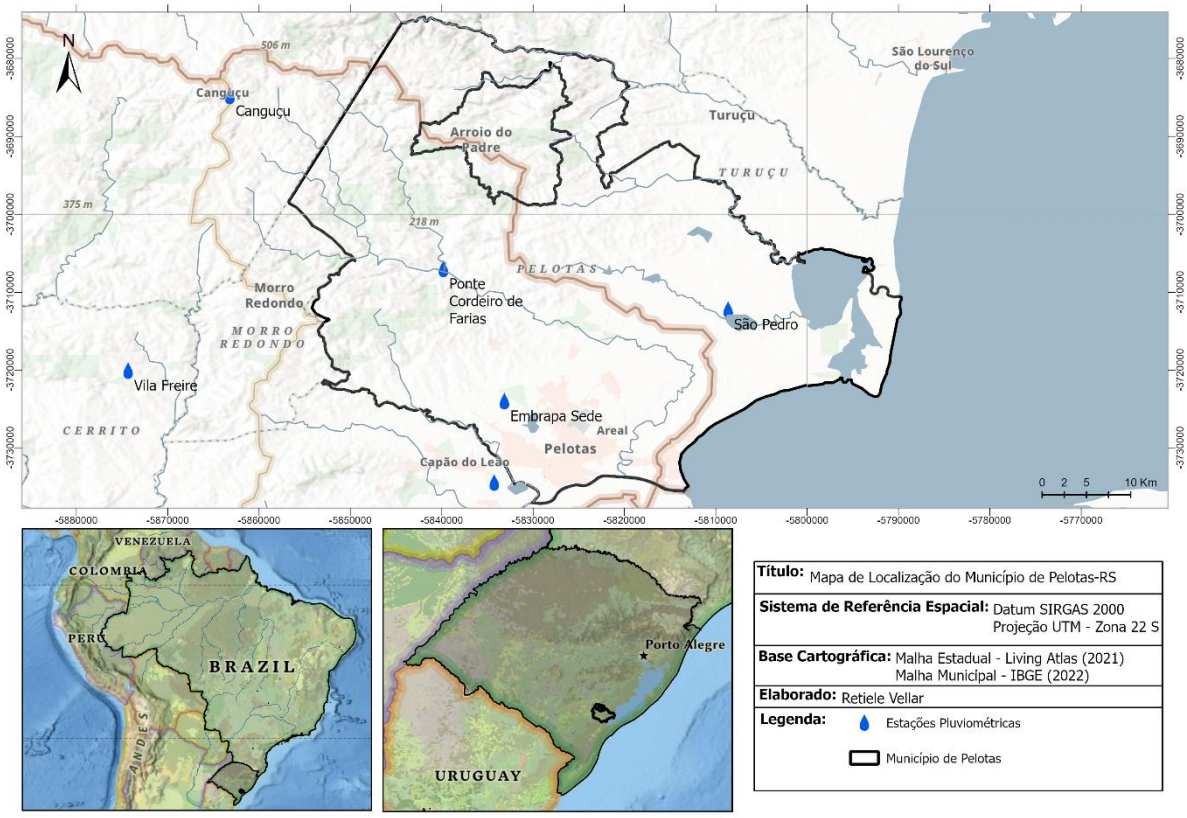
O estudo foi conduzido no município Pelotas, no sul do RS, cuja área territorial é de aproximadamente de 1.608,78 Km² com uma população de 325.689 pessoas (IBGE, 2023). O clima no município é do tipo Cfa - subtropical úmido em todas as estações do ano, com chuva bem distribuída ao longo do ano, verões quentes sem períodos secos, e invernos amenos com períodos de frio intenso, especialmente em função da influência dos ventos vindos do oceano (Alvares et al. 2013). A temperatura média anual é de 17,5°C e a precipitação média anual é de 1382,4 mm (INMET, 2023).

2.2. Dados hidrológicos

Inicialmente foram obtidos dados históricos de Precipitação Total Mensal da estação Agrometeorológica de Pelotas (83895), de responsabilidade do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), considerando o período de 1961 a 1990 e 1991 a 2020.

O preenchimento de falhas da série de precipitação foi realizado com o método da ponderação regional com base na regressão linear (Mello, Silva e Beskow, 2020), utilizando séries históricas de chuva de seis estações pluviométricas vizinhas, sendo quatro obtidas no portal Hidroweb - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e duas junto à Embrapa (Figura 1), cujas características estão apresentadas na Tabela 1.

Figura 1 – Mapa de Localização da área de estudo e estações de monitoramento pluviométrico empregadas no estabelecimento da base de dados temporais para o presente estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 1- Caracterização das estações de monitoramento pluviométrico empregadas no estabelecimento da base de dados temporais para o presente estudo.

Nome	Responsável	Código	Tipo	Latitude	Longitude	Altitude
Sede	CPACT/EMBRAPA	00001	M/P*	-31°42'00''	-52°24'00''	20 (m)
Estação Agrometeorológica de Pelotas	INMET CPACT/EMBRAPA UFPel	83895	M/P	-31°46'48''	-52°24'36''	14 (m)
Ponte Cordeiro de Farias	ANA	3452016	P**	-31°34'12''	-52°27'36''	40 (m)
Canguçu	ANA	3152003	P	-31°24'00''	-52°40'12''	400 (m)
São Pedro	ANA	3153008	P	-31°36´46”	-52°10’40”	3 (m)
Vila Freire	ANA	3152005	P	-31°40'12''	-52°46'12''	250 (m)

*M/P = Meteorológica/Pluviométrica; **P= Pluviométrica

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.3. Análise estatística básica e testes não-paramétricos

Após a constituição das séries a serem utilizadas para o cálculo do IPP, foi realizada uma análise estatística para verificar algumas características das mesmas. Inicialmente foram obtidas estatísticas descritivas básicas como média, desvio padrão, valores mínimos e máximos, assimetria, presença de valores extremos, bem como testada a normalidade das séries utilizando o teste D'Agostino-Pearson (Mello et al., 2020).

Além disso, foi testada a hipótese de estacionariedade das séries de Precipitação Total Mensal, conforme as recomendações da Organização Mundial Meteorológica (WMO) (Irannezhad et al., 2016), isto é, empregando o teste de tendência não-paramétrico Mann-Kendall (MK) (Mann, 1945; Kendall, 1975) associado ao teste Sen’s Slope (SS) (Sen, 1968).

O teste Mann-Kendall (MK) (MANN, 1945; KENDALL, 1975) é amplamente empregado para verificar a existência de tendências monotônicas significativas em séries hidrometeorológicas, principalmente por não exigir que a série seja normalmente distribuída, além de ser pouco afetado por valores outliers (Kendall, 1948; Mann, 1945; Tabari et al., 2011). Já o teste Sen's Slope (SS) (SEN, 1968) tem o objetivo de fornecer a magnitude da tendência significativa na série analisada. O teste seleciona a linha de inclinação mediana formada pelos pares de pontos analisados e contabiliza a magnitude da tendência se significativa (HUANG et al., 2014).

Estes testes foram aplicados com a finalidade de saber se os valores de Precipitação Total Mensal variam significativamente ao longo do período observado ou não e, em caso afirmativo, qual a magnitude dessa variação (seja positiva ou negativa).

2.4. Índice de Precipitação Padronizado (IPP)

O IPP baseia-se na padronização da precipitação, expressando o desvio da precipitação em relação à média histórica de um período específico em unidades de desvio padrão, assumindo distribuição normal da variável (McKee et al., 1993). Dessa forma, o índice representa o número de desvios padrão em que a precipitação observada difere da média climatológica para o período analisado.

