

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

HENRIQUE GIROTTO

**ANÁLISE DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO E DE ESTIAGEM NA
REGIÃO NORDESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

CAXIAS DO SUL

2020

HENRIQUE GIROTTO

ANÁLISE DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO E DE ESTIAGEM NA
REGIÃO NORDESTE DO RIO GRANDE DO SUL

Trabalho de Conclusão de Curso entregue como parte dos requisitos para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade de Caxias do Sul, sob a orientação do Prof. Dr. Taison Anderson Bortolin e coordenação da Prof. Dra. Renata Cornelli.

CAXIAS DO SUL

2020

HENRIQUE GIROTTO

**ANÁLISE DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO E DE ESTIAGEM NAS
REGIÕES NORDESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso entregue como parte dos requisitos para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade de Caxias do Sul.

09 de Dezembro de 2020

Orientador

Prof. Dr. Taison Anderson Bortolin

Universidade de Caxias do Sul – UCS

Banca Examinadora

Prof. Ms. Tiago Panizzon

Universidade de Caxias do Sul - UCS

Ms. Sofia Helena Zanella Carra

Humboldt-Universität zu Berlin

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus pais, Olívio e Lia por tornarem a graduação possível e pelo apoio incessante durante todos os anos da minha vida. Agradeço aos meus familiares que, de uma forma ou de outra, auxiliaram a minha caminhada até aqui.

Agradeço ao meu orientador e professor Dr. Taison Anderson Bortolin pela paciência, apoio, ensinamentos, disponibilidade e compreensão durante a realização deste trabalho e durante a graduação.

Agradeço a contribuição de todos os docentes da Engenharia Ambiental que muito contribuíram para que eu chegasse até o fim do curso com uma carga de conteúdo rica.

Agradeço também aos colegas de curso e amigos que de várias formas auxiliaram a minha evolução: Thays, Julia, Nathalia, Igor.

Finalmente, agradeço aos amigos pela amizade que persistiu mesmo a distância: Luis, Luiza, Paola e Laura.

RESUMO

Este trabalho faz uma análise de eventos extremos de precipitação e estiagem em três municípios da região nordeste do Rio Grande do Sul: Bento Gonçalves, Caxias do Sul e Passo Fundo. Os eventos climáticos extremos, como estiagens e enchentes provocam efeitos adversos em diversos setores da sociedade, como a economia, a saúde e condição de vida da população. Para tanto, através de dados de precipitação entre 1961 e 2020 disponibilizados pelo BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa) e pela ANA (Agência Nacional de Águas) é apresentada uma análise da frequência relativa de chuvas intensas com precipitação maior que 50 mm/dia para cada um dos três municípios. Além disso é feita uma análise rítmica de um caso de precipitação intensa para identificação dos fenômenos meteorológicos responsáveis pela alta pluviosidade registrada neste evento pontual. Ainda, é feita a aplicação do Índice de Precipitação Normalizada (SPI) em diferentes escalas de tempo para identificação de períodos úmidos e secos registrados ao longo dos anos analisados. A influência do fenômeno ENOS (*El-Niño* Oscilação Sul) nestes períodos indicados pelo SPI também é discutida utilizando os índices MEI.v2 (Índice Multivariado ENSO) e SOI (Índice Padronizado de Oscilação Sul). A comparação dos índices do ENOS com os períodos indicados pelo SPI mostrou que apesar de influenciar alguns eventos, a ocorrência dos fenômenos no Pacífico não é determinante para definir um período como seco ou chuvoso na região em estudo.

Palavras-chave: Eventos extremos. Precipitação. Estiagem. SPI. ENOS.

ABSTRACT

This assignment makes an analysis of extreme events of precipitation and drought in three municipalities of the northeast region of Rio Grande do Sul, Brazil: Bento Gonçalves, Caxias do Sul and Passo Fundo. Extreme weather events, such as droughts and floods, have adverse effects on several sectors of society, such as the economy, health and living conditions of the population. For this purpose, using precipitation data between 1961 and 2020 made available by BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa) and ANA (Agência Nacional de Águas) an analysis of the relative frequency of intense rainfall with precipitation greater than 50 mm/day is presented for each of the three municipalities. In addition, a rhythmic analysis of a case of heavy rainfall is made to identify the meteorological phenomena responsible for the high rainfall recorded in this event. In addition, the Standardized Precipitation Index (SPI) is applied on different time scales for the identification of wet and dry periods recorded over the years analyzed. The influence of the ENSO (*El-Niño* South Oscillation) phenomenon on these periods indicated by the SPI is also discussed using the MEI.v2 (ENSO Multivariate Index) and SOI (South Oscillation Standardized Index) indexes. The comparison of the ENSO indexes with the periods indicated by the SPI showed that although it influences some events, the occurrence of the phenomena in the Pacific is not determinant to define a period as dry or rainy in the studied region.

Keywords: Extreme events. Precipitation. Drought. SPI. ENSO.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração de sistemas de alta pressão (A) e de baixa pressão (B)	21
Figura 2 - Tipos de precipitação	23
Figura 3 - Zonas de pressão e ventos em um globo em rotação	26
Figura 4 - Relação entre precipitação e diferentes áreas de pressão no globo.	26
Figura 5 - Centros dispersores das massas de ar na América do Sul.....	28
Figura 6 - Representação de frentes frias e polares	29
Figura 7 - Fases do ENOS	32
Figura 8 - Localização dos três municípios em estudo.....	39
Figura 9 - Fluxograma metodológico	40
Figura 10 - Localização das Estações BDMEP e ANA.....	43
Figura 11 - Número de dias por década em que a chuva superou 50, 75, 100 e 125 mm/dia em Bento Gonçalves	53
Figura 12 - Número de dias por década em que a chuva superou 50, 75, 100 e 125 mm/dia em Caxias do Sul	55
Figura 13 - Número de dias por década em que a chuva superou 50, 75, 100 e 125 mm/dia em Passo Fundo.....	58
Figura 14 - Número de dias por década em que a chuva superou 50, 75, 100 e 125 mm/dia em cada estação	59
Figura 15 - Precipitação mensal média Bento Gonçalves	60
Figura 16 - Índice SOI para ENOS no período 1961-2020.....	61
Figura 17 - Índice MEI.v2 para ENOS no período 1979-2020.....	62
Figura 18 - Precipitação mensal média Caxias do Sul.....	69
Figura 19 - Precipitação mensal média Passo Fundo	76
Figura 20 – Precipitação anual entre 1961 e 2019 em Bento Gonçalves, Caxias do Sul e Passo Fundo	85
Figura 21 – Análise rítmica para evento extremo do dia 07/07/2020	89
Figura 22 – Imagens do satélite GOES 16 canal 13 entre os dias 03 e 10/07/2020 .	90
Figura 23 – Cartas sinóticas entre os dias 05 e 08/07/2020	91

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Estações do BDMEP	42
Tabela 2 - Estações ANA	42
Tabela 3 - Distância entre estações	44
Tabela 4 - Classificação do SPI	47
Tabela 5 - Contagem de eventos extremos de precipitação máxima diária para cada mês em Bento Gonçalves	51
Tabela 6 - Frequência e tempo de retorno dos eventos de precipitação intensa em Bento Gonçalves	51
Tabela 7 - Número de dias por década em que a chuva superou 50, 75, 100 e 125 mm/dia	52
Tabela 8 - Contagem de eventos extremos de precipitação e precipitação máxima diária para cada mês em Caxias do Sul.....	53
Tabela 9 - Frequência relativa e tempo de retorno dos eventos de precipitação intensa em Caxias do Sul	54
Tabela 10 - Número de dias em que a chuva superou 50, 75, 100 e 125 mm/dia	55
Tabela 11 - Número de eventos de precipitação intensa e precipitação máxima diária para mês em Passo Fundo	56
Tabela 12 - Frequência relativa e tempo de retorno dos eventos de precipitação intensa em Passo Fundo.....	57
Tabela 13 - Número de dias por década em que a chuva superou 50, 75, 100 e 125 mm/dia	57
Tabela 14 - SPI-3 Bento Gonçalves	65
Tabela 15 - SPI-6 Bento Gonçalves	66
Tabela 16- SPI-12 Bento Gonçalves	67
Tabela 17- SPI-24 Bento Gonçalves	68
Tabela 18 - SPI-3 Caxias do Sul	72
Tabela 19 - SPI-6 Caxias do Sul	73
Tabela 20 - SPI-12 Caxias do Sul	74
Tabela 21 - SPI-24 Caxias do Sul	75
Tabela 22 - SPI-3 Passo Fundo	79
Tabela 23 - SPI-6 Passo Fundo	80

Tabela 24 - SPI-12 Passo Fundo	81
Tabela 25 - SPI-24 Passo Fundo	82
Tabela 26 - Início, fim, duração e SPI médio para valores negativos (estiagem) de SPI em Bento Gonçalves, Caxias do Sul e Passo Fundo	83
Tabela 27 - Início, fim, duração e SPI médio para valores negativos (chuvas intensas) de SPI em Bento Gonçalves, Caxias do Sul e Passo Fundo	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Água
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
ENOS	<i>El-Niño</i> Oscilação Sul
JBN	Jatos de Baixos Níveis
MEI	Índice Multivariado ENSO
SOI	Índice Padronizado de Oscilação Sul
SPI	Índice de Precipitação Normalizada
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

1	
INTRODUÇÃO	133
2 OBJETIVO	155
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	155
3 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 EVENTOS EXTREMOS	16
3.1.1 PRECIPITAÇÃO INTENSA	17
3.1.2 ESTIAGEM.....	18
3.2 ELEMENTOS CLIMÁTICOS	18
3.2.1 Temperatura	19
3.2.2 Umidade Do Ar	19
3.2.3 Pressão Atmosférica	20
3.2.4 Vento	21
3.2.5 Chuva	21
3.2.5.1 Formação de Nuvens	22
3.2.5.2 Tipos de Precipitação	22
3.2.6 Radiação Solar	24
3.3 DINÂMICA ATMOSFÉRICA.....	24
3.3.1 Massas de Ar no Brasil.....	27
3.3.2 Frentes	28
3.4 FENÔMENOS OCEÂNICOS.....	30
3.4.1 Pacífico	30
3.5 FENÔMENOS ATMOSFÉRICOS (SISTEMAS SINÓTICOS).....	33
3.5.1 Complexos Convectivos de Mesoescala	33
3.5.2 Sistema Frontal	33
3.5.3 Jato De Baixos Níveis	34

3.5.4 Zona de Convergência do Atlântico Sul	34
3.5.5 Ciclones extratropicais	35
3.6 ANÁLISE RÍTMICA	35
3.7 ÍNDICES	36
3.7.1 Índice De Precipitação Normalizada (SPI)	36
3.7.2 <i>El-Niño</i> Oscilação Sul	37
3.7.2.1 Índice Multivariado ENSO (MEI).....	38
3.7.2.2 Índice Padronizado de Oscilação Sul (SOI)	38
4 METODOLOGIA	39
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	39
4.2 DADOS DE PRECIPITAÇÃO	41
4.2.1 Estações Meteorológicas	41
4.2.2 Dados de precipitação	42
4.2.2.1 Correção de falhas	43
4.3 ANÁLISE DE EVENTOS EXTREMOS	44
4.3.1 Frequência Relativa	44
4.3.2 Índice De Precipitação Normalizada (SPI)	45
4.4 INFLUÊNCIA DE FENÔMENOS GLOBAIS	48
4.4.1 Fenômeno ENOS	48
4.4.1.1 Índice Multivariado ENSO (MEI).....	48
4.4.1.2 Índice Padronizado de Oscilação Sul (SOI)	48
4.5 FENOMENOS ATMOSFÉRICOS	49
5 RESULTADOS	50
5.1 FREQUÊNCIA RELATIVA	50
5.1.1 Bento Gonçalves	50
5.1.2 Caxias do Sul	53
5.1.3 Passo Fundo	55

5.1.3 Relação entre as três cidades	
5.2 ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO NORMALIZADA (SPI) E RELAÇÃO COM FENÔMENO ENOS	60
5.2.1 Bento Gonçalves	60
5.2.2 Caxias do Sul	69
5.2.3 Passo Fundo	76
5.2.4 Relação entre as três cidades	83
5.3 ANÁLISE RÍTMICA	86
6 CONCLUSÕES	92
REFERÊNCIAS	93
Apêndice 1 – Valores do Índice Multivariado ENSO (MEI) de acordo com NOAA (2020a)	106
Apêndice 2 – Valores mensais do Índice Padronizado de Oscilação Sul (SOI), adaptado de BOM (2020)	107

1 INTRODUÇÃO

O estudo do clima terrestre abrange as características da atmosfera observadas de forma contínua durante um certo período de tempo através da análise de dados e eventos em uma determinada localidade. Ademais, desvios em relação a médias, variabilidades climáticas, condições extremas e frequência de eventos que ocorrem sob determinada condição de tempo também são considerações observadas em estudos climáticos (INMET, 2020a).

É perceptível a importância destes estudos quanto à influência que o clima exerce sobre as pessoas e sobre o meio ambiente e seus impactos na economia, na perda de vidas e até mesmo no movimento de populações (WMO, 2019). No leste da África, a variação climática já afeta a migração temporária de pessoas, enquanto que na América do Sul, os efeitos de migração são notados principalmente quando associados às mudanças de temperatura (MUELLER *et al.*, 2019; THIEDE *et al.*, 2016) e surge, com isto, um novo conceito de refugiado climático (BERCHIN *et al.*, 2017). No Brasil, com uma população urbana de mais de 80%, as cidades são áreas mais propensas para o enfrentamento das mudanças na frequência e intensidade de eventos extremos por causa de seu enorme impacto na população, acarretando altos custos monetários e perdas de vida (NOBRE *et al.*, 2010).