Matematicamente, o IPP é obtido a partir da probabilidade cumulativa da precipitação, sendo seu valor linearmente proporcional ao déficit pluviométrico. O índice permite quantificar a probabilidade de ocorrência, o percentual em relação à média climatológica e o déficit acumulado de precipitação. Conforme aumenta o período de análise (12 ou 24 meses) o IPP responde mais lentamente a mudanças na precipitação.

A primeira etapa para o cálculo do IPP consiste no ajuste da série histórica de precipitação acumulada à distribuição Gama. Em seguida, a probabilidade acumulada é transformada para a distribuição normal padrão por meio da função normal inversa (Gaussiana), resultando no valor do IPP (McKee; Doesken; Kleist, 1993).

A função distribuição de probabilidade Gama é dada pela Equação 1:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^{a}\ \Gamma\ (a)}\ x^{a-1}\ e^{\frac{-x}{b}} \qquad (1)$$

Sendo:

a > 0 - parâmetro de forma da distribuição gama

b > 0 - parâmetro de escala da distribuição gama

x > 0 - é a quantidade de chuva precipitada

A função gama Γ(A) é dada pela Equação 2:

$$\Gamma(\alpha) = \int_{0}^{\infty} y^{a-1}\ e^{-y}\ dy \qquad (2)$$

Os parâmetros “a” e “b” da função densidade de probabilidade Gama são estimados para cada estação e escala de tempo de interesse, pelo método da máxima verossimilhança, como demonstrado por Thom (1966), Equação 3, 4 e 5.

$$\hat{a} = \frac{1}{4A}(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \quad (3)$$

$$A = \ln(x) - \frac{\ln \sum_i^n xi}{n} \quad (4)$$

$$b^{\wedge} = \frac{x}{\hat{a}} \quad (5)$$

Sendo:

x - valor médio dos dados de chuva,

n - número de observações com chuva maior do que zero.

A função acumulada de probabilidade Gama pode ser obtida pela Equação (6):

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{a})} \int_0^x t^{\hat{a}-1} e^{-t}\, dt \quad (6)$$

Como a função Gama é indefinida para x = 0, e a distribuição de precipitação pode conter zeros, a probabilidade acumulada é obtida pela Equação 7:

$$H(x) = q + (1 - q)\, G(x) \quad (7)$$

Em que: q é a probabilidade de ocorrer um zero, e, se “m” for o número de zeros em uma série de precipitação, então: $q = \frac{m}{n}$

O valor final do IPP é gerado quando H(x) é então transformada em uma variável normal, por meio das Equações 8, 9, 10 e 11 desenvolvidas por Abramowitz e Stegun, (1964). Sendo:

$$Z = SPI = -(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \quad \text{para: } 0{,}0 < \text{H(x)} \, 0{,}5 \quad (8)$$

$$Z = SPI = +t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}, \quad \text{para: } 0{,}5 < \text{H(x)} \leq 1{,}0 \quad (9)$$

$$t = \sqrt{\frac{1}{(H(x))^2}}), \quad \text{para: } 0{,}0 < \text{H(x)} \leq 0{,}5 \quad (10)$$

$$t = \sqrt{\frac{1}{(1-H(x))^2}}), \text{para: } 0{,}5 < \mathrm{H(x)} \leq 1{,}0 \quad (11)$$

Sendo:

c_0=2,515517; c_1=0,802853; c_2 =0,010328; d_1= 1,432788; d_2 = 0,189269; d_3 =0,001308.

Como eventos de precipitação pluviométrica, são aleatórios na natureza, e caso um determinado período se ajuste à distribuição normal, o SPI (IPP) deve ser ajustado simplesmente a variável reduzida Zi de tal distribuição conforme Equação (12).

$$z_i = SPI = \frac{P_{i-}P_i}{\sigma I} \quad (12)$$

Sendo:

Pi - Precipitação acumulada no período;

Pi - Precipitação média do período em questão;

σI-Desvio padrão da série histórica de precipitação na escala em estudo.

A seca inicia-se quando o IPP atinge valor igual ou inferior a -1 e encerra-se com o retorno a valores positivos. Valores menores ou iguais a -2 indicam seca extrema, enquanto iguais ou superiores a 2 representam umidade extrema (Mckee et al., 1993). Neste estudo, o IPP foi calculado na escala de 3 meses, a partir da média móvel da precipitação total mensal da estação Agrometeorológica de Pelotas (83895), conforme Tabela 2. Os resultados foram categorizados como positivos (períodos úmidos) ou negativos (períodos secos), e classificados em oito categorias conforme a Tabela 2 (Mckee et al, 1993).

Tabela 2- Classificação do IPP

Extremamente Seco	≤ -2,0
Severamente Seco	-1,5 a -1,99
Moderadamente Seco	-1,0 a -1,49
Próximo ao Normal	-0,99 a 0,99
Moderadamente Úmido	1,0 a 1,49
Severamente Úmido	1,5 a 1,99
Extremamente Úmido	≥ 2, 0

Fonte: (Mckee et al, 1993).

Com base nessa classificação do IPP, prossegue-se à análise da variabilidade de grande escala associada ao ENOS, por meio do ONI, a fim de contextualizar os períodos secos e úmidos identificados.

2.5. Correlação entre IPP e Índice Oceânico Niño (ONI)

O Índice Oceânico Niño (ONI) mede o fenômeno acoplado oceano-atmosfera El Niño–Oscilação Sul (ENOS), a partir da média móvel trimestral das anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) na região Niño 3.4 (5°N–5°S, 120°–170°W), sendo referência para identificar os estágios El Niño, Neutro e La Niña (NOAA, 2024). Valores sustentados acima de +0,5°C indicam El Niño; abaixo de -0,5°C, La Niña; e entre -0,5°C e +0,5°C, condição neutra.

Neste estudo, os dados de ONI (1961–2020) foram obtidos junto ao Climate Prediction Center e correlacionados aos valores do IPP por meio do coeficiente de Spearman (α = 0,05), visando identificar correlações significativas. Também foram aplicados os testes de tendência de Mann-Kendall (MK) e Sen's Slope (SS) sobre o IPP para detectar variações temporais no próprio índice e inferir sobre a ocorrência e magnitude de eventos de seca nos últimos 60 anos (Asfaw et al., 2018).

O processamento dos dados, as análises estatísticas e o cálculo do IPP foram conduzidos com o auxílio de scripts em linguagem R de programação, sendo o IPP obtido utilizando o pacote SPEI (Beguería e Vicente-Serrano, 2023).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise Estatística

Na Tabela 3 são apresentadas as principais estatísticas descritivas, bem como o resultado do teste de normalidade das séries históricas de PTM das duas normais climatológicas (1961-1990) e (1991-2020).

Tabela 3 - Resultado das estatísticas descritivas da série de PTM-INMET e teste de normalidade dos dados para as duas normais climatológicas.

INMET 1961-1990								
	Estatística Descritiva						d'Agostinho-Pearson (α 0,05)	
Meses	**Médias**	**Medianas**	**Desvio Padrão**	**Assimetria**	**Valor Máximo**	**Valor Mínimo**	**Normal**	**p-valor**
Janeiro	120,2	131,4	55,7	-0,3	210,2	4,3	yes	0,582678
Fevereiro	132,1	114,9	85,9	0,9	359,8	15,0	yes	0,081422
Março	125,2	112,2	72,5	0,9	301,9	25,3	yes	0,096412
Abril	92,0	78,4	65,1	1,2	250,0	11,0	no	0,022316
Maio	97,4	94,1	58,9	0,7	243,2	11,8	yes	0,194064
Junho	102,8	91,3	64,3	0,6	252,6	6,8	yes	0,398811
Julho	150,1	91,3	81,4	1,2	364,6	42,1	no	0,007620
Agosto	126,0	104,7	78,6	0,4	276,0	20,7	yes	0,086678
Setembro	147,4	140,6	62,3	-0,2	244,2	9,4	yes	0,635098
Outubro	110,1	88,5	65,7	1,4	297,8	28,0	no	0,002748
Novembro	103,1	12,5	68,3	1,2	320,5	19,0	no	0,004731
Dezembro	97,1	89,7	54,3	0,7	236,7	15,3	yes	0,260183
INMET 1991-2020								
Janeiro	120,4	110,9	69,8	0,5	266,0	11,8	yes	0,273230
Fevereiro	155,5	138,9	90,2	0,9	401,1	32,2	yes	0,095899
Março	108,8	98,6	70,2	1,4	343,2	24,5	no	0,001025
Abril	120,8	99,7	83,9	1,0	338,7	2,4	yes	0,057291
Maio	115,4	91,1	95,2	2,3	491,4	5,1	no	0,000000
Junho	114,2	106,2	65,1	0,4	246,2	17,2	yes	0,528995
Julho	130,4	109,8	99,9	2,7	539,7	20,0	no	0,000000
Agosto	114,0	103,0	56,1	0,9	269,8	38,7	yes	0,082408
Setembro	131,3	131,5	57,3	0,1	252,6	46,6	yes	0,812207
Outubro	117,6	106,5	67,9	0,5	264,9	10,0	yes	0,526005
Novembro	94,7	76,4	79,4	2,6	421,3	21,9	no	0,000000
Dezembro	103,2	80,8	75,4	2,0	340,6	28,6	no	0,000008

Fonte: Elaborado pelos autores.

Sobre o comportamento das chuvas para a cidade de Pelotas, foi observado a partir dos valores das médias mensais da PTM que o regime pluviométrico correspondente à primeira normal climatológica (1961-1990) apresentou dois trimestres mais chuvosos ao longo dos 30 anos, sendo um no inverno (médias dos meses de julho, agosto e setembro de

150,00, 126,00 e 147,40 mm respectivamente), e outro no verão (médias dos meses de janeiro, fevereiro e março com 120,20, 132,10 e 125,20 mm, respectivamente), com o maior volume de precipitação observado no mês de julho (364,6 mm), seguido dos meses de fevereiro (359,8 mm) e novembro (320,5 mm).

Diferentemente, na segunda normal climatológica (1991-2020) não foi registrado nenhum trimestre mais chuvoso ao longo do seu período, e a maior média foi pontualmente registrada no verão no mês de fevereiro (155 mm). Já o volume máximo de precipitação foi registrado no mês de julho (539,7 mm), apresentando similaridade com a primeira normal. No entanto, a magnitude do volume máximo é superior na segunda normal, registrando magnitudes elevadas para volumes máximos nos meses maio (491,4 mm), novembro (421,3 mm), e fevereiro (401,1mm).

Em contrapartida, a primeira normal climatológica (1961-1990), observou médias mensais mais baixas nos meses de abril, maio e dezembro (92,00, 97,40 e 97,10 mm) respectivamente, e marcadamente os meses de janeiro (4,3 mm), junho (6,8 mm) e setembro (9,4 mm) registraram os volumes mínimos de precipitação. Já a segunda normal (1991-2020), registra as menores médias no bimestre novembro (94,7mm) e dezembro (103,2mm), e os volumes mínimos no bimestre abril, maio com 2,4 e 5,1 mm respectivamente.

Em relação à normalidade das séries de PTM na primeira normal climatológica (1961-1990), os resultados do teste de d'Agostinho-Pearson indicaram que a PTM é normalmente distribuída em oito meses e em quatro não. Já para a segunda normal climatológica (1991-2020), o teste indicou que a PTM de sete dos meses pode ser descrita pela distribuição normal e cinco não, ao nível de significância de 95% (α= 0,05) para ambas as normais. Esse resultado vai ao encontro a assimetria das séries destes mesmos meses, cujos coeficientes são maiores que 1 (que quando acima de 0 indicam assimetria positiva), e indicam que os valores são assimetricamente distribuídos, ocorrendo majoritariamente abaixo da média.

Ao compará-las, observou-se uma mudança na magnitude média dos valores mensais de PTM, sendo que em seis meses do ano (fev, abr, mai, jun, out, dez) ocorreu um aumento do valor, em um mês (jan) manteve-se o mesmo, e em cinco meses (mar, jul, ago, set) ocorreu uma redução. Notoriamente, ainda foi constatado uma mudança no mês que apresentou a maior média, passando do mês de julho (1961-1990) para o fevereiro (1991-2020), assim

como, o mês que apresentou a menor média deixou de ser abril (1961-1990) e passou a ser novembro (1991-2020).

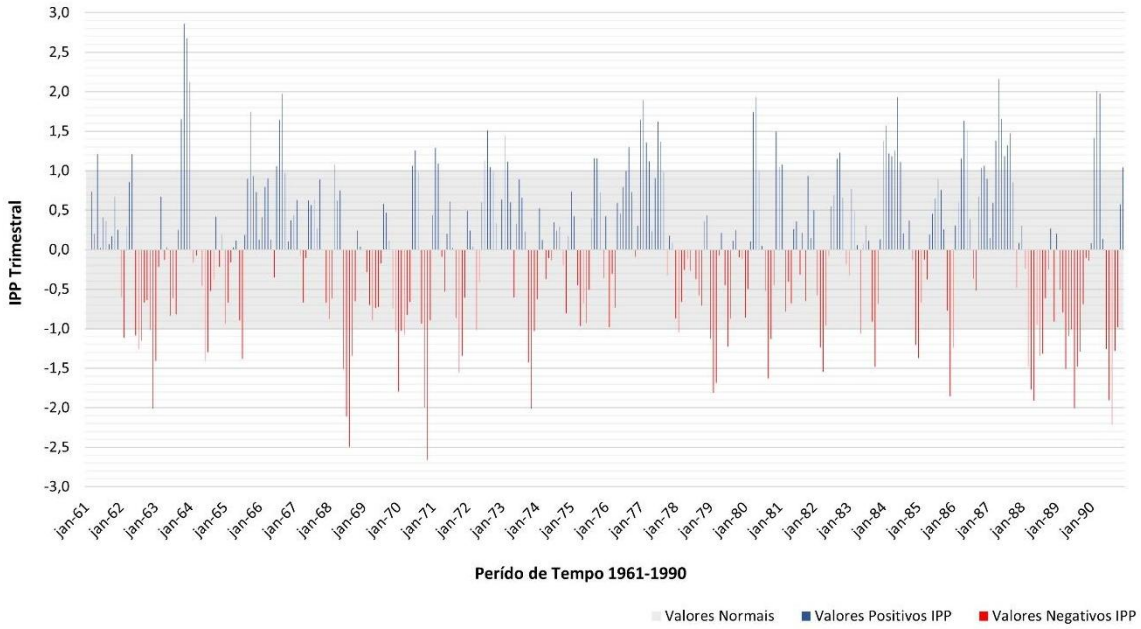
Ainda comparando os valores entre as duas normais, observando os volumes de precipitação máximo mensal, constatou-se um expressivo aumento em nove meses da segunda normal (1991-2020) em relação a primeira (1961-1990), sendo que o valor máximo ocorreu no mês de julho em ambas as normais. Já os meses de junho, agosto e setembro apresentaram uma pequena redução nos seus volumes máximos se comparada as magnitudes observadas na primeira normal com a segunda.