Além disso, os extremos climáticos refletem a vulnerabilidade e exposição de alguns ecossistemas e da sociedade humana, em diferentes regiões do Brasil, por exemplo, estiagens e chuvas intensas já causam impactos significativos nos setores econômicos, nos ecossistemas, nos meios de subsistência e na saúde humana (MATA-LIMA *et al.*, 2013; RIBEIRO *et al.*, 2014; GRIGOLETTO *et al.*, 2016). Estes eventos, necessitam, cada vez mais, de previsibilidade e medidas de controle que são conquistadas a partir de coleta e interpretação de dados e analisados através de estudos específicos.

Os eventos extremos no clima podem ser divididos de acordo com seu tempo de duração: de pequena duração, como ciclones tropicais, e de duração mensal e anual, como estiagens. Esses eventos climáticos extremos ocorrem de acordo com a variabilidade natural do clima, porém, um agravante desta situação é o aumento da temperatura média no planeta que tem efeito direto na vida das pessoas (MARENGO, 2009).

O ano de 2019 foi o segundo mais quente já registrado no mundo, com 1,1°C acima da média de 1850-1900 (WHO, 2020). Este aumento de temperatura tem

consequência direta nos padrões de precipitação que pode significar excesso ou escassez de chuva nas diferentes regiões do mundo. Além disso, esta variabilidade no clima causa impactos na saúde, com ondas de calor; na disponibilidade de alimentos, com estiagens severas; e na realocação de pessoas, com inundações causados por intensos ciclones.

No Brasil, o Anuário Climático de 2018 mostra que neste mesmo ano, a temperatura média foi 0,7°C acima da normal climatológica de 1981-2010 (RAMOS; ALVES; DINIZ; MARENGO, 2018). E ainda, de acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (UFSC, 2013), que apresentou uma análise no país entre 1991 e 2012, os eventos climáticos extremos que afetaram o maior número de pessoas no Brasil foram estiagem e enxurradas. Neste período, foram 19.517 registros de estiagem/secas e 7.310 registros de enxurradas no país.

No Estado do Rio Grande do Sul a variabilidade da precipitação durante o ano sofre influência de condições climáticas remotas e locais. As condições remotas, como o *El Niño* e *La Niña*, de ocorrência no Pacífico Equatorial, são oscilações climáticas associadas com eventos que influenciam o clima no estado (SLEIMAN; SILVA, 2010). Além disto, o território sul-rio-grandense está localizado em uma área de transição climática, com Sistemas Atmosféricos Extratropicais (massas e frentes polares) e Intertropicais (massas tropicais e Correntes Perturbadas), que proporcionam a distribuição de chuva durante todo ano (SARTORI, 2003).

Nos últimos anos têm sido registrados eventos extremos de chuva e estiagem no estado, tal como em 2007/2008, em que uma estiagem apresentou efeito econômico expressivo na economia estadual (FOCHEZATTO; GRANDO, 2011) ou, em 2008, em que inundações na região do Vale do Taquari afetaram mais de 83.500 pessoas, devido a chuvas intensas (ECKHARDT *et al.*, 2013). E mais recentemente, em julho de 2020, em que chuvas intensas acumularam mais de 100 mm/dia em diversas cidades (METSUL, 2020).

Tendo em vista os problemas que eventos climáticos extremos podem ocasionar sobre a vida de populações, este trabalho visa a coleta e interpretação de dados para um estudo climático. Com isso, através da análise de dados de precipitação espera-se entender as condições que propiciam chuvas intensas e estiagens em três municípios localizados nas regiões Norte e Nordeste do Rio Grande do Sul: Bento Gonçalves, Caxias do Sul e Passo Fundo.

2 OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é a avaliação de eventos extremos de precipitação e estiagem em três municípios da região nordeste do Rio Grande do Sul: Bento Gonçalves, Caxias do Sul e Passo Fundo.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Reunir dados sobre padrões climáticos e identificar o histórico de eventos extremos em três municípios da região nordeste do Rio Grande do Sul.
- b. Avaliar o comportamento dos eventos extremos de estiagem e chuva na região em estudo.
- c. Avaliar a frequência de eventos extremos de precipitação em três municípios das regiões nordeste do Rio Grande do Sul.
- d. Avaliar eventos severos e extremos de seca e de chuva nas diversas escalas de tempo para fins climatológicos e de monitoramento.
- e. Analisar a influência do fenômeno *El Niño*-Oscilação do Sul (ENOS) durante eventos extremos de estiagem e chuva.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Este referencial teórico aborda conceitos relevantes acerca de fenômenos climatológicos e índices que são necessários para o entendimento e realização deste trabalho.

3.1 EVENTOS EXTREMOS

As mudanças na frequência e intensidade dos eventos extremos climáticos de curta duração são uma das principais preocupações da sociedade por causa de seu expressivo impacto na população (NOBRE *et al.*, 2010). Kron *et al.* (2012) classifica eventos extremos de acordo com sua origem em:

- a. Eventos geofísicos: os geológicos que envolvem processos erosivos, de movimentação de massa e deslizamentos resultantes de processos geológicos ou fenômenos geofísico: compreendem terremotos, erupções vulcânicas, tsunamis e movimentos de massa.
- b. Eventos meteorológicos: compreendem tempestades, tormentas, ciclones extratropicais e tropicais, tornados e vendavais.
- c. Eventos hidrológicos: envolvem processos que resultam em inundações bruscas e graduais, alagamentos, movimentos de massa (deslizamentos);
- d. Eventos climatológicos: compreendem os processos que resultam em temperaturas extremas (ondas de calor ou de frio), estiagens, incêndios florestais, geadas e chuvas de granizo.
- e. Eventos biológicos: situações em que ocorre infestação de gafanhotos, praga de vermes e doenças epidêmicas em plantas.
- f. Eventos extraterrestres: que envolvem impactos de asteroides e tempestades solares.

Entre os eventos extremos mais alarmantes, ao que diz respeito aos impactos à população, estão os relacionados com precipitações intensas e estiagens (NOBRE *et al.*, 2010).

3.1.1 PRECIPITAÇÃO INTENSA

A precipitação ocorre quando a água condensada na atmosfera atinge a superfície na forma líquida ou sólida. É um processo que resulta em uma força gravitacional maior que a força que mantém a umidade suspensa. Pode ocorrer através de três principais formas: chuva, neve ou granizo (TORRES, MACHADO 2012).

Na busca pela definição de precipitações intensas, Konrad et al. (1997) estudou 312 eventos extremos de chuva nos Estados Unidos e definiu que o evento com duração de 6 horas que acumula no mínimo 50 mm de precipitação é chamado de precipitação intensa. Teixeira e Satyamurty (2007), ao estudarem precipitação intensa no sul do Brasil definiram o critério no qual a isoietas de 50 mm em 24 h cobrisse uma área de no mínimo 10.000 km².

Na América do Sul, enchentes ocorrem devido às intensas precipitações provenientes de sistemas frontais de Mesoescala que podem ser mais acentuadas quando outros sistemas sinóticos atuam, de acordo com a variabilidade de cada região (CAVALCANTI, 2012). No Sul do Brasil, os extremos de precipitação que ocasionam enchentes estão relacionados principalmente com desenvolvimentos convectivos, sistemas frontais e Zona de Convergência do Atlântico Sul (CAVALCANTI, 2012; EICHHOLZ *et. al.*, 2015).

Para o Sul do Brasil, a tendência de precipitação mostra que para precipitações intensas ($P \geq 50$ mm/dia), a frequência tem aumentado quando observada a série histórica 1960-2004. Além disso, análises de séries mensais e anuais mostram que esta região apresentou tendência para aumento de 5% nos totais de precipitação (PINHEIRO, GRACIANO, SEVERO, 2013; TEIXEIRA, SATYAMURTY, 2011).

No Rio Grande do Sul, as chuvas persistentes – com duração de 5 ou mais dias e acumulado total igual ou superior a 60 mm – ocorrem com maior frequência no inverno e primavera e é a região Leste do Estado a mais afetada por estes eventos persistentes (TEIXEIRA *et al.*, 2019). Em escala de tempo anual, o norte do Estado registra mais chuva que o sul, isso pode ser explicado pela orografia do norte mais montanhoso e pela atuação, no verão, de sistemas de origem tropical enquanto os sistemas frontais apresentam tendências de ficarem estacionários na região (BRITTO *et al.*, 2008).

3.1.2 ESTIAGEM

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2020), estiagem é um fenômeno natural que pode ser “(...) entendida como deficiência em precipitação (chuva) por um extenso período de tempo, resultando em escassez hídrica (...)”. Este fenômeno apresenta repercussões negativas no sistema ecológico, econômico, social e cultural de um local. Ressalta-se que a intensidade, duração e impactos gerados depende das características climáticas e hidrológicas da região afetada. Para a Embrapa, a principal consequência deste fenômeno é que é considerado um importante limitante que afeta a segurança alimentar e sobrevivência de populações.

Bueti *et al.* (2019) afirmam que existem quatro tipos de estiagens: meteorológica, hidrológica, socioeconômica e na agricultura:

- a. Meteorológica: representa uma escassez temporária de água proveniente de precipitação;
- b. Hidrológica: representa a escassez da água subterrânea,
- c. Na agricultura: é a escassez de precipitações que impactam a colheita;
- d. Socioeconômica: representa a falta de água para a vida urbana.

O autor ainda propõe um novo conceito, a estiagem urbana, que se insere como um subtipo da estiagem socioeconômica. A estiagem urbana é a escassez de água nas áreas urbanas causadas por déficit na oferta de água ou por um aumento súbito na demanda de água (BUETI *et al.*, 2019).

No Rio Grande do Sul, a região do estado com maior ocorrência de estiagens é o Oeste (KULMAN *et al.*, 2014; GROSS, 2015) principalmente nas estações do verão, outono e inverno. Além disto, os maiores períodos consecutivos em meses de duração de estiagens também foram registrados nesta região do estado (GROSS, 2015).

3.2 ELEMENTOS CLIMÁTICOS

Os elementos climáticos aqui abordados são de interesse para o entendimento dos itens que serão posteriormente apresentados neste trabalho, e, de início, é necessário compreender a diferença entre fator e elemento climático.

Esta diferença é discutida por Mendonça e Danni-oliveira (2007) que consideram elementos climáticos os atributos físicos que representam as propriedades da atmosfera geográfica de um local. Os elementos mais comuns são

temperatura, umidade, pressão que ocasionam precipitação, vento, nebulosidade e ondas de frio e de calor. Já os fatores do clima, de acordo com Sartori (2003) podem ser dinâmicos, determinando a gênese do clima e controlando os tipos de tempo e podem ser fatores geográficos regionais como latitude, altitude, relevo, vegetação, continentalidade/maritimidade sendo responsáveis pela variação dos elementos climáticos.

3.2.1 Temperatura

De acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007), a temperatura do ar é a medida de calor sensível, que se detecta, armazenado no ar. Para Torres e Machado (2012) a temperatura é a condição que determina o fluxo de calor que passa de uma molécula para a outra e é definida em termos do movimento de moléculas, quanto mais rápido esse movimento, mais elevada a temperatura é.

A variação temporal da temperatura ocorre devido a trajetória diária e anual do Sol, que define a quantidade de energia que chega à atmosfera gerando aquecimento (MENDONÇA, DANNI-OLIVEIRA 2007) pela absorção de radiação infravermelha terrestre e pela transferência turbulenta de calor na superfície do planeta (BARRY, CHORLEY 2013).

Ainda de acordo com Torres e Machado (2012) a temperatura sofre influência de diversos fatores, dos quais se destacam altitude, latitude e os efeitos da maritimidade e da continentalidade.

3.2.2 Umidade Do Ar

Para Torres e Machado (2012), a quantidade de vapor de água presente na atmosfera é o termo utilizado para descrever umidade relativa. A umidade do ar é resultante da evaporação da água contida na superfície do planeta e da evapotranspiração de animais e plantas, sendo a taxa de evaporação. Ainda de acordo com o autor, a presença de vapor de água depende do calor e sua concentração é determinada pelo aumento da temperatura, assim, quanto maior o grau de calor, o ar se torna mais quente e se expande, tanto maior a umidade do ar.

A relação de Clausius–Clapeyron, que descreve o aumento da capacidade de retenção de umidade na atmosfera de acordo com a temperatura, e é considerada como um guia para quantificar o futuro aumento dos extremos de precipitação (WANG, 2017). Gao *et al.* (2020) identificou, utilizando a relação Clausius–Clapeyron na China,

que as chuvas extremas no país aumentam com a temperatura, mas, apesar disto, diminuem quando de temperaturas muito altas.