Por fim, para os valores de volumes mínimos mensais, observando a primeira normal em relação a segunda, houve um aumento nas magnitudes mínimas em sete meses, no mês de março manteve-se igual, e houve redução em abril, maio, julho e outubro.

3.2. Índice de Precipitação Padronizada para a Normal Climatológica de 1961 – 1990

Conforme a Figura 2, os valores de IPP abaixo do normal (≤ -1,0) representam 15,60% dos 30 anos de análise (1961-1990) com diferentes graus de severidade. Já os valores de IPP acima do normal (≥ +1) correspondem a 16,11% no mesmo intervalo de tempo.

Figura 2 - Resultado do Índice de Precipitação Padronizada em escala trimestral 1961-1990.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Considerando a classificação da Tabela 2 de Mckee al. (1993), os registros dos menores valores que configuram seca de severidade extrema (≤ -2,0) pontuam sete ocorrências nessa classificação, dos quais os menores valores ocorreram nos meses de novembro de 1970 e agosto de 1968 (-2,66 e -2,49, respectivamente). Já os eventos classificados como extremamente úmidos (≥ +2) pontuam cinco registros do índice, sendo as maiores magnitudes 2,86, 2,68 e 2,16, nos meses de novembro e dezembro de 1963, e maio de 1987, respectivamente.

Para a classificação severamente seca (-1,5 a -1,99), foram registradas ao total treze ocorrências em todo período do estudo, com o valor de maior magnitude observado em outubro de 1970 (-1,99), o mês de abril pontuando mais ocorrências (1982, 1988, e 1989), e o período mais longo sendo observado em fevereiro e março de 1979. Em contrapartida, para a classificação de seca moderada (-1 a -1,49) são observados 36 valores do índice, representando 10% do tempo em estudo.

A análise conjunta da classificação de secas moderadas, severas e extremas indica períodos prolongados dessa anomalia, com destaque nos anos de 1962 quando a seca moderada tem início em fevereiro e posteriormente prolonga-se de junho a agosto, e

novembro, chegando no mês de dezembro no estágio severa, e ainda retornando a moderada em janeiro de 1963.

Já no ano 1968, foram registrados nos meses de junho, julho e agosto uma seca severa, e em setembro uma seca moderada. O ano de 1970 começou com seca severa em janeiro, posteriormente fevereiro e março, com moderada, encerrando outubro e novembro, novamente com seca severa. O ano 1988 destacou-se por apresentar as categorias moderada (março, julho e agosto) intercalando com severa (abril e maio). Marcadamente o período mais longo continuamente da anomalia ocorre em 1989, estendendo-se de abril a setembro entre as categorias, severa, moderada, extrema e moderada respectivamente. Por fim, 1990 apresenta o período de junho a setembro com seca moderada, severa e extrema.

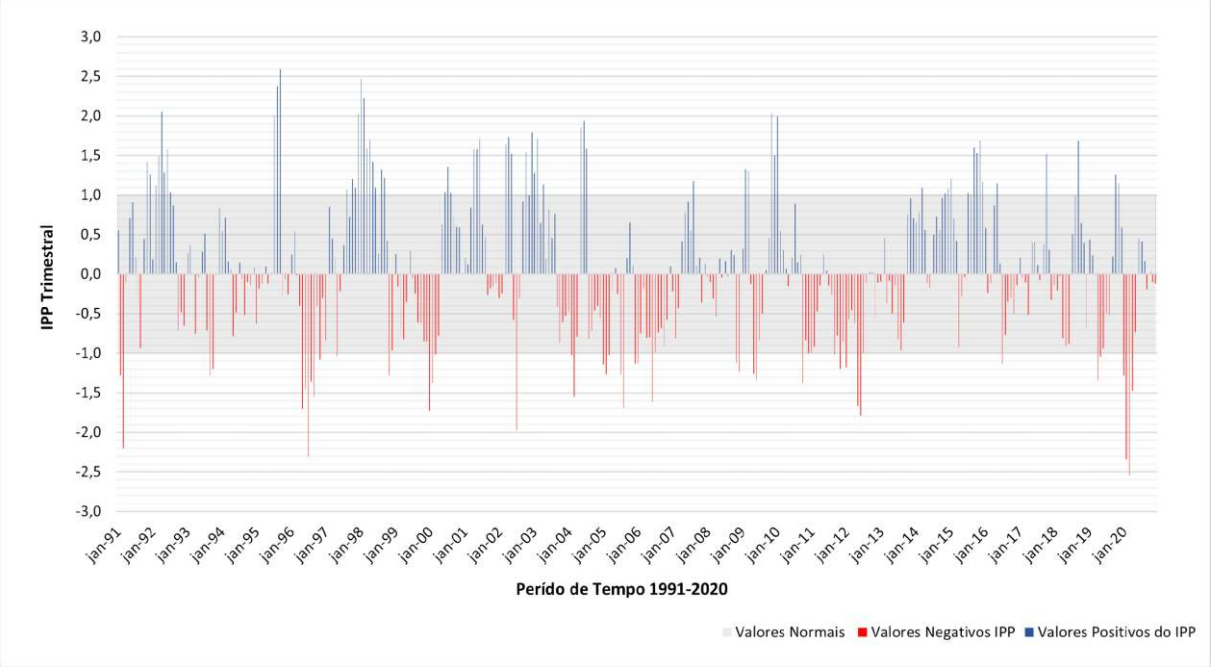
Em contrapartida, os períodos classificados como extremamente úmidos (≥ 2,0) registram apenas cinco ocorrências, com maiores magnitudes no ano de 1963 nos meses de novembro (2,86) e dezembro (2,68) e maio de 1987 (2,16). Semelhante ao observado com a classe dos eventos severamente úmidos (+1,5 a +1,99), que compreende dezessete valores característicos de ocorrerem em bimestres dos anos de 1966 (ago - set), 1977 (jan - fev) e 1980 (abr-mai), e com o mês de junho sendo o que mais ocorre a classificação “severo” do IPP (1984, 1986, 1987).

3.3. Índice Padronizado de Precipitação para a Normal Climatológica de 1991 – 2020

Conforme a Figura 3, foram registrados 49 valores de IPP abaixo do normal (≤ -1,0), representando 13,60 % dos 30 anos de análise (1991-2020) com diferentes graus de severidade de secas. Em contrapartida, também foram observados valores de IPP acima do normal (≥ +1), caracterizando 17,5% no mesmo intervalo de tempo.

Considerando a classificação da Tabela 2 de Mckee et al. (1993), os registros dos menores valores que configuram seca de severidade extrema (≤ -2,0) pontuam quatro ocorrências, caracterizando-se por serem de curta duração, com o maior valor ocorrendo em março de 2020 (-2,55).

Figura 3 - Resultado do Índice de Precipitação Padronizada em escala trimestral 1990 – 2020.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os períodos classificados como severamente secos (-1,5 a -1,99) registraram 13 valores e compreendem os meses de maio e junho de 2012, maio e setembro de 1996, janeiro de 2000, julho de 2002, março de 2004, agosto de 2005 e junho de 2006. Para a classificação de seca moderada (-1,0 a -1,49), são observados 32 valores do índice, representando 8,9% do tempo e caracterizam-se por serem bimestrais (1993 – set e out, 1996 – jun e ago, 2000 – fev e mar), 2008 – nov e dez, 2009 – mai e jun, e 2019 – abr – mai).