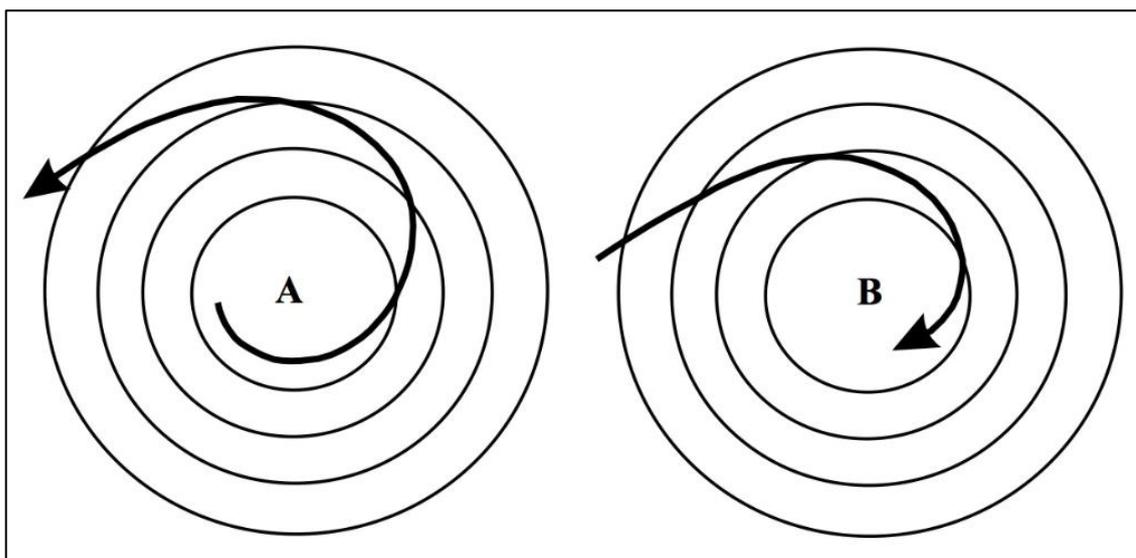
3.2.3 Pressão Atmosférica

A camada de ar que envolve a Terra é chamada de atmosfera e o peso que a coluna de ar exerce em determinado ponto da superfície terrestre é chamado pressão atmosférica (TORRES, MACHADO 2012). A pressão é influenciada por diversos fatores, entre eles a temperatura e altitude se destacam.

O aquecimento do ar ocasiona um aumento da energia cinética das moléculas constituintes produzindo um maior número de colisões entre elas. Isso faz com que as moléculas se afastem umas das outras, causando expansão do ar, ou seja, diminuição da pressão atmosférica. O oposto acontece quando o ar esfria, em que a densidade do ar é maior e conseqüente pressão atmosférica maior (MENDONÇA, DANNI-OLIVEIRA 2007).

De acordo com Torres e Machado (2012), a altitude também tem influência na pressão, pois quanto mais elevada a altitude menor será a coluna de ar sobre este local e, portanto, menor será a pressão atmosférica. Ainda de acordo com o autor, existem duas denominações para áreas com diferentes pressões. Áreas de pressão alta são chamadas de anticiclones e são dispersoras de vento. Já as áreas de baixa pressão são denominadas de ciclones e são receptoras de vento. Os mecanismos de convergência e divergência do ar juntamente com as variações de temperatura são os motivos de variação de pressão. A Figura 1 ilustra o funcionamento dos sistemas de pressões diferentes.

Figura 1 - Ilustração de sistemas de alta pressão (A) e de baixa pressão (B)



Fonte: Torres e Machado (2012).

3.2.4 Vento

O movimento do ar sobre a superfície terrestre é chamado de vento e ocorre de duas formas principais. A primeira é o gradiente de pressão atmosférica e é descrito por Torres e Machado (2012) como “o movimento gerado em virtude da existência de pressões diferentes (...)”. Ou seja, visando atingir o equilíbrio entre as áreas de pressões diferentes, o vento se desloca de áreas de alta pressão para área de baixa pressão. O efeito Coriolis é resultado do movimento de rotação da Terra e age sobre o vetor de deslocamento do vento, desviando, assim, o vento de sua trajetória original. Existe diferença entre este efeito nos dois hemisférios terrestres, no Sul o vento é defletido para a esquerda e no Norte é para a direita (MENDONÇA, DANNI-OLIVEIRA 2007).

Além disso, existem os ventos locais que são resultados da formação de gradientes locais de pressão devido a diferenças térmicas, como os ventos entre montanhas e vales e as brisas entre mar e terra. Podem também ocorrer devido aos efeitos de uma barreira topográfica sobre o fluxo de ar que passa por esta área (BARRY, CHORLEY 2013).

3.2.5 Chuva

De acordo com o INMET (2020a), chuva é o resultado da condensação que ocorre na atmosfera que caem em direção ao solo quando as gotículas superarem as

correntes verticais de ar. A medida de chuva é feita milímetros e quantidade de chuva que ocorre em um determinado lugar em um determinado tempo, é medida pelo pluviômetro.

3.2.5.1 Formação de Nuvens

As nuvens são compostas por gotículas de água e impurezas presentes no ar e são formadas através de mudanças adiabáticas na temperatura do ar (TORRES, MACHADO, 2012), ou seja, o ar sofre expansão/compressão rapidamente sem que exista tempo suficiente para ocorrer transferência de calor.

Ainda de acordo com os autores, o principal processo de formação de nuvens é o resfriamento por expansão adiabática, isto é, em dias quentes formam-se bolhas de ar quente, menos densas, que acabam por subir para níveis mais altos da atmosfera. Quando esta bolha encontra uma pressão atmosférica mais baixa, ela sofre expansão e se resfria provocando a diminuição da capacidade de retenção de vapor de água, isto causa saturação e condensação do ar contido na bolha e formam-se gotículas de água na superfície de pequenas impurezas sólidas existentes no ar atmosférico (TORRES, MACHADO 2012 apud. SOARES, BATISTA, 2004).

Existem diferentes tipos de nuvens e para este trabalho foi adotada a determinação de quatro tipos de acordo com o Centro de Previsão de tempo e Estudos Climáticos (CPTEC-INPE, 2020a). Nuvens altas, associadas com tempo estável são constituídas pelos tipos Cirrus, Cirruscumulus e Cirrustratus. Nuvens médias constituídas por Altostratus e Altocumulus, são formadas na frente de tempestade e raramente produzem chuvas. Nuvens baixas, associadas a precipitações fracas e contínuas e também aos nevoeiros, são constituídas por Stratus, Stratocumulus. Nuvens de desenvolvimento vertical constituídas por Nimbostratus, Cumulus e Cumulonimbus, e caracterizadas por produção de chuva moderada a aguaceiros violentos.

3.2.5.2 Tipos de Precipitação

A precipitação pode ocorrer de três principais formas de acordo com Barry e Chorley (2013): convectiva, orográfica e ciclônica (ou frontal).

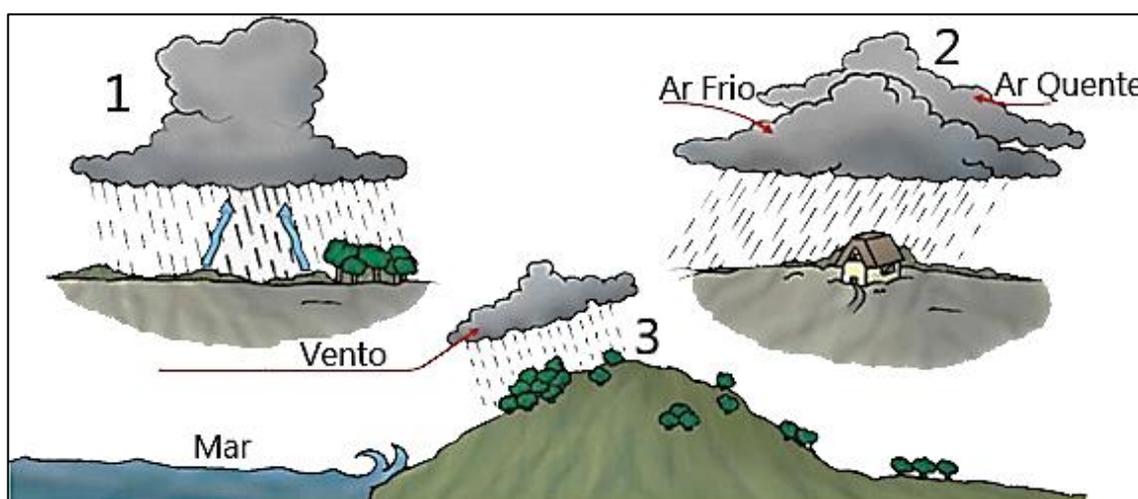
A precipitação tipo convectiva é associada a nuvens de desenvolvimento vertical e podem ser divididas em categorias de acordo com o grau de organização espacial:

- a. Células convectivas dispersas que se desenvolvem durante o verão quando há forte aquecimento na superfície. Essa categoria abrange pequenas áreas, mas que são atingidas por pancada forte e breves.
- b. Quando ar frio e úmido passa sobre uma superfície aquecida pancadas de chuva, neve ou granizo podem se formar. Ocorre em área dispersa e tem rápida duração.
- c. Em ciclones tropicais, principalmente durante o estágio de dissipação do ciclone, pode ocorrer chuva forte e prolongada causada por células de cumulonimbus afetando grandes áreas.

A precipitação tipo orográfica ocorre devido a diversos efeitos gerados por uma barreira orográfica, como montanhas, mesmo que pequenas (30–50m). Estas barreiras geram a ascensão forçada de ar promovendo resfriamento adiabático, condensação e precipitação. Além disso, montanhas podem gerar convecção devido ao aquecimento diurno e ventos ascendentes. Como este tipo de precipitação ocorre repetidamente nos mesmos locais, os totais acumulados são grandes.

A precipitação do tipo ciclônico ou frontal tem como mecanismo essencial de formação a ascensão de ar pela instabilidade causada pelo encontro de duas massas de ar, uma quente e outra fria. As características de precipitação variam de acordo com o estágio de desenvolvimento e o tipo de sistema de baixa pressão, mas podem gerar precipitação moderada e contínua e grandes áreas. A Figura 2 ilustra os três tipos de precipitação aqui citados: convectiva (1), frontal (2) e orográfica (3).

Figura 2 - Tipos de precipitação



Fonte: adaptado de Comdema Cruzeiro (2019)

3.2.6 Radiação Solar

A radiação solar global é a quantidade de energia solar incidente na superfície da Terra, sendo composta pela irradiância solar direta e pela irradiância solar difusa. A radiação solar é a principal fonte de energia da Terra, sendo assim, determinante em diversos processos, dentre eles o tempo e o clima, a fotossíntese, o aquecimento e a evaporação (EMBRAPA, 2012).

Bottino e Neto (2003) reconhecem a importância que a radiação solar representa e destacam a sua relevância para a meteorologia e para a disponibilidade de energia no planeta. Pruski *et al.* (2010) destaca que para algumas aplicações meteorológicas, o conhecimento do balanço de radiação na superfície é necessário, como para a previsão de curto e longo prazo, e cita, ainda, a importância que dados de radiação solar representam para diferentes categorias de modelagem (hidrológica, dinâmica de vegetação, entre outros).

3.3 DINÂMICA ATMOSFÉRICA

A circulação geral da atmosfera compreende o processo de movimentação do ar sendo causado, principalmente, pelas diferenças de temperatura e pressão da superfície terrestre (GOULART, FOGAÇA, 2018). Para Torres e Machado (2012), a circulação atmosférica é muito complexa devido a diversos fatores envolvidos que, através de diferenças de pressão mantém a atmosfera em constante movimento, entre os quais estão a heterogeneidade da superfície terrestre, a diferença de incidência de radiação solar e o próprio movimento de rotação da terra.

A radiação que chega a diferentes níveis de latitude no globo mostra as regiões que recebem mais ou menos energia e como isto afeta o movimento do ar na atmosfera. A região intertropical apresenta valor crescente de radiação à medida que se aproxima da linha do Equador, já as regiões temperadas apresentam menores valores até atingir um mínimo de radiação incidente nas calotas polares. A resposta deste balanço de energia é o aquecimento do ar no Equador, diminuição de densidade e conseqüente ascendência deste ar para a atmosfera. Em contrapartida, nas calotas polares o resfriamento do ar gera aumento da densidade e subsidência (descendência) do ar na atmosfera. O aquecimento que ocorre no Equador gera uma região de baixa pressão (BP), enquanto que o constante resfriamento do ar nos polos gera uma região de alta pressão (AP) (TORRES, MACHADO 2012). A Figura 3 mostra

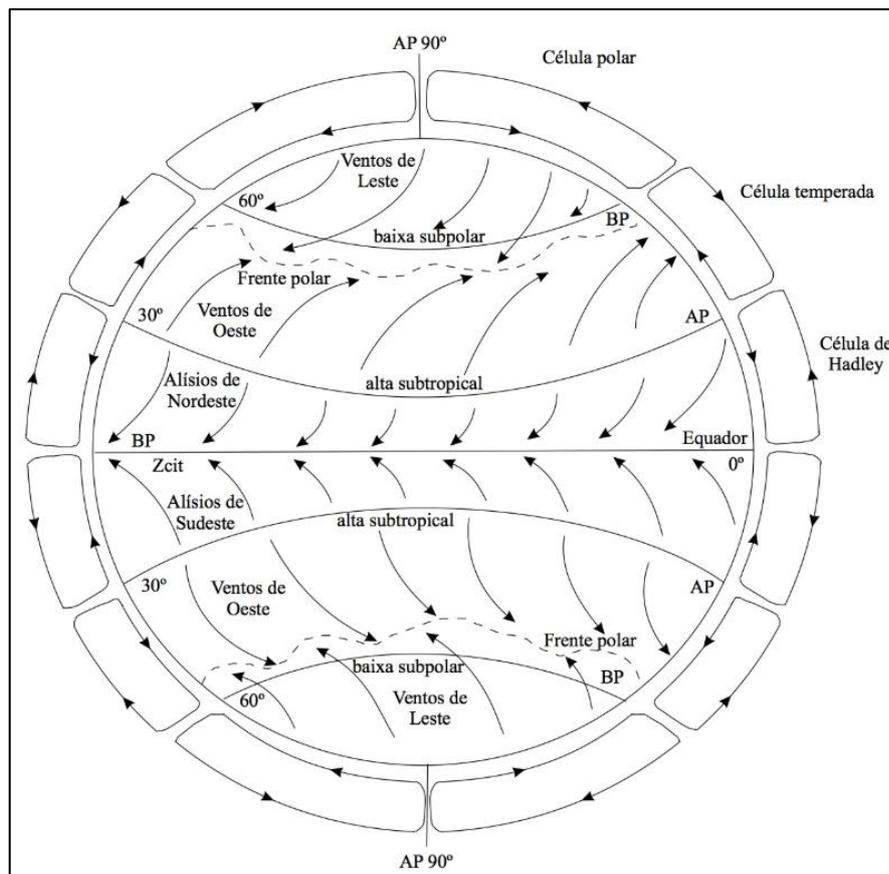
as zonas de alta e baixa pressão em relação a diferentes localizações no globo terrestre.

A partir dos padrões no movimento de ascendência, descendência e advecção do ar foram identificadas diferentes células de circulação. As mais importantes são: células de Hadley (descobertas por G. Hadley em 1735); células de Ferrel, ou células temperadas (descobertas por W. Ferrel em 1856); e células polares (GOULART, FOGAÇA, 2018).

As células de Hadley se encontram na zona equatorial onde é gerado um movimento de ascensão no Equador e de subsidência nas latitudes 20° - 30° , chamado de ventos alísios, com direção de leste para oeste. O ar frio que sofre subsidência entre as células de Hadley e de Ferrel é aquecido à medida que se desloca para as latitudes de 60° . Isso faz com que o ar sofra uma nova ascensão nas latitudes entre as células de Ferrel e as polares, completando o ciclo de movimento do ar que se reinicia na divergência do ar na latitude 90° dos polos Sul e Norte (GOULART, FOGAÇA, 2018).

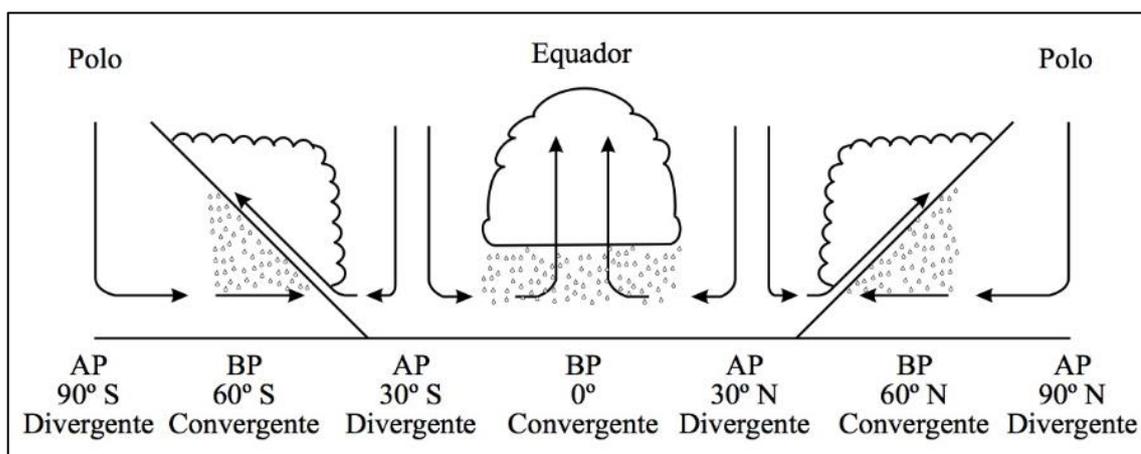
A Figura 4 mostra as consequências do movimento da atmosfera quando analisadas as áreas de pressão e a precipitação. É possível notar que na região do Equador, através da convergência dos ventos alísios, criam-se nuvens convectivas que acarretam em precipitações frequentes, consequência das correntes de ar ascendentes. Nas regiões próximas a latitude 30° (Norte e Sul) não há a ocorrência de nebulosidade e é uma região de altas pressões (AP) dispersora de ventos. Já nas regiões em redor das latitudes 60° ocorre o encontro das massas de ar com características opostas ocasionando uma área de baixa pressão (BP) receptora de ventos com aumento de precipitação. Por fim as latitudes 90° representam a área polar, região de AP e precipitações com pequenos acumulados anuais (TORRES, MACHADO, 2012).

Figura 3 - Zonas de pressão e ventos em um globo em rotação



Fonte: Torres e Machado (2012).

Figura 4 - Relação entre precipitação e diferentes áreas de pressão no globo.



Fonte: Torres e Machado (2012).

3.3.1 Massas de Ar no Brasil

De acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007), uma massa de ar constitui uma unidade aerológica, isso significa, uma extensão considerável da atmosfera com características de temperatura e de umidade (higrometria) homogêneas. Ainda de acordo com o autor, para a formação de massas de ar são necessárias três condições básicas: superfícies consideravelmente planas e extensas, baixa altitude e homogeneidade das características superficiais. Assim, somente as superfícies de oceanos, de mares e de planícies continentais cumprem tais condições (MENDONÇA, DANNI-OLIVEIRA 2007).

As massas de ar adquirem suas principais características termo-higrométricas de suas áreas de origem. Assim, à medida que se deslocam por outras regiões, as massas de ar mudam as condições de temperatura e umidade do novo local e, além disso, mudam suas próprias características podendo uma massa de ar seco se tornar uma massa de ar úmido. Isso ocorre devido ao dinamismo da atmosfera que faz com que as massas de ar tenham uma alteração permanente de suas características à medida que se deslocam (MENDONÇA, DANNI-OLIVEIRA 2007).

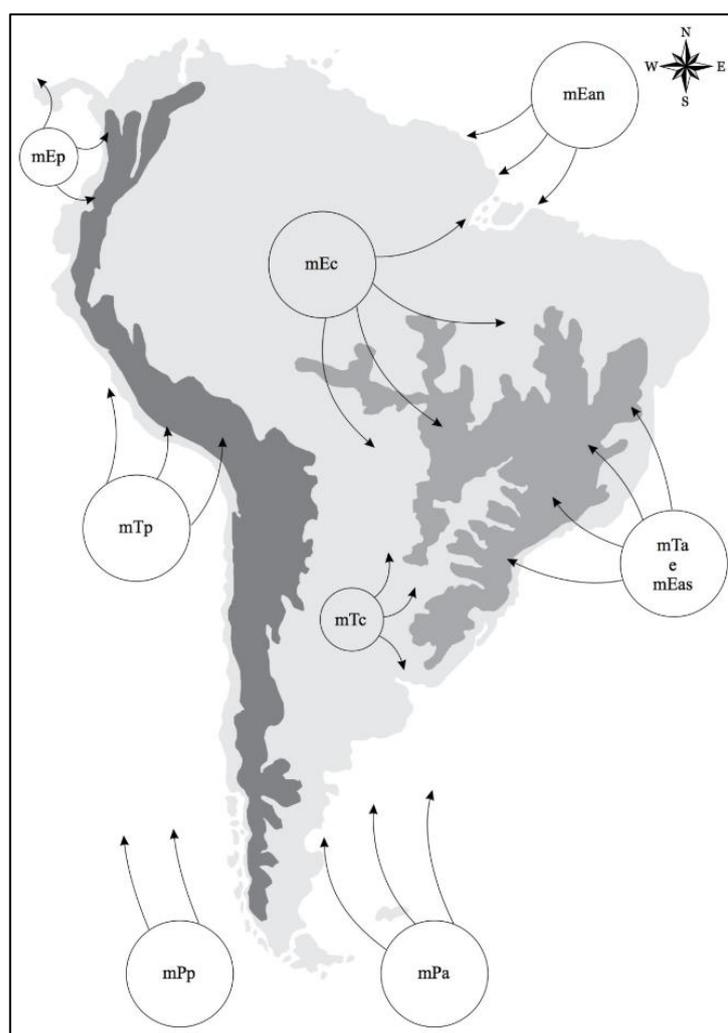
No Brasil, as massas de ar dependem da estação do ano em virtude do deslocamento dos centros de alta e baixa pressões durante a mudança de estações. Entretanto, de acordo com Torres e Machado (2012) existem três classificações, de acordo com características similares, para as massas de ar que atuam no Brasil. São elas:

- a. Massas de ar equatoriais que, conforme o nome já indica, se originam perto da linha do Equador. São caracterizadas por elevada temperatura com pequena amplitude térmica anual e elevada umidade que, devido a intensa convecção, provoca nebulosidade constante e chuvas em abundância. São dois os tipos de massa de ar que fazem parte desta classificação: massa equatorial continental (mEc), massa equatorial do Hemisfério Sul/Hemisfério Norte (mEas/mEan).
- b. Massas de ar tropicais marítimas são associadas aos anticiclones dos oceanos Atlântico e Pacífico. Possuem baixa umidade que resulta em precipitações leves de origem orográfica no litoral. São três os tipos de massa de ar que constituem esta classificação: massa de ar tropical marítima do Pacífico (mTp), massa de ar tropical do Atlântico Sul (mTa) e massa de ar tropical continental (mTc).

- c. Frentes polares provenientes da Antártida. Estas massas de ar percorrem o oceano Atlântico e acabam por se aquecer e acumular umidade chegando ao continente instáveis. Apenas um tipo de massa de ar desta classificação atinge o país, a massa de ar polar atlântica (mPa).

A Figura 5 mostra a origem e a direção de deslocamento das principais massas de ar que atingem o Brasil e o continente sul-americano.

Figura 5 - Centros dispersores das massas de ar na América do Sul.



Fonte: Torres e Machado (2012)

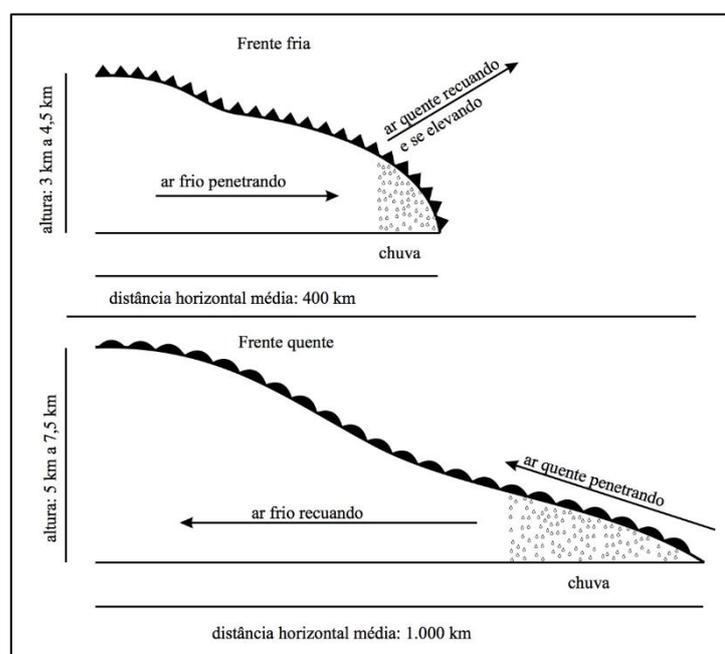
3.3.2 Frentes

Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), frentes ocorrem quando duas massas de ar com características diferentes produzem uma zona de descontinuidade térmica, anemométrica, barométrica, higrométrica, etc. Ademais, Torres e Machado

(2012) definem as frentes como regiões de transição entre massas de ar com propriedades e características diferentes.

Existem cinco tipos de frentes de acordo com INMET (2020a): frente fria, frente quente, frente polar, frente oclusa e frente estacionária. As frentes polares, separam ar polar de ar tropical, se localizam em latitudes médias e baixas e são acompanhadas por instabilidade atmosférica que podem gerar precipitações leves e intensas. As frentes frias se caracterizam pelo avanço do ar frio polar, denso e mais pesado sobre o ar quente. Já as frentes quentes se caracterizam pelo deslocamento do ar quente, menos denso para uma região com ar frio (MENDONÇA, DANNI-OLIVEIRA, 2007). A Figura 6 representa o deslocamento das frentes quentes e frias.

Figura 6 - Representação de frentes frias e polares



Fonte: Torres e Machado (2012)

A frente oclusa é formada quando uma frente fria alcança uma frente quente. A formação deste tipo de frente ocorre quando três massas de ar se encontram e as características dependem da forma com que estas três massas de ar se encontram (GOULART, FOGAÇA, 2018). Já a frente estacionária corresponde às frentes com deslocamento muito lento, isto ocorre quando do equilíbrio entre as massas de ar frio e ar quente (GOULART, FOGAÇA, 2018). A análise dos dois eventos de precipitação intensa (maior que 300 mm) mais significativos na região do Alto Uruguai, no Rio Grande do Sul no período de 1961-2014 e realizado por Sanches *et al.* (2014)

demonstrou que estes eventos ocorreram como consequência de sistemas frontais estacionários acoplando um ramo frontal quente a um ramo frontal frio.

3.4 FENÔMENOS OCEÂNICOS

O suprimento de vapor de água e de energia para a atmosfera demonstra a influência dos oceanos no ciclo hidrológico e no balanço de energia da atmosfera (PEZZI *et al.*, 2015). Além disso, a temperatura da superfície do mar (TSM) tem papel importante na troca de energia na forma de calor entre a atmosfera e o oceano e, portanto, possui importante papel na manutenção do clima do planeta. A menor variação na TSM já pode acarretar grandes variações no fluxo de calor entre atmosfera e oceano (PEZZI *et al.*, 2015).