A análise conjunta da classificação de secas moderadas, seguida de severas e extremas, indica períodos prolongados dessa anomalia, com destaque nos anos de 1996, nas três categorias da anomalia. Em 2000, como severa e moderada, 2005 na classificação moderada e extrema, e, janeiro de 2006 como moderada. Ainda analisando as secas nas três categorias, destaca-se os anos de 2012 (severa e moderada) e 2020 nos meses de janeiro a abril, o período mais longo extremamente seco nesta normal, pontuando os valores extremos nos meses de fevereiro (-2,34) e março (-2,55).

Analogamente, os períodos classificados como extremamente úmidos (≥ 2,0) registram apenas oito ocorrências, com maiores magnitudes no ano de 1995, setembro (2,60) e agosto (2,37), e 1998 janeiro (2,47), ocorrendo majoritariamente nas estações verão e inverno. Para a classificação severamente úmidos (+1,5 a +1,99) compreende vinte e dois

valores, característicos de ocorrerem em trimestres, como no ano de 2001 (abr, mai, jun), 2002 (mar, abr, mai e ainda out e dez), 2004 (mai, jun, jul) e, 2015 (set, out, nov). Os meses de maior ocorrência de IPP acima do normal são abril, junho e outubro.

3.4. Comparação do IPP das normais (1961-1990) e (1991-2020)

Com base nos dados apresentados, destaca-se algumas diferenças e similaridades nos resultados do (IPP) entre as duas séries históricas (1961-1990 e 1990-2020). Considerando as três classificações de anomalias de secas e a frequência de ocorrência, foi possível verificar uma redução no percentual de eventos de seca na segunda normal (1991-2020), em relação à primeira (1961-1990), passando de 15,6 % para 13,6% respectivamente. Nos períodos úmidos ocorreu o contrário, passando de 16,11% registrados na primeira normal, para 17,5 % na segunda.

A primeira normal climatológica foi marcada por apresentar oito anos secos nas suas diferentes categorias, registrando entre quatro e seis meses com essa anomalia em cada ano, dos quais, 1962, 1968, 1988, 1989 e 1990 os eventos ocorreram predominantemente no período de outono e inverno, e nos anos de 1970, 1973, 1979 pontualmente na primavera e verão, com a maior ocorrência de secas no mês de julho. Em contrapartida, na segunda normal foram registrados 5 anos secos, com quatro, seis e sete meses do evento em cada ano, pontualmente em 1996 a ocorrência da seca ocorreu no inverno e primavera, já os anos de 2000, 2005, 2012 e 2020 a anomalia aconteceu no verão, havendo, portanto, uma pequena alteração na frequência de ocorrências, reduzindo na segunda normal e alterando a sazonalidade, que deixou de ser no inverno na primeira normal e passou a ocorrer na primavera e verão.

Para a categoria secas extremas, houve uma redução no número de ocorrências de 7 para 5 meses, e nas magnitudes dos valores extremos, -2,66 (novembro de 1970), -2,55 (março de 2020), no entanto, as secas severas apresentaram a mesma frequência de ocorrências em ambas as normais, treze registros, representando 3,6 % do período.

Foi conduzida uma análise de tendência nos valores de IPP, para o período das duas normais climatológicas, assim como para o período de sessenta anos que compreende ambas as normais, a fim de verificar se os valores fornecidos pelo IPP apresentaram tendência

significativa de aumento ou de diminuição. Para isso, foi aplicado o teste não-paramétrico Mann-Kendall (MK) associado ao teste Sen's Slope (SS), de acordo com as recomendações da World Meteorological Organization (WMO) (Irannezhad et al., 2016).

O teste MK (Mann, 1945; Kendall, 1975) foi aplicado aos valores de IPP positivos e negativos separadamente a fim verificar se existe tendência significativa de ocorrência de períodos de chuva abaixo do normal ou acima do normal. Também foi analisado separadamente para as categorias de valores negativos e positivos de IPP (extremo, severo e moderado), e para o período de sessenta anos. Por sua vez, o teste SS (Sen, 1968) foi aplicado para identificar a magnitude da tendência em situações de tendência significativa nas séries dos índices.

Tabela 4 - Resultado do Teste Mann-Kendal e Sen's Slope para os valores de IPP.

Período	IPP	Mann-Kendall Test				Sen's Slope
		alpha	MK-stat	p-value	trend	Magnitude
1961-1990	(+)	0,05	1436	0,10155	Não	0,00104
	(-)	0,05	-995	0,17275	Não	-0,00116
1991-2020	(+)	0,05	-852	0,27623	Não	-0,00087
	(-)	0,05	760	0,36354	Não	0,00054
1961-2020	(+)	0,05	1966	0,40080	Não	0,00020
	(-)	0,05	4685	0,03373	Sim	0,00053
1961-2020*	(+)	0,05	-40	0,67216	Não	-0,00040
	(-)	0,05	14	0,84036	Não	0,00080
1961-2021**	(+)	0,05	-827	0,00000	Sim	-0,01692
	(-)	0,05	27	0,88811	Não	0,00012

***Extremos/Severos **Moderados**

Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme o resultado do teste MK e SS apresentados apresentado na Tabela 4, verifica-se que para os valores de IPP tanto positivos como negativos, nas duas normais, não apresentaram tendência significativa de 5% (α = 0,05), no entanto, para o período de sessenta anos (1961-2020), os valores de IPP negativos apresentaram tendência significativa de 5% (α = 0,05). Esse resultado indica uma tendência de aumento nos períodos secos de 1961-2020, na ordem de (0,00053) conforme pode ser verificado no valor da magnitude.

De acordo com o resultado da Tabela 4, tanto para os valores extremos/severos negativos quanto positivos, e para secas moderadas no período de 1961-2020, o teste MK não

constatou tendência significativa de aumento ou diminuição dos valores, diferindo-se por sua vez, dos valores de IPP moderado, que apresentou tendência significativa de 5% (α = 0,05), com magnitude negativa na ordem de -0,01692.

Por fim, diante dos resultados apresentados na Tabela 4, pode-se inferir que existe um aumento significativo na ocorrência de secas no período analisado, indicando um acréscimo muito pequeno na frequência dessa anomalia, mas não necessariamente na severidade delas, visto que para os valores extremos/severos o teste MK não apresentou tendência significativa de 5% (α = 0,05).

Do ponto de vista socioeconômico local, os sinais estatísticos identificados pelo IPP em Pelotas têm se traduzido em impactos concretos e recorrentes. Nas estiagens recentes, o Município registrou perdas agropecuárias superiores a R$ 115 milhões e necessidade de abastecimento alternativo para milhares de famílias, além de ações de contingência no sistema de água para evitar racionamentos. Por outro lado, os episódios de chuva extrema e elevação da Lagoa dos Patos em 2024 culminaram em níveis históricos do Canal São Gonçalo, decretação de calamidade pública, evacuação de áreas ribeirinhas (ex.: Z3, Doquinhas, Pontal da Barra), suspensão de aulas e acolhimento de desabrigados, com efeitos habitacionais prolongados (Prefeitura de Pelotas, 2023;2024). Esses registros corroboram a relevância prática das tendências detectadas (redução de secas extremas e aumento de secas moderadas), indicando que variações no regime hídrico - tanto por déficit quanto por excesso.