3.4.1 Pacífico

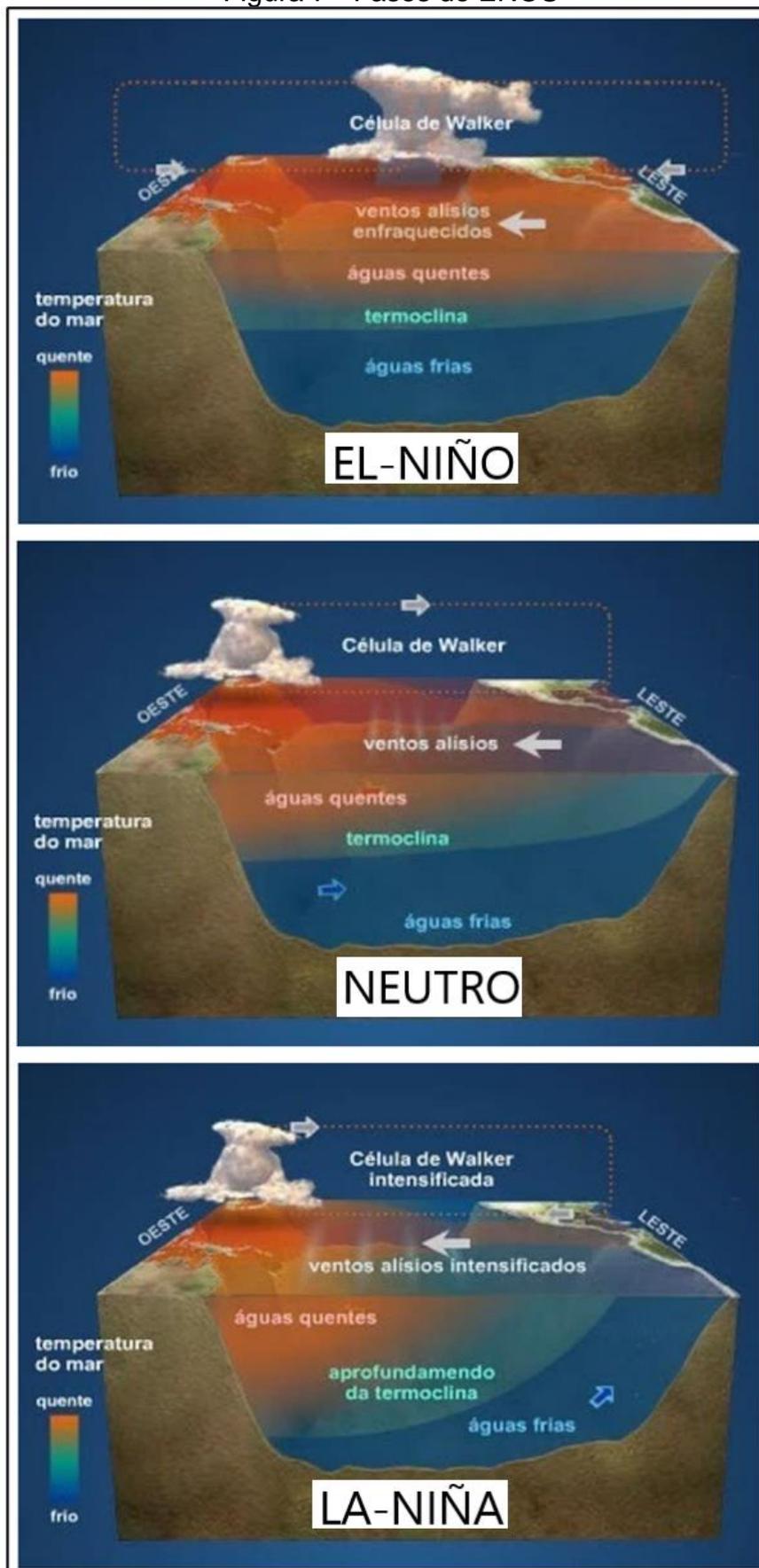
De acordo com Berlato e Fontana (2003) o *El-Niño* Oscilação Sul (ENOS) expõe a relação entre oceano (*El-Niño*) e atmosfera (Oscilação Sul) e é um fenômeno que ocorre no Oceano Pacífico tropical com três possíveis fases chamadas de *El-Niño*, *La-Niña* e neutralidade, conforme ilustra a Figura 7. O componente oceânico faz referência a temperatura da superfície do mar (TSM) nas regiões definidas ao longo da região equatorial do Oceano Pacífico. Já a componente atmosférica se refere à correlação inversa entre a pressão atmosférica nos extremos leste e oeste deste oceano. Esta relação também é chamada de “gangorra barométrica” e acontece quando a pressão é alta a leste e baixa a oeste, e vice-versa.

Ainda de acordo com Berlato e Fontana (2003), o *El-Niño*, fase quente ou negativa, ocorre quando a temperatura das águas sofre aquecimento e a pressão sofre uma simultânea diminuição na região do Pacífico Leste. O *La-Niña*, fase fria ou positiva, corresponde ao resfriamento das águas e aumento da pressão atmosférica na região leste do Pacífico. Sanches (2013) demonstra, através de análise sazonais de 82 anos para o Sudoeste do Rio Grande do Sul, que a fase positiva do fenômeno ENOS modulou a dinâmica pluviométrica da região ocasionando intensas precipitações.

Grimm, A.M; Sampaio, G. (2012) mostram a influência do ENOS nos diferentes meses do ano. Há registro de mais casos extremos de precipitação no Sul do Brasil quando o *El Niño* se inicia em novembro e ocorre da mesma forma para o *La Niña*, só que com menos eventos quando este se inicia em novembro.

Ainda, de acordo com o CPTEC-INPE (2020b), no sul do Brasil, o principal efeito do aquecimento da TSM na região do Pacífico equatorial é a abundante precipitação pluvial, durante a primavera, outono e início do inverno. Além disso, as frentes frias que chegam na região podem ficar semi-estacionárias por diversos dias, provocando altos volumes de chuva. Já durante os períodos de *La-Niña*, a região sul apresenta diminuição da precipitação pluvial com frentes frias que passam rápido pela região. Ademais, temperaturas abaixo da média, especialmente na primavera também são característicos em período de *La-Niña*.

Figura 7 - Fases do ENOS



Fonte: adaptado de UFBA (2017)

3.5 FENÔMENOS ATMOSFÉRICOS (SISTEMAS SINÓTICOS)

3.5.1 Complexos Convectivos de Mesoescala

Os complexos (ou Sistemas) Convectivos de Mesoescala (CCM) são diferenciados de outros sistemas convectivos devido ao seu tamanho, organização e circulação de massa. Possuem formato aproximadamente circular com rápido desenvolvimento e com duração entre seis e doze horas. Estes sistemas produzem diversos fenômenos convectivos, como tornados, vento, granizo, enchentes e tempestades elétricas intensas, além de precipitação generalizada (MADDOX, 1980).

A origem e o desenvolvimento dos CCMs são resultados da umidade disponível na atmosfera em baixos níveis, da circulação do ar em altos níveis e da circulação local (MADDOX, 1980). No sul do Brasil, Marengo *et al.* (2004) observou que estes sistemas se formam devido ao calor e umidade de origem na região amazônica e trazidos para a região subtropical do estado com a atuação de Jatos de Baixos Níveis. No Rio Grande do Sul, Viana *et al.* (2009) demonstrou que a distribuição de precipitação ocasionada por CCMs no Norte do estado nos meses de Outubro a Dezembro de 2003 teve uma contribuição bastante significativa no total registrado, sendo 63% da precipitação associada aos CCMs.

3.5.2 Sistema Frontal

Os sistemas frontais (SF) são constantemente notados na região sul do Brasil e, quando ocorre interação entre um SF e o ar quente e úmido vindo da região tropical, um crescimento de nuvens de grande desenvolvimento tropical é instalado, ocasionando forte movimento convectivo podendo causar precipitações intensas e volumosas que podem acarretar em transtornos como enchentes, quedas de árvores, prejuízos materiais e humanos (JUSTO, FRANÇA, 2011).

Para Beal *et al.* (2019) há evidências de que condições atmosféricas, como sistemas frontais, jatos de baixos níveis (transporte de umidade e calor das regiões tropicais), instabilidade termodinâmica local e fortes ventos de altitude criam um ambiente suscetível a formação de nuvens de convecção intensa e que podendo provocar granizo.

Eichholz *et al.* (2015), através de uma análise de um evento extremo de precipitação ocorrida no norte do estado do Rio Grande do Sul em 2007, mostrou que

a partir da atuação de um sistema frontal associado a um cavado e a atuação de um jato subtropical a região registrou mais de 100 mm de precipitação em 24 horas.

3.5.3 Jato De Baixos Níveis

Os jatos de baixos níveis (JBN) ocorrem em diversas partes do mundo, incluindo a América do Sul. São ventos em baixos níveis da atmosfera com importância nos fluxos horizontais e verticais de temperatura e umidade, e são, outrossim, associados ao desenvolvimento de atividade convectiva, indicando a importância dos JBNs para climas regionais (STENSRUD, 1996).

Na América do Sul, Santos e Reboita (2018) mostram que a formação dos JBNs no verão sofre influência dos ventos alísios no nordeste, que tomam a direção sul a partir da região Amazônica atingindo a região do Prata e o Sul do Brasil. Já no inverno, os ventos alísios de nordestes enfraquecem e os de sudeste intensificam-se afetando mais diretamente a região sudeste do Brasil. Os JBNs funcionam como um corredor de umidade entre as áreas tropicais e subtropicais da América do Sul, possuem mais força durante o período da tarde e apresentam seu núcleo de ventos máximos entre 1600 e 2000 metros acima da superfície (MARENGO *et al.*, 2002).

Santos e Reboita (2018) ainda indicam uma possível relação física de ocorrência dos JBNs com o fenômeno ENOS, em que em anos de *El Niño* é observado frequência de JBNs. Além disso, de acordo com Santos *et al.* (2008), o transporte de ar quente e úmido pelo JBN através de um escoamento de norte funciona como alimento para intensificação e formação de complexos convectivos de mesoescala (CCM) no sul do Brasil.

3.5.4 Zona de Convergência do Atlântico Sul

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é um fenômeno atmosférico importante no verão da América do Sul e influencia amplamente a precipitação das áreas mais populosas do Brasil, especialmente na estação chuvosa das regiões Sudeste e Centro-Oeste do país (ROSSO *et al.*, 2018; NOVELLO *et al.*, 2018). A ZCAS é representada por nuvens altas e possui alta persistência de mais de quatro dias consecutivos (AMBRIZZI *et al.*, 2015).

A ZCAS é determinante para o regime de precipitação no sudeste brasileiro, entretanto quando a ZCAS está formada e provocando chuvas nesta região, os JBNs

estão enfraquecidos e a umidade da Amazônia que seria dirigida ao Sul do Brasil é encaminhada para o Sudeste, causando assim períodos de estiagem no Sul do Brasil (MARENGO *et al.*, 2002). Drumond *et al.*, 2005 mostra que durante a seca que atingiu a área central e o Nordeste do Brasil em 2001, a inexistência de uma configuração de ZCAS associado a uma circulação anti-ciclônica anômala, provocou um saldo positivo na precipitação em áreas do Sul do Brasil, Norte da Argentina e Paraguai devido ao desvio do caminho de umidade proveniente da Amazônia para estas regiões.

3.5.5 Ciclones extratropicais

De acordo com o INPE (2020), ciclones são áreas com pressão inferior às áreas circunvizinhas, no hemisfério Sul eles se movem no sentido horário através da convergência dos ventos. Os ciclones extratropicais, como indicado no próprio nome, ocorrem fora da faixa tropical e subtropical.

O Atlântico Sul é um dos locais preferenciais para ocorrência de ciclones (MENDES *et al.*, 2007). A origem de formação dos ciclones extratropicais na América do Sul ocorre em uma área específica do continente e afeta, na maioria das vezes, o Sul do Brasil, Uruguai e Argentina. O processo de formação do ciclone (ciclogênese) é precedido pelo fluxo anômalo vindo do continente que transporte calor e umidade para a região da ciclogênese. A presença dos Andes, agindo como um bloqueio é indicado por James e Anderson (1984) como fator crucial para este transporte de calor e umidade que têm origem na bacia Amazônica.

3.6 ANÁLISE RÍTMICA

De acordo com Borsato e Souza (2008) o objetivo da análise rítmica é o de caracterizar o tempo atmosférico através da dinâmica da circulação regional. É uma análise que pode ser tanto temporal quanto espacial, visto que o objetivo é analisar a influência da latitude sobre a dinâmica atmosférica no decorrer de um determinado período (BORSATO E SOUZA, 2008).

Ogashawara (2012) diz que um dos objetivos da análise rítmica é de compreender a dinâmica da circulação atmosférica na superfície para entender os interações e impactos com aspectos socioambientais do local analisado. Monteiro (1991) mostra como é feita a análise, que consiste na montagem de gráficos de representação dos elementos do clima em sua variação diária e, junto a isso, a

representação gráfica dos diferentes sistemas meteorológicos envolvidos no período analisado.

Ribeiro (1993), ao falar sobre a análise rítmica, sugere que a análise de cartas sinóticas em escalas hemisféricas ou continentais associadas a imagens de satélites meteorológicos e aos registros climatológicos de superfícies (por estações meteorológicas) pode levar a compreensão de climas regionais para determinados períodos.

Mello *et al.* (2017) utilizando da análise rítmica em Paranaguá, Paraná, observaram que durante 4 meses de análise entre 2014 e 2015 os eventos extremos de precipitação do período ocorreram devido as Zonas de Convergência de Umidade e os eventos extremos de temperatura foram ocasionados quando da presença da massa tropical continental. Rocha e Sant'Anna (2010), através da aplicação da análise rítmica concluíram que durante a atuação de massas polares no centro-sul do Brasil, a diminuição da temperatura da água e do ar fizeram com que os níveis de oxigênio dissolvido na água aumentassem.

3.7 ÍNDICES

A seguir são apresentados os índices que serão utilizados neste trabalho referentes a estiagens e precipitações e a influência do oceano Pacífico na atmosfera.

3.7.1 Índice De Precipitação Normalizada (SPI)

O Índice de Precipitação Normalizada, que em inglês é chamado de *Standard Precipitation Index* (SPI) foi desenvolvido por McKee *et al.* (1993) para ser utilizado no monitoramento de condições associadas ao excesso de chuva ou à estiagem. De acordo com McKee *et al.* (1993), o cálculo do SPI normalizado serve para representar os climas úmidos e secos de forma similar. Além disto, a precipitação utilizada no SPI pode ser usada para calcular o déficit para um período e área determinados.

A característica mais importantes do SPI é a possibilidade de análise de diferentes escalas de tempo, e, devido a sua padronização, o índice é adequado para comparar as condições de estiagem/umidade para diferentes períodos em regiões com diferentes condições climáticas (BLAIN; BRUNINI, 2007; HAYES *et al.*, 1999; ROSSI *et al.*, 2006)

A escala de tempo flexível do índice, baseado em dados de precipitação mensal, permite sua utilização para várias aplicações. Existem processos que são rapidamente afetados pelo comportamento climático em um local, como agricultura de sequeiro, em que a escala de tempo é de um ou dois meses. Entretanto, existem processo com escala de tempo de vários meses, como a taxa em que pequenos rios e lagos ficam mais baixos ou mais cheios. E, ainda, outros processos com escala de tempo mais longa (mais de um ano), como a velocidade em que o nível de aquíferos aumenta ou diminui (CPTEC-INPE, 2020c). Para tanto, o SPI possui escalas de tempo para monitoramento de 1, 3, 6, 12, 24 e 48 meses, que representa o período de precipitação acumulada (MCKEE *et al.*, 1993). Por exemplo, o SPI-1 corresponde a precipitação de um mês, enquanto o SPI-3 representa a precipitação acumulada de três meses, o SPI-6 de 6 meses, e assim por diante.

Além disso, Hayes *et al.* (1999) destaca que a capacidade do índice de examinar diferentes escalas de tempo permite que as secas sejam prontamente identificadas e monitoradas durante os períodos de estiagem.

Em relação aos valores gerados pelo índice, um valor positivo de SPI indica precipitação superior à média de uma região, enquanto valores negativos indicam precipitação inferior à média da mesma região (HAYES *et al.*, 1999).

Quanto a disponibilidade de dados para a aplicação do índice, Hayes *et al.* (1999) esclarece que o cálculo do SPI para um período de tempo específico em qualquer local requer um banco de dados de precipitação mensal de longo prazo, com 30 anos ou mais de dados. Além disso, uma limitação citada pelo autor é que para as escalas curtas de tempo (1, 2, 3 meses), o SPI é muito semelhante ao percentual de representação normal da precipitação, o que pode ser enganoso em regiões com totais de precipitação sazonal normalmente baixos (HAYES *et al.*, 1999).

3.7.2 *El-Niño* Oscilação Sul

Neste estudo serão utilizados dois índices para análise de anomalias de temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico visando a identificação do fenômeno ENOS (*El Niño* Oscilação Sul), o MEI (Multivariate ENOS Index) e o SOI (South Oscillation Index).

3.7.2.1 Índice Multivariado ENSO (MEI)

O MEI, desenvolvido pelo CDC (*Climate Diagnostics Center*) combina as variáveis oceânicas e atmosféricas e proporciona um contexto para comparações em estudos através de análises históricas (NOAA, 2020a). O índice é determinado por seis variáveis atmosféricas, de acordo com NOAA (2020a): pressão ao nível do mar, componente zonal e meridional do vento em superfície, temperatura do ar, temperatura da superfície do mar e um indicador de nebulosidade. O índice determina a intensidade dos eventos de *El Niño* e *La Niña* através da oscilação entre valores positivos, fase quente, e valores negativos, fase fria.

3.7.2.2 Índice Padronizado de Oscilação Sul (SOI)

O SOI, desenvolvido pelo Departamento de Meteorologia da Austrália (*Bureau of Meteorology*) indica o desenvolvimento e a intensidade dos fenômenos *El Niño* e *La Niña*. Valores negativos do SOI que permanecem abaixo de -7 indicam, geralmente episódios de *El Niño*, em que a região do Oceano Pacífico central e oriental sofrem aquecimento. Já valores positivos do SOI sustentados acima de +7 por vários meses, usualmente indicam a presença de *La Niña*, em que as águas no Oceano Pacífico central e oriental tropical ficam mais frias (BOM, 2020).

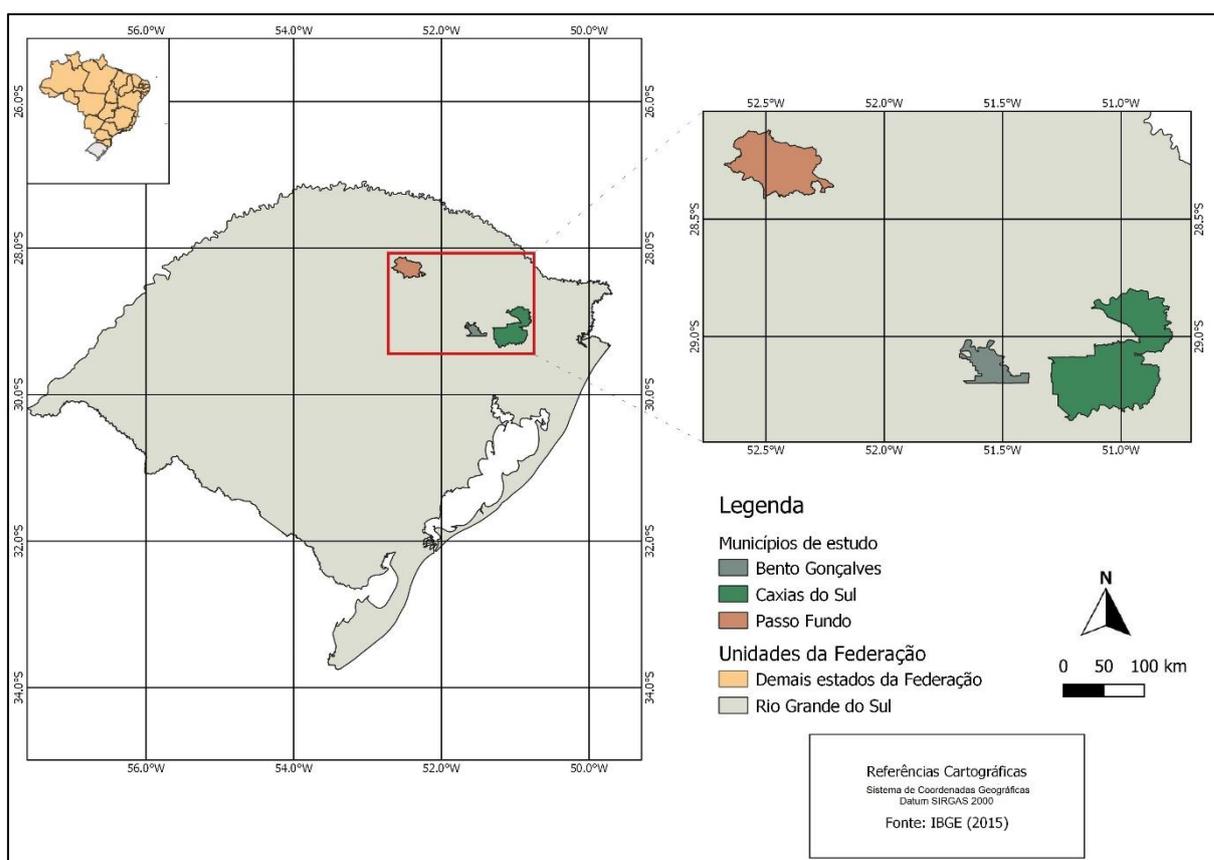
4 METODOLOGIA

Para realização da análise das relações entre eventos extremos de precipitação e estiagem e as condições atmosféricas envolvidas, além do levantamento bibliográfico, os seguintes procedimentos metodológicos foram realizados, conforme mostra a Figura 9.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

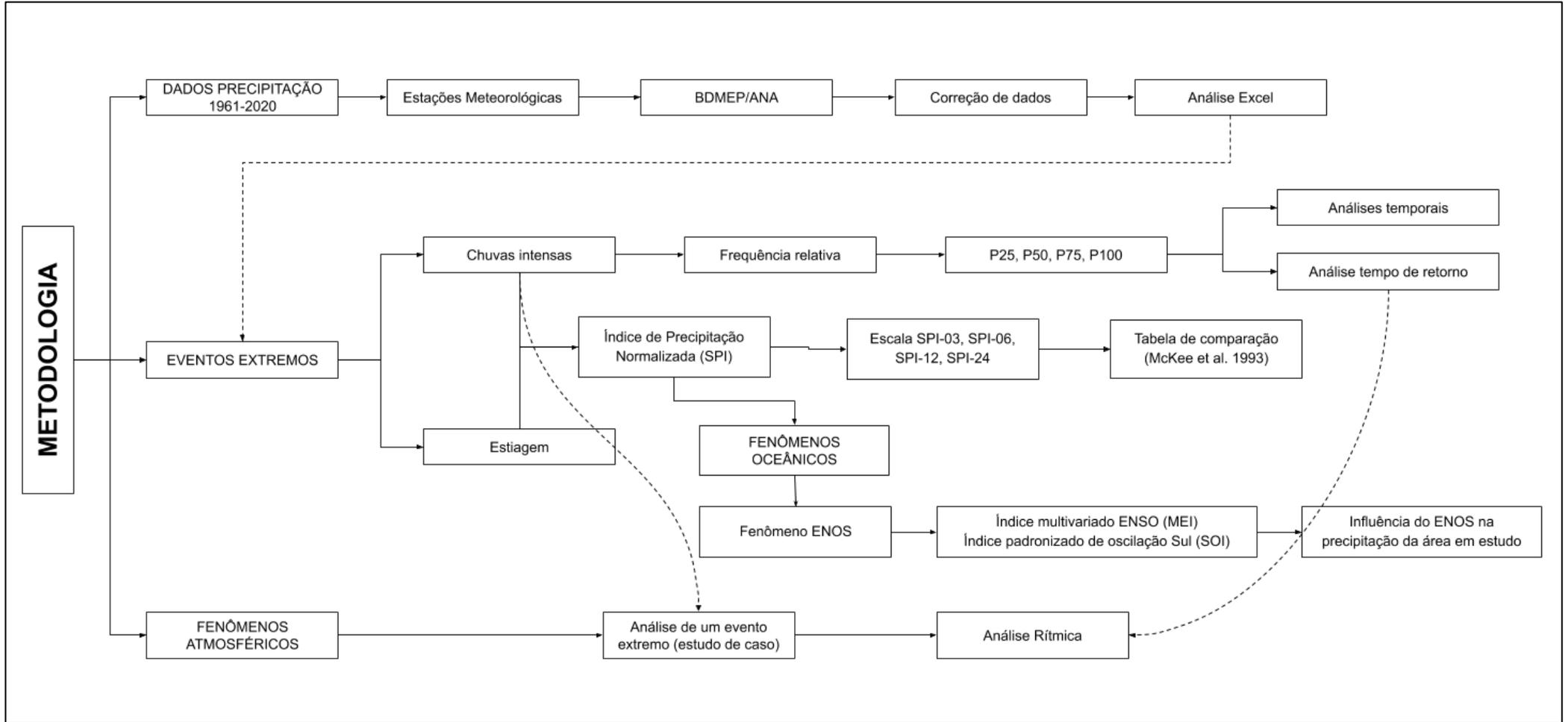
A área envolvida neste estudo está localizada na região Nordeste do Rio Grande do Sul. Dentro destas regiões serão analisados dados de três municípios: Bento Gonçalves, Caxias do Sul e Passo Fundo, os quais foram escolhidos pela disponibilidade de dados. A Figura 8 mostra a localização destes municípios dentro do estado do Rio Grande do Sul.

Figura 8 - Localização dos três municípios em estudo



Fonte: o Autor (2020)

Figura 9 - Fluxograma metodológico



Fonte: o autor (2020)

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE, 2020), a população estimada em 2020 de Bento Gonçalves, de Caxias do Sul e de Passo Fundo é de 121.803, 517.451 e 204.722 habitantes, respectivamente. A densidade demográfica para estes municípios é 280,86 hab/m² em Bento Gonçalves, 264,89 hab/m² em Caxias do Sul e 235,92 hab/m² em Passo Fundo.

O Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2019) mostra que os municípios em estudo estão localizados no bioma Mata Atlântica e na unidade geomorfológica Planalto Meridional com altitudes variando entre 400m e 900m. E em relação ao uso e ocupação do solo, o Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2019) mostra que Passo Fundo está em uma área de uso agrícola intenso durante o verão e inverno, Bento Gonçalves está em área com remanescente de florestas, já Caxias do Sul está localizado entre remanescentes de floresta e campo limpos.

O clima nas três cidades, segundo classificação climática de Köppen é Cfb, isto é, clima úmido em todas as estações do ano com verões moderadamente quentes, a temperatura média no mês mais frio é inferior a 18°C e a temperatura média no mês mais quente menor que 22°C (TORRES; MACHADO, 2008). Já de acordo com Thornthwaite (1948), Bento Gonçalves, Caxias do Sul e Passo Fundo estão inseridas no tipo climático perúmido Ar, isto é, muito úmido e com pouca ou nenhuma deficiência hídrica.

4.2 DADOS DE PRECIPITAÇÃO

4.2.1 Estações Meteorológicas

Para este trabalho foram selecionadas três estações meteorológicas convencionais do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) e três estações pluviométricas convencionais da Agência Nacional de Água (ANA). Além disto, foi utilizada uma estação automática com dados do BDMEP.

A função dos dados de precipitação fornecidos pelo BDMEP foi o de utilização para análise de frequência de chuvas intensas e para cálculo do índice SPI. Já os dados de precipitação fornecidos pela ANA foram utilizados para correção de falhas presentes nos dados do BDMEP.