3.5. Índice Oceânico Niño (ONI)

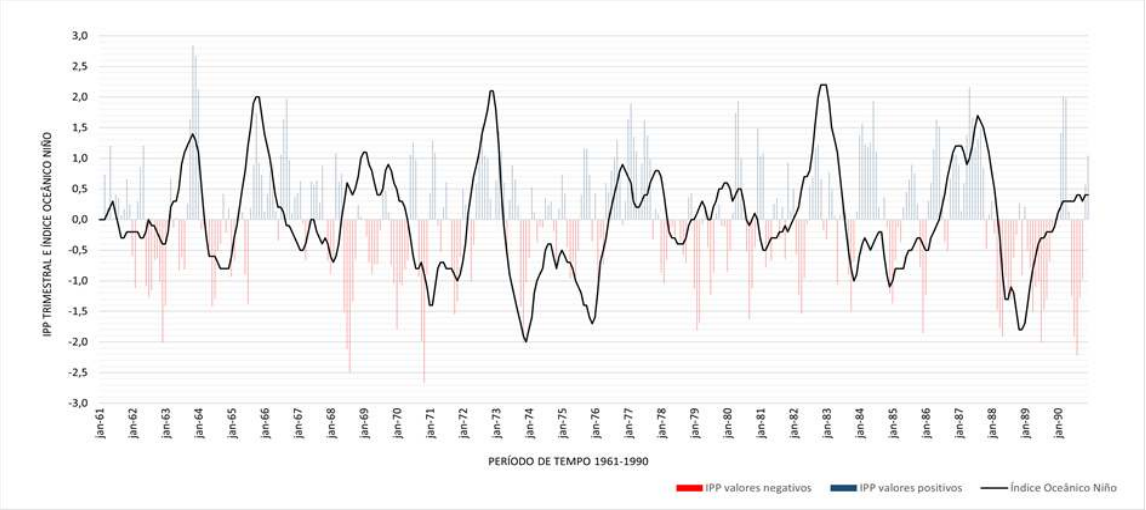
Assim como no IPP, para a análise do ONI considerou-se como primavera os meses de setembro, outubro e novembro, como verão os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, como outono os meses de março, abril e maio e como inverno os meses de junho, julho e agosto.

No período de 1961 à 1990, foram registrados 11 eventos na fase quente (El Niño) do ONI, conforme a Figura 4, dos quais nos anos 1963 (jun) à 1964 (fev), 1969 (ago) à 1970 (jan), caracterizam-se por iniciarem no inverno e terminarem no verão. Já os anos 1965 (mai) à 1966 (abr) o evento começou e terminou no outono, e em 1991 (mai) à 1992 (jun), 1982 (abr) à 1983 (jun) os eventos começaram no outono e terminaram no inverno.

Por sua vez, os eventos que começaram na primavera e terminaram no verão caracterizam-se por serem de menor duração e ocorreram nos anos 1976 (set) à 1977 (fev), 1977 (set) à 1978 (jan), 1979 (out) à 1980 (fev), com exceção do evento mais longo registrado nos 30 anos, que começou e terminou nas mesmas estações (primavera e verão respectivamente) mas durou 18 meses consecutivos, estendendo-se de 1986 (set) a 1988 (fev).

Já na fase fria do ONI (La Niña), conforme a Figura 4, foram observadas 7 ocorrências nos anos de: 1964 (mai) à 1965 (jan), 1970 (jul) à 1972 (jan), 1973 (mai) à 1974 (jul), 1974 (out) à 1976 (abr), 1983 (set) à 1984 (jan), 1984 (out) à 1985 (ago), 1988 (mai) à 1989 (mai), com o período mais longo registrando 18 meses consecutivos, iniciando no inverno (julho de 1970) e terminando no verão (janeiro 1972).

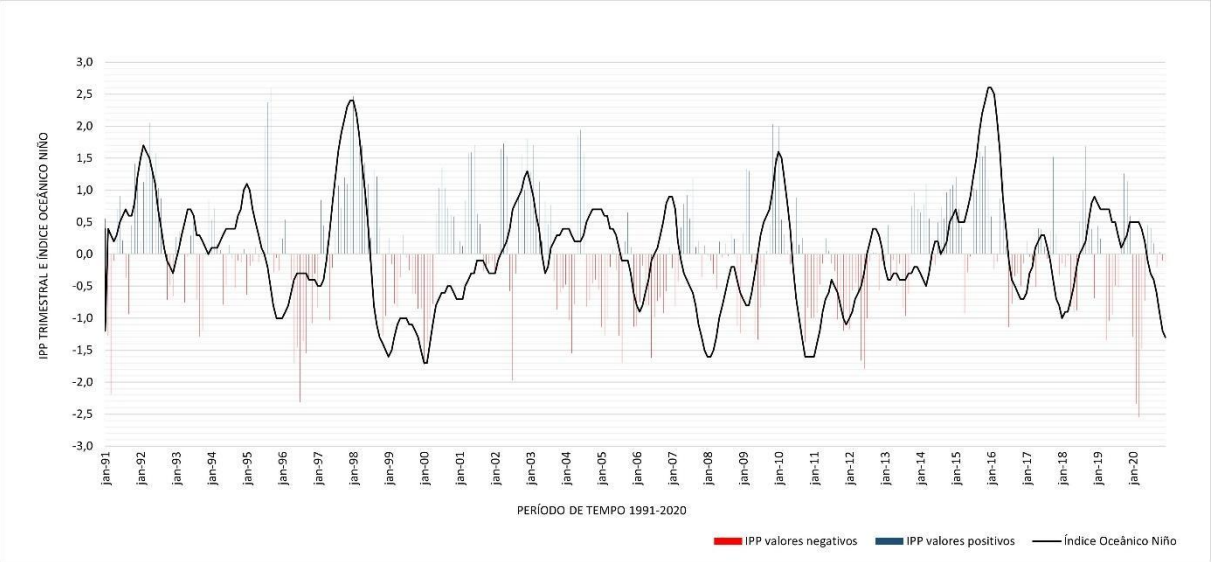
Figura 4 – Oscilação do ONI e IPP trimestral para a estação INMET no período de 1961-1990.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para a segunda normal, 1991-2020, o ONI registra ao total 9 eventos de períodos quentes (El Niño), conforme Figura 5, dos quais, o maior período registrado teve duração de mais de 2 anos, estendendo-se da primavera de 2014 até o outono de 2016. Outros períodos de longa duração registram 1 ano e 2 a 3 meses, observados com início no outono (nos meses de maio de 1991 e 1997) e término no inverno de 1992 (jun). Os maiores valores observados para o índice ONI encontram-se nos períodos de 1997-1998 e 2014-2016, na magnitude de 2,4 °C e 2,6 °C acima da temperatura normal (TSM).

Figura 5 – Oscilação do ONI e IPP trimestral para a estação INMET no período de 1991-2020.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Sobre os períodos frios (La Ninã), identificou-se ao total nove registros de eventos dentro dos 30 anos de estudo, com o período mais longo com duração de 2 anos e 7 meses, início no inverno (julho de 1998) e término no verão (fevereiro de 2001), apresentando valores de magnitudes superiores a -1 °C para grande parte do período.

Observa-se ainda eventos de La Niña com início na estação de inverno e término no verão, nos anos de 1995 e 2016, de agosto a dezembro, e com início na primavera em 2005 (nov), 2008 (nov) e 2017 (out), com término no verão em 2006 e 2009 (mar) e outono em 2018 (abr) respectivamente, todos compreendendo o período inferior a um ano.

Foi conduzido o teste de correlação de Spearman (Tabela 5) nos períodos de 1961-1990, 1991-2020 e 1961-2020, cujo resultado apresentou correlação significativa e positiva entre o Índice Padronizado de Precipitação e o Índice Oceânico Niño, indicando que estes dois índices oscilam para o mesmo sentido. Embora essa correlação, por ser analisada em escala anual seja considerada fraca (na primavera, por exemplo, a correlação pode chegar a 0,5) (Sousa, 2019), as magnitudes dos *p-valores* indicam uma correlação muito significativa, ou seja, há correlação significativa fraca em escala anual, no entanto, é maior quando analisada sazonalmente.

Tabela 5 - Resultados da correlação de Spearman entre o IPP e o ONI para 1961-1990, 1991-2020 e 1961-2020.

Período	Spearman	Alpha	p-value
1961-1990	0,245895348	0,05	2,41238E-06
1991-2020	0,267483	0,05	2,68318E-07
1961-2020	0,263778876	0,05	4,21885E-13

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Os padrões observados neste estudo, que apontam para correlações significativas entre os eventos do ENOS e a variabilidade da precipitação, são reforçados pelos achados de Bressan (2024), que em sua análise das séries históricas de anomalias pluviométricas entre 1981 e 2020 no sul do Rio Grande do Sul, identificou aumento na frequência de meses anômalos, especialmente de eventos consecutivos de déficit hídrico, durante anos associados à fase fria do ENOS (La Niña). Destacam-se os anos de 1988, 1989, 2008, 2010, 2017 e 2020, que coincidem com os registros de La Niña apresentados neste trabalho, sugerindo consistência entre os dois estudos quanto à influência do ENOS sobre a precipitação regional.

Além disso, a identificação de eventos anômalos simultâneos em diversas estações pluviométricas no estudo de Bressan (2024), com destaque para o ano de 1989, quando 14 estações registraram déficits consecutivos de precipitação, converge com a nossa constatação de que a fase fria do ONI entre maio de 1988 e maio de 1989 apresentou valores de magnitude moderada, refletindo-se diretamente nos valores negativos do IPP trimestral. A análise de Bressan (2024) também destaca o impacto de episódios prolongados de La Niña sobre a redução da regularidade das chuvas, especialmente em anos como 2008, 2010 e 2020, os quais, neste estudo, também apresentaram correlação entre a redução da precipitação e o comportamento do ONI.

A associação estatisticamente significativa entre IPP e ONI, especialmente na escala sazonal, traduz-se em efeitos práticos no município. Em fases de El Niño, historicamente ligadas a chuvas acima da média no RS, Pelotas tem registrado enchentes e evacuações (ex.: evento de 2024, com abrigos e resgates no Laranjal), além de prejuízos ao setor primário e interrupções de atividades econômicas. Já durante La Niña, quando se intensificam déficits hídricos no Sul do Brasil, o município e seu entorno enfrentam estiagens prolongadas, com perdas agropecuárias expressivas e ações emergenciais de abastecimento (Prefeitura de Pelotas, 2024). Assim, a modulação ENSO indicada pelo ONI ajuda a explicar a alternância de

impactos locais - de excesso (cheias/alagamentos) a escassez (seca) - reforçando a relevância do IPP como indicador operativo de risco climático para Pelotas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, constata-se que o comportamento da precipitação mensal em Pelotas-RS apresentou alterações significativas entre as duas normais climatológicas analisadas (1961–1990 e 1991–2020). Tais diferenças são evidentes nas médias mensais, nos valores extremos e na distribuição estatística dos dados, com impacto direto na frequência e identificação de secas pelo Índice Padronizado de Precipitação (IPP).

A análise das séries de precipitação mensal (PTM) evidenciou uma tendência de aumento nos valores médios de diversos meses do ano, com destaque para os meses de fevereiro, maio e novembro, que apresentaram valores máximos de precipitação notavelmente superiores na segunda normal climatológica (1991-2020) em relação à primeira (1961-1990). Em contrapartida, os volumes mínimos de precipitação em alguns meses demonstraram redução, sugerindo uma maior variabilidade intra-anual.

O comportamento do IPP revelou diferenças na frequência e intensidade dos eventos de seca e umidade. Na normal climatológica de 1961-1990, os eventos de seca (IPP ≤ -1,0) representaram 15,6% do período, enquanto na normal de 1991-2020 essa proporção caiu para 13,6%. Em contrapartida, os eventos de excesso de chuva (IPP ≥ +1,0) aumentaram de 16,1% para 17,5% entre os dois períodos, indicando um possível deslocamento do regime pluviométrico para condições mais úmidas em alguns momentos do ano.

As categorias de seca extrema apresentaram diminuição tanto em número quanto em magnitude na segunda normal, enquanto as secas moderadas mostraram uma tendência significativa de aumento ao longo do período total de 60 anos (1961-2020), conforme identificado pelo teste de Mann-Kendall (MK) associado ao Sen's Slope. Esse resultado é reforçado pela identificação de uma tendência estatisticamente significativa de aumento nos valores de IPP negativos, indicando um incremento sutil, mas persistente, na ocorrência de eventos de seca, especialmente na categoria moderada. Os efeitos destas constatações se traduziram em, principalmente, perdas na produção primária e queda de renda rural, pressão sobre o abastecimento urbano, pecuária e pastagens afetadas e a colocação da gestão pública em alerta contínuo, integrando estado e município.

Em relação ao Índice Oceânico Niño (ONI), observou-se que os eventos associados à fase quente (El Niño) e à fase fria (La Niña) apresentam padrões distintos nas duas normais analisadas. A segunda normal (1991-2020) registra eventos mais intensos e duradouros de El Niño, como o de 2014-

2016, que durou mais de dois anos. Os eventos de La Niña também apresentaram durações expressivas, como o registrado entre 1998 e 2001. A correlação de Spearman entre o IPP e o ONI, embora fraca em escala anual, mostrou-se estatisticamente significativa nos três períodos analisados, sugerindo uma influência real, especialmente quando analisada sazonalmente. A associação estatisticamente significativa entre IPP e ONI, especialmente na escala sazonal, traduz-se em efeitos práticos no município: quando o ONI sinaliza El Niño, Pelotas tende a enfrentar excesso de chuva, cheias/ressacas lagunares, interrupção de serviços e danos a moradias/empresas; quando sinaliza La Niña, aumentam riscos de estiagem, perdas agropecuárias e pressão sobre o abastecimento urbano.

Portanto, os resultados obtidos indicam alterações relevantes nos padrões de precipitação e na ocorrência de secas no município de Pelotas/RS, evidenciando uma maior variabilidade climática e uma frequência crescente de secas moderadas ao longo das seis décadas analisadas. A correlação estatisticamente significativa com o ONI reforça a necessidade de considerar indicadores climáticos globais na análise regional de eventos extremos, contribuindo para o aprimoramento de estratégias de monitoramento e mitigação.

Diante disso, reforça-se a importância do monitoramento contínuo da precipitação e da compreensão integrada de padrões climáticos de larga escala, como o ENOS. Considerando a relevância da agricultura para a economia regional e sua vulnerabilidade frente às variações climáticas, compreender a dinâmica das secas torna-se essencial para o planejamento hídrico e a segurança alimentar. Nesse contexto, os achados deste estudo ressaltam a urgência de políticas públicas que promovam a resiliência climática, incentivem o uso racional dos recursos hídricos e incorporem sistemas de previsão e monitoramento hidrometeorológico como suporte à tomada de decisões em contextos de crescente incerteza climática.