4.2.2 Dados de precipitação

Para este trabalho foram utilizados dados diários e mensais de precipitação. As fontes dos dados diários e mensais de precipitação foram o BDMEP e a ANA.

O período de abrangência dos dados utilizados é de 01/01/1961 até 31/07/2020; isto compreende uma normal climatológica (1961 a 1990) e o período 1991 a 2020. A Tabela 1 mostra características de cada estação.

Tabela 1 - Estações do BDMEP

Município	Código estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Bento Gonçalves	83941	-29,15	-51,51	640,00
Caxias do Sul	83942	-29,16	-51,20	759,60
Passo Fundo	83914	-28,21	-52,40	684,05

Fonte: O autor (2020)

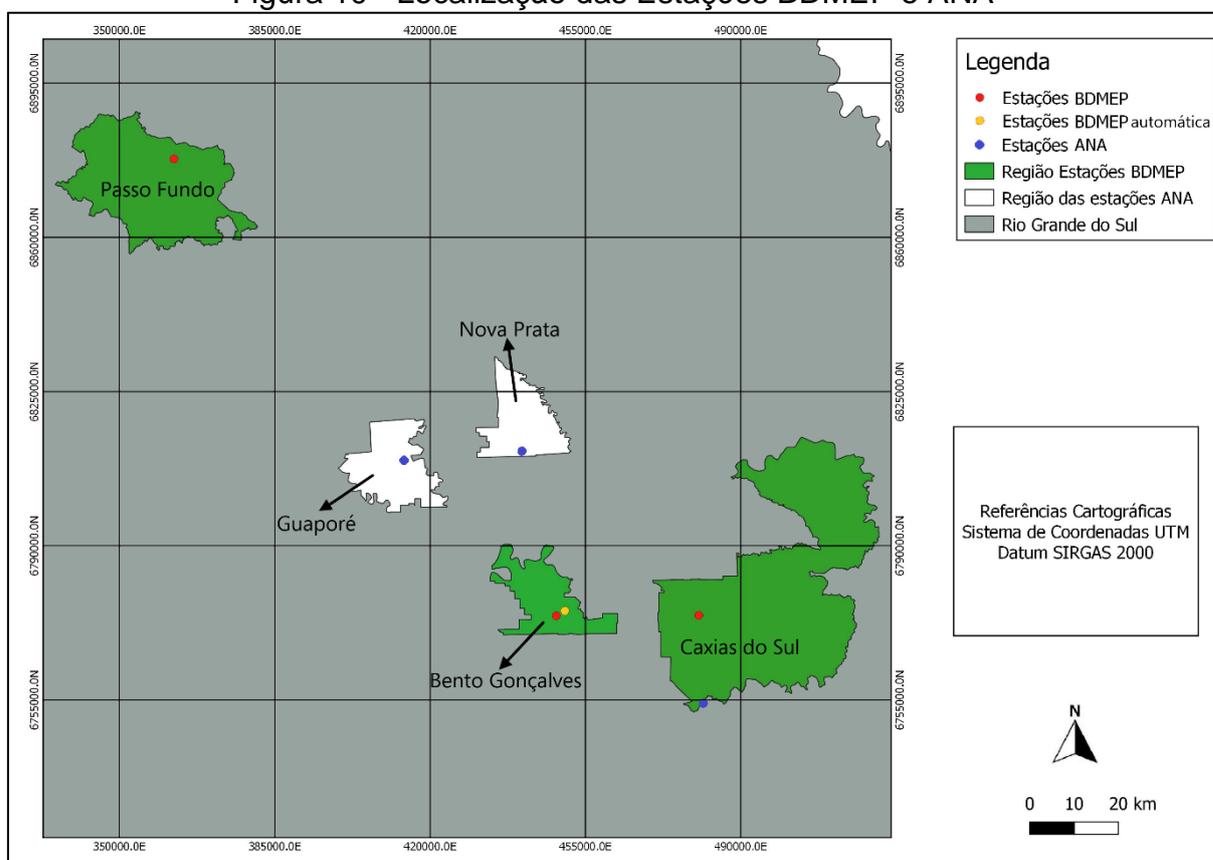
As estações da ANA foram, outrossim, selecionadas por estarem localizadas na região em estudo e próximas aos municípios em que foram utilizados os dados das estações do BDMEP. As estações selecionadas estão nos seguintes municípios: Guaporé, Nova Prata e Nova Palmira. A Figura 10 mostra a relação de localização entre as estações do BDMEP e da ANA. Para obtenção dos dados de precipitação foi utilizado o portal HidroWeb, que é uma ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH, 2020). A Tabela 2 mostra características e a porcentagem de dias com falha em cada estação.

Tabela 2 - Estações ANA

Município	Código estação	Latitude	Longitude	Porcentagem de dias com falha (%)
Guaporé	2851044	-28,84	-51,88	9,8
Nova Prata	2851024	-28,76	-51,63	11,2
Nova Palmira	2951022	-29,34	-51,19	6,5

Fonte: O autor (2020)

Figura 10 - Localização das Estações BDMEP e ANA



Fonte: O autor (2020)

A estação automática utilizada neste trabalho é a estação do BDMEP A840 de Bento Gonçalves localizada na latitude -29,16, longitude -51,53 e altitude 623,27m. Esta estação forneceu dados de precipitação tanto diários quanto mensais para Bento Gonçalves.

4.2.2.1 Correção de falhas

Para os dados mensais e diários de precipitação fornecidos pelo BDMEP foi utilizada uma estação próxima da ANA para preenchimento de falha. Isto é, para correção dos dados de Bento Gonçalves foi utilizada a estação nº 2851024 da ANA que faz referência a estação instalada no município de Nova Prata. Para a correção dos dados do BDMEP de Passo fundo foi utilizada a estação nº 2851044 localizada no município de Guaporé. E, por fim, para o preenchimento de falhas nos dados de Caxias do Sul foi utilizada a estação nº 2951022 na localidade de Nova Palmira, em Caxias do Sul. O critério de escolha das estações da ANA foi a proximidade com os

municípios a distância em linha reta entre as estações. A Tabela 3 mostra as características destas estações bem como a porcentagem de falha após a correção de falhas.

Tabela 3 - Distância entre estações

Código ANA	Localização ANA	Código BDMEP	Localização BDMEP	Distância entre estações (km)	Dias com falha após correção (%)
2851024	Nova Prata	83941	Bento Gonçalves	45,8	0,29
2851044	Guaporé	83914	Passo Fundo	86,6	1,59
2851024	Nova Palmira	83942	Caxias do Sul	19,6	0,00

Fonte: O autor (2020)

4.3 ANÁLISE DE EVENTOS EXTREMOS

A seguir é apresentado o método pelo qual foi feita a análise dos eventos extremos de precipitação intensa e o índice de precipitação padronizado para estiagens e precipitações intensas.

4.3.1 Frequência Relativa

A definição de chuvas intensas se deu através da análise da quantidade de dias (frequência relativa) com precipitação acumulada acima de 50mm (P50), acima de 75mm (P75), acima de 100mm (P100) e acima de 125mm (P125). Além disto, também foram contabilizados os dias com precipitação menor que 50mm (P<50).

Para obtenção da frequência relativa foi utilizada a Equação 1 que resulta no número de vezes que o evento de precipitação ocorreu em relação ao número total de elementos da série (ARAÚJO, 2016).

$$fr = \frac{na}{n} \quad (1)$$

em que:

fr: frequência relativa;

na: número de vezes que ocorreu um evento;

n: número total de elementos da série.

4.3.2 Índice De Precipitação Normalizada (SPI)

De acordo com McKee *et al.* (1993) para aplicação do SPI, a série histórica deve ser ajustada para uma distribuição de probabilidade gama para definir a relação de probabilidade de precipitação. Este ajuste é necessário devido a distribuição assimétrica da precipitação e é geralmente utilizado na representação da variável precipitação (SANTOS *et al.*, 2013). A função densidade de probabilidade gama é expressa na Equação 2.

$$g(x) = \frac{x^{\alpha-1} \times e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha} \times \Gamma(\alpha)} \quad \text{para } x > 0 \quad (2)$$

em que:

$\alpha > 0$: parâmetro de forma da distribuição gama – simetria e achatamento dos dados (adimensional);

$\beta > 0$: parâmetro de escala da distribuição gama – dispersão (adimensional);

$x > 0$: quantidade de precipitação para o mês de interesse (mm);

$\Gamma(\alpha)$: função gama completa.

Os parâmetros α e β foram calculados de acordo com o método da verossimilhança, método utilizado por vários estudos (SANTOS *et al.*, 2013; BLAIN *et al.*, 2010), e estão representados pelas Equação 3 e Equação 4.

$$\alpha = \frac{1}{4 \times A} \left(1 + \sqrt{\frac{4 \times A}{3}} \right) \quad (3)$$

na qual:

$$A = \ln(x) - \frac{\sum_i^n x_i}{n}$$

$$\beta = \frac{x}{\alpha} \quad (4)$$

Após a definição de $g(x)$ e como a distribuição gama é indefinida para $x = 0$, é necessário corrigir para precipitações igual a zero $P(x = 0) = q > 0$ e, de acordo com McKee *et al.* (1993), o SPI deve ser calculado de acordo com a Equação 5.

$$H(x) = q + (1 - q) \times G(x) \quad (5)$$

na qual:

$$q = \left(\frac{m}{n}\right)$$

em que:

q : probabilidade de ocorrência de precipitação igual a zero;

m : número de observações com precipitação igual a zero;

n : número total de observações;

$H(x)$ é transformado em uma variável normal (valor final do SPI) utilizando as equações 6 a 9 a seguir (BLAIN, 2010):

$$SPI = - \left(a - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (6)$$

$$SPI = + \left(a - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \text{ para } 0,5 < H(x) < 1 \quad (7)$$

na qual:

$$a = \sqrt{\left(\ln \left(\frac{1}{H(x)^2} \right) \right)} \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (8)$$

$$a = \sqrt{\left(\ln \left(\frac{1}{(1-H(x))^2} \right) \right)} \text{ para } 0,5 < H(x) < 1 \quad (9)$$

em que:

$$c_0 = 2,515517;$$

$$c_1 = 0,802853;$$

$$c_2 = 0,010328;$$

$$d_1 = 1,432788;$$

$$d_2 = 0,189269;$$

$$d_3 = 0,0013;$$

Um evento de estiagem ocorre quando o SPI permanece continuamente negativo com valor iguais ou menores que -1,0 (MCKEE *et al.*, 1993). As magnitudes menores ou iguais a -2 indicam período seco extremos e magnitudes maiores ou iguais a 2 representam umidade extrema. A Tabela 4 mostra as categorias de acordo com o valor de SPI calculado, além da probabilidade de concretização de cada categoria.

Tabela 4 - Classificação do SPI

Valor de SPI	Categoria	Probabilidade
≤ 2,00	Extremamente Úmido	2,30%
1,50 a 1,99	Severamente Úmido	4,40%
1,00 a 1,49	Moderadamente Úmido	9,20%
-0,99 a 0,99	Normal	68,20%
-1,00 a -1,49	Moderadamente Seco	9,20%
-1,50 a -1,99	Severamente Seco	4,40%
≤ -2,00	Extremamente Seco	2,30%

Fonte: Adaptado de Mckee *et al.* (1993)

Neste trabalho, para o cálculo do SPI foi utilizado o software *SPI Generator* desenvolvido pelo *National Drought Mitigation Center* (NDMC, 2018). O software serve para gerar dados SPI através da leitura de dados de precipitação (diários, semanais ou mensais) e suporta diferentes escalas de tempo e tipos de dados (semanais, mensais). Ele fornece dados SPI e, opcionalmente, dados de frequência e período de seca.

Para desenvolvimento deste índice foram utilizados dados mensais de precipitação no período que compreende janeiro/1961 a dezembro/2019 para SPI de

3 meses (SPI3), SPI de 6 meses (SPI6), SPI de 12 meses (SPI12) e SPI de 24 meses (SPI24). O software foi utilizado para as três estações meteorológicas do BDMEP: Bento Gonçalves, Caxias do Sul e Passo Fundo.

4.4 INFLUÊNCIA DE FENÔMENOS GLOBAIS

A seguir serão apresentados os índices oceânicos que foram utilizados para comparação com os resultados do SPI.

4.4.1 Fenômeno ENOS

A análise da influência do fenômeno oceânico-atmosférico ENOS, que ocorre no Oceano Pacífico, sobre os eventos extremos na região de estudo foi feita a partir de dois índices: Índice Multivariado ENSO (MEI) e Índice Padronizado de Oscilação Sul (SOI).

4.4.1.1 Índice Multivariado ENSO (MEI)

Para este trabalho foi utilizado o MEI.v2, uma versão do índice Multivariado ENSO desenvolvido pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, 2020). Esta nova versão considera cinco variáveis: pressão ao nível do mar, temperatura da superfície do mar, ventos zonais da superfície, ventos meridionais da superfície e radiação de ondas longas de saída.

4.4.1.2 Índice Padronizado de Oscilação Sul (SOI)

De acordo com a *Bureau of Meteorology* (BOM, 2020), o Índice Padronizado de Oscilação Sul (SOI) é calculado quando da diferença de pressão entre duas regiões do Oceano Pacífico: Tahiti e Darwin utilizando a Equação 10.

$$SOI = 10 \times \frac{(P_{diff} - P_{diffav})}{SD(P_{diff})} \quad (10)$$

em que:

P_{diff} : diferença entre a média de pressão ao nível do mar das regiões Tahiti e Darwin;

P_{diffav} : média de longo prazo de P_{diff} para o mês em análise;

SD(Pdiff): desvio padrão de longo prazo de Pdiff para o mês em análise.