REFERÊNCIAS

ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I. A. (ed.). **Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables**. Washington: National Bureau of Standards, 1964. (Applied Mathematics Series, 55).

ADMINISTRAÇÃO ATMOSFÉRICA E OCEÂNICA NACIONAL (EUA). Serviço Meteorológico Nacional. **Forecast**. Estados Unidos: NOAA, 2023. Disponível em: https://forecast.weather.gov/MapClick.php?CityName=Russell&state=KS&site=ICT&textField1=38.8879&textField2=-98.8535. Acesso em: jun. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2023**: informe anual. Brasília: ANA, 2024.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L. de; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ARRUDA, A. M. de; CENTENO, L. N.; NUNES, A. B. Relation between major climatic indices and subseasonal precipitation in Rio Grande do Sul State, Brazil. **Meteorology**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 5, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.3390/meteorology4010005. Acesso em: 3 jun. 2025.

BARBOSA, F. **Seca causou prejuízo de mais de R$ 36 bilhões para a economia do RS, aponta Farsul**. Globo Rural: Agricultura, São Paulo, 2020. Disponível em: https://globorural.globo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2020/06/seca-causou-prejuizo-de-mais-de-r-36-bilhoes-para-economia-do-rs-aponta-farsul.html. Acesso em: jan. 2024.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Plataforma Hidroweb**. Brasília, DF: ANA, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/ana. Acesso em: 12 jan. 2025.

BRASIL. Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações meteorológicas – RS**. Brasília, DF: INMET, 2025. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/servicos/mapa-de-estacoes-meteorologicas. Acesso em: 12 jan. 2025.

BRESSAN, L. M. **Estudo climatológico das secas meteorológicas na bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo no Rio Grande do Sul**. 2024. 108 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2024.

CALDEIRA, T. et al. Estimativa do armazenamento de água no solo a partir da modelagem hidrológica em sub-bacias hidrográficas. **In**: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2017, Florianópolis. Anais [...]. Porto Alegre: ABRHidro, 2017. p. 1-8.

CENTRO NACIONAL DE MITIGAÇÃO DAS SECAS. **Mapas de monitoramento EUA**. Nebraska: NDMC, 2023. Disponível em: https://unldroughtcenter.maps.arcgis.com/apps/dashboards/46afe627bb60422f85944d70069c09cf. Acesso em: jan. 2023.

COLLISCHONN, W. et al. **Volume de chuva em maio de 2024 foi maior do que o da enchente de 1941 no RS, dizem pesquisadores**. GZH – Dados do IPH da UFRGS, Porto Alegre, 2024. Disponível em: https://gauchazh.clicrbs.com.br. Acesso em: 9 ago. 2024.

EMATER/RS-ASCAR. **Impacto das chuvas e cheias extremas no Rio Grande do Sul em maio de 2024**. Porto Alegre: EMATER/RS, 2024. Disponível em: https://estado.rs.gov.br/upload/arquivos/202406/relatorio-sisperdas-evento-enchentes-em-maio-2024.pdf. Acesso em: 22 jun. 2024.

FERNANDES, V. R. et al. Secas e os impactos na região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 28, p. 561-584, 2021.

GRIMM, A. M. Clima da Região Sul do Brasil. **In**: CAVALCANTI, I. F. A. et al. (org.). Tempo e clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 135-147.

HAYES, M. J. et al. Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, v. 80, n. 3, p. 429-438, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados**: Pelotas. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/pelotas.html. Acesso em: 8 set. 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2014**: impacts, adaptation, and vulnerability. Cingapura: IPCC, 2022. Disponível em: https://www.ipcc.ch. Acesso em: jun. 2023.

IRANNEZHAD, M. et al. Century-long variability and trends in daily precipitation characteristics at three Finnish stations. **Advances in Climate Change Research**, Beijing, v. 7, n. 2, p. 54-69, 2016.

KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. 4. ed. Londres: Charles Griffin, 1975.

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

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**, Chicago, v. 13, n. 3, p. 245-259, 1945.

MANN, H. B.; WHITNEY, D. R. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. **The Annals of Mathematical Statistics**, Baltimore, v. 18, n. 1, p. 50-60, 1947.

MCKEE, T. B. et al. The relationship of drought frequency and duration to the time scales. **In**: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8., 1993, Anaheim. Proceedings [...]. Boston: American Meteorological Society, 1993. p. 179-184.

MCKEE, T. B. et al. Drought monitoring with multiple time scales. **In**: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 9., 1995, Boston. Proceedings [...]. Boston: American Meteorological Society, 1995. p. 233-236.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; BESKOW, S. **Hidrologia de superfície**: princípios e aplicações. Lavras: Editora UFLA, 2020.

MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. A review of drought concepts. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 391, n. 1-2, p. 202-216, 2010.

NOBRE, C. A. et al. Some characteristics and impacts of the drought and water crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. **Journal of Water Resource and Protection**, Irvine, v. 8, n. 2, p. 252-262, 2016.

ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL. **Plano estratégico futuro para água e clima**. Genebra: OMM, 2019. (n. 1225). Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10251. Acesso em: jun. 2023.

PELOTAS. Decreto nº 6.690, de 6 de janeiro de 2023. Restringe o uso de água fornecida pelo Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas – SANEP, fixa sanção pelo descumprimento, e dá outras providências. **Diário Oficial do Município**, Pelotas, 6 jan. 2023. Disponível em: https://leismunicipais.com.br/a/rs/p/pelotas/decreto/2023/669/6690/decreto-n-6690-2023-restringe-o-uso-de-agua-fornecida-pelo-servico-autonomo-de-saneamento-de-pelotas-sanep-fixa-sancao-pelo-descumprimento-e-da-outras-providencias. Acesso em: 30 jan. 2023.

REBOITA, M. S. et al. Influência dos diferentes tipos do fenômeno El Niño na precipitação da América do Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 14, n. 2, p. 729-742, 2021.

RIO GRANDE DO SUL. Governo do Estado. **Atlas socioeconômico do Rio Grande do Sul**: economia (agropecuária). Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2021. Disponível em: https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/agropecuaria. Acesso em: 12 jan. 2025.

RODRIGUES, A. A. et al. Tendência e variabilidade da chuva no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 32, p. 179-206, 2023.

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

SPEARMAN, C. The proof and measurement of association between two things. **American Journal of Psychology**, Champaign, v. 15, n. 1, p. 72-101, 1904.

THOM, H. C. S. Normal degree days above any base by the universal truncation coefficient. **Monthly Weather Review**, Washington, v. 94, n. 7, p. 461-465, 1966.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ. Ciências Atmosféricas. **Teleconexões**: índices. Itajubá: UNIFEI, 2025. Disponível em: https://meteorologia.unifei.edu.br/teleconexoes/indices. Acesso em: 12 jan. 2025.

VICENTE-SERRANO, S. M. et al. A multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. **Journal of Climate**, Boston, v. 23, n. 7, p. 1696-1718, 2010.

WILHITE, D. A. Drought as a natural hazard: concepts and definitions. **In**: WILHITE, D. A. (ed.). Drought: a global assessment. London: Routledge, 2000. v. 1, p. 3-18.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Standardized Precipitation Index**: user guide. Genebra: WMO, 2012. (n. 1090). Disponível em: https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_en_2012.pdf. Acesso em: 20 jun. 2024.