Neste trabalho serão utilizados dados mensais do SOI para indicar a possível relação entre o fenômeno ENOS e os eventos extremos.

4.5 FENOMENOS ATMOSFÉRICOS

A análise dos fenômenos atmosféricos que influenciaram um evento de precipitação intensa foi realizada através de uma análise rítmica. Esta análise utiliza dados de precipitação, temperatura, umidade, radiação, vento e pressão que foram obtidos a partir da estação automática A840 do INMET, localizada em Bento Gonçalves. As imagens de satélite utilizadas como ferramenta de auxílio da análise rítmica foram registradas pelo satélite meteorológico geoestacionário GOES 16 – Canal 13, 10.35 μ (CPTEC-INPE, 2020d). Além disso, também foram utilizados boletins técnicos desenvolvidos pelo CPTEC-INPE (2020e) a fim de assegurar os fenômenos atmosféricos sinóticos atuantes na região em estudo e, também, foram utilizadas cartas sinóticas desenvolvidas pelo CPTEC-INPE (2020f) com o objetivo de visualizar o fenômeno atmosférico que atuava na região durante o evento.

A função desta análise rítmica dentro deste trabalho é a de mostrar os sistemas meteorológicos que atuaram durante um evento extremo de precipitação através de um estudo de caso realizado a partir da disponibilidade de dados da estação automática A840. Para a escolha do período adequado para a realização da análise rítmica foi escolhido um caso de precipitação maior que 90 mm/dia que, de acordo com Konrad *et al.* (1997) e Teixeira e Satyamurty (2007) é considerado um evento de precipitação intensa.

5 RESULTADOS

Neste item serão apresentados e discutidos os resultados encontrados a partir do desenvolvimento metodológico utilizado. Serão discutidas as análises de frequência relativa de precipitação e os resultados do índice de Precipitação Normalizada (SPI), bem como o Índice Multivariado ENSO (MEI) e o Índice Padronizado de Oscilação Sul (SOI) referentes ao fenômeno ENOS. Por fim, foi feita uma análise rítmica de um evento de precipitação intensa e discutido o comportamento dos fenômenos atmosféricos relacionados ao evento.

5.1 FREQUÊNCIA RELATIVA

A análise da frequência relativa (fr) de precipitação, bem como do tempo de retorno (T) e da quantidade mensal de dias com eventos de precipitação intensa foi realizada para Bento Gonçalves, Caxias do Sul e Passo Fundo. O período em análise neste item ocorre entre janeiro de 1961 e julho de 2020 para a escala de precipitações $P \geq 25$ mm, $P \geq 50$ mm, $P \geq 75$ mm, $P \geq 100$ mm, $P \geq 125$ mm e $P \geq 150$ mm.

5.1.1 Bento Gonçalves

Os maiores volumes diários de precipitação para Bento Gonçalves foram distribuídos de forma bastante homogênea durante os meses do ano para o período de janeiro de 1961 a julho de 2020, conforme Tabela 5. O dia que apresentou o maior acumulado foi 19/02/2003 com 141 mm. No período analisado neste estudo, apenas os meses de maio e agosto não apresentaram nenhum dia com precipitação (P) ≥ 100 mm. O mês de julho se destaca por possuir 4 eventos com $P \geq 100$ mm. É possível notar, também, uma boa distribuição de valores de $P \geq 50$ mm e $P \geq 75$ mm durante os meses do ano.

No entanto, uma análise mais aprofundada dos dados diários de precipitação permite que se calcule a quantidade de eventos de precipitação intensa, sua frequência relativa e seu tempo de retorno.

Tabela 5 - Contagem de eventos extremos de precipitação máxima diária para cada mês em Bento Gonçalves

Mês	Máxima diária (mm)	Ano da máxima	P \geq 50 mm/dia	P \geq 75 mm/dia	P \geq 100 mm/dia	P \geq 125 mm/dia
jan	119,2	1996	18	3	3	0
fev	141	2003	12	0	0	2
mar	116,5	1971	16	4	1	0
abr	140	1987	19	4	0	1
mai	92,9	1990	13	6	0	0
jun	133,6	2020	22	6	0	1
jul	129	1980	20	4	2	2
ago	95,7	2008	24	3	0	0
set	132	1988	21	7	1	1
out	120,8	2002	26	4	2	0
nov	120,1	2013	13	5	1	0
dez	103,6	2003	17	5	1	0
Total de eventos			221	51	11	7

Fonte: o Autor (2020)

Conforme exposto na Tabela 6, os dados pluviométricos de Bento Gonçalves mostram que eventos de P \geq 25 mm foram comuns durante o período analisado, apresentando 1010 ocorrências. Isto significa uma frequência relativa de aproximadamente 17 dias ao ano com precipitação desta intensidade, ao longo dos anos analisados. Para eventos de P \geq 50 mm a frequência fica em torno de 4 eventos por ano. Os 51 eventos diários de P \geq 75 mm observados resultam em uma frequência de aproximadamente 1 dia por ano em que chove entre 75 mm e 100 mm.

Além disso, durante o período analisado foram observados 11 dias com valores de P \geq 100 mm e 7 dias para P \geq 125 mm, em termos de frequência relativa isto quer dizer que chove 100 mm ou mais a cada 5 anos (fr=0,18) e chove 125 mm ou mais a cada 9 anos (fr=0,12), aproximadamente.

Tabela 6 - Frequência e tempo de retorno dos eventos de precipitação intensa em Bento Gonçalves

Eventos (mm)	nº eventos	Frequência relativa (qtd/ano)	Tempo de retorno (dias)	Tempo de retorno (anos)
25 \geq P > 50	1010	16,95	22	0,06

(Continua)

(Continuação)

Eventos (mm)	nº eventos	Frequência relativa (qtd/ano)	Tempo de retorno (dias)	Tempo de retorno (anos)
$50 \geq P > 75$	221	3,71	98	0,27
$75 \geq P > 100$	51	0,86	427	1,1
$100 \geq P > 125$	11	0,18	1978	5,4
$P \geq 125$	7	0,12	3109	8,51

Fonte: o Autor (2020)

Em relação aos eventos de chuva separados por décadas é possível notar, na Tabela 7, que a década com mais eventos de $P \geq 50$ mm é 1981-1990 com 52 eventos, seguido por 1991-2000 com 42 eventos. Para eventos de $P \geq 75$ mm, a década 1971-1980 apresentou 12 eventos e a década 1981-1990 apresentou 11 eventos. Ademais, para $P \geq 100$ mm e para $P \geq 125$ mm a década que apresentou maior número de eventos foi 2001-2010 com 4 eventos acima de 100mm/dia e 3 acima de 125mm/dia. Vale salientar que a década 2011-2020 apresenta valores apenas até julho de 2020.

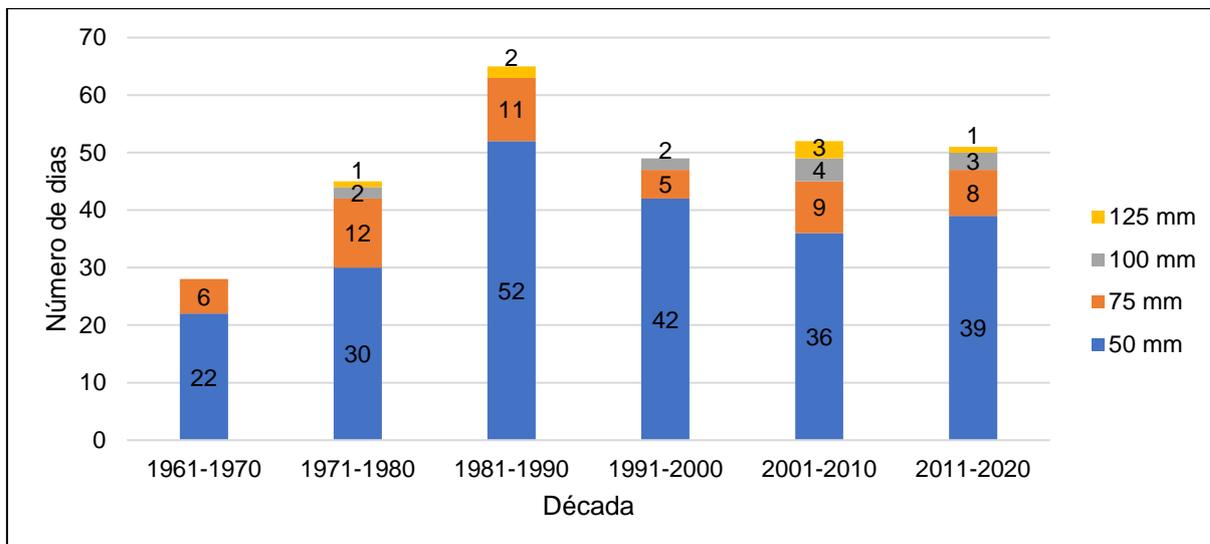
Tabela 7 - Número de dias por década em que a chuva superou 50, 75, 100 e 125 mm/dia

Eventos	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	2011-2020
50 mm	22	30	52	42	36	39
75 mm	6	12	11	5	9	8
100 mm	0	2	0	2	4	3
125 mm	0	1	2	0	3	1

Fonte: o Autor (2020)

De forma geral, a década de 2001-2010 foi destaque por ter registrado o maior número de eventos de precipitação com alto valor acumulado em um dia (100 e 125 mm). Entretanto, a década de 1981-1990 se destaca pelo elevado número de eventos de $P \geq 50$ mm registrados, conforme mostra a Figura 11.

Figura 11 - Número de dias por década em que a chuva superou 50, 75, 100 e 125 mm/dia em Bento Gonçalves



Fonte: o Autor (2020)

5.1.2 Caxias do Sul

A Tabela 8 mostra os dados de precipitação diária em Caxias do Sul no período em estudo. Quando observadas as precipitações máximas registradas para cada mês é possível perceber que a precipitação intensa pode ocorrer em qualquer mês do ano. Além disso, foi observado que não ocorreram precipitações máximas nas décadas de 1960 e 1970.

O dia 28/06/1982 foi o dia em que foi registrado maior acumulado na estação, com 176,9 mm. O mês de julho se destaca por possuir 4 eventos com $P \geq 100$ mm, enquanto os meses de março, junho e agosto não apresentam nenhum evento desta intensidade. Precipitações maiores ou iguais a 50 mm e maiores ou iguais a 75 mm ocorreram de maneira bem distribuída ao longo dos meses do ano.

Tabela 8 - Contagem de eventos extremos de precipitação e precipitação máxima diária para cada mês em Caxias do Sul

(Continua)

Mês	diária (mm)	Ano da máxima	$P \geq 50$ mm/dia)	$P \geq 75$ mm/dia)	$P \geq 100$ mm/dia)	$P \geq 125$ mm/dia)	$P \geq 175$ mm/dia)
jan	116,2	1996	20	6	1	0	0
fev	136,7	2003	12	2	1	1	0
mar	87,8	1985	11	5	0	0	0

(Continuação)

Mês	Máxima diária (mm)	Ano da máxima	P≥50 mm/dia	P≥75 mm/dia	P≥100 mm/dia	P≥125 mm/dia	P≥175 mm/dia
abr	102,6	1994	18	2	1	0	0
mai	121,3	1986	11	7	1	0	0
jun	96,6	1988	22	8	0	0	1
jul	176,9	1982	19	5	4	1	0
ago	95,8	1998	16	7	0	0	0
set	126	2020	19	10	1	0	0
out	105,4	2000	22	7	2	0	0
nov	128,1	2013	20	2	0	1	0
dez	114,2	2012	18	8	2	0	0
Total de eventos			208	69	13	3	1

Fonte: o Autor (2020)

A Tabela 9 apresenta a frequência relativa e tempo de retorno dos eventos de precipitação para Caxias do Sul durante os anos da análise. Nota-se que eventos de intensidade maior ou igual a $P \geq 25$ mm ocorrem, aproximadamente, 18 vezes ao ano. Ademais, eventos de $P \geq 50$ mm apresentaram tempo de retorno de 105 dias, isto equivale a aproximadamente, 3 eventos anuais que superam ou igualam 50 mm.

Ainda, os eventos de $P \geq 100$ mm possuem um tempo de retorno de 1674 dias, ou 5 anos, aproximadamente. E os eventos de $P \geq 125$ mm possuem um tempo de retorno de 7254 dias, isto é, a cada 20 anos se observa um evento desta intensidade.

Tabela 9 - Frequência relativa e tempo de retorno dos eventos de precipitação intensa em Caxias do Sul

Eventos (mm)	nº eventos	Frequência relativa (qtd/ano)	Tempo de retorno (dias)	Tempo de retorno (anos)
$25 \geq P > 50$	1053	17,67	21	0,06
$50 \geq P > 75$	208	3,49	105	0,28
$75 \geq P > 100$	69	1,16	330	0,90
$100 \geq P > 125$	13	0,22	1674	4,58
$125 \geq P > 150$	3	0,05	7254	19,87
$150 \geq P > 175$	0	-	-	-
$P \geq 175$	1	0,02	21762	59,62

Fonte: o Autor (2020)

A Tabela 10 mostra o número de eventos de precipitação por década em Caxias do Sul. Nota-se que para $P \geq 50$ mm a década de 1961-1970 apresentou 48 eventos, seguido por 1981-1990 com 42 eventos. A década que registrou mais eventos de $P \geq 75$ mm foi 2001-2010 com 16 eventos, seguido por 2011-2020 com 13 eventos. As

décadas de 1981-1990, 1991-2000 e 2011-2020 registraram 3 eventos cada de $P \geq 100$ mm. Ainda, em relação a $P \geq 125$ mm a década de 2011-2020 foi a que apresentou mais eventos com 2 registros.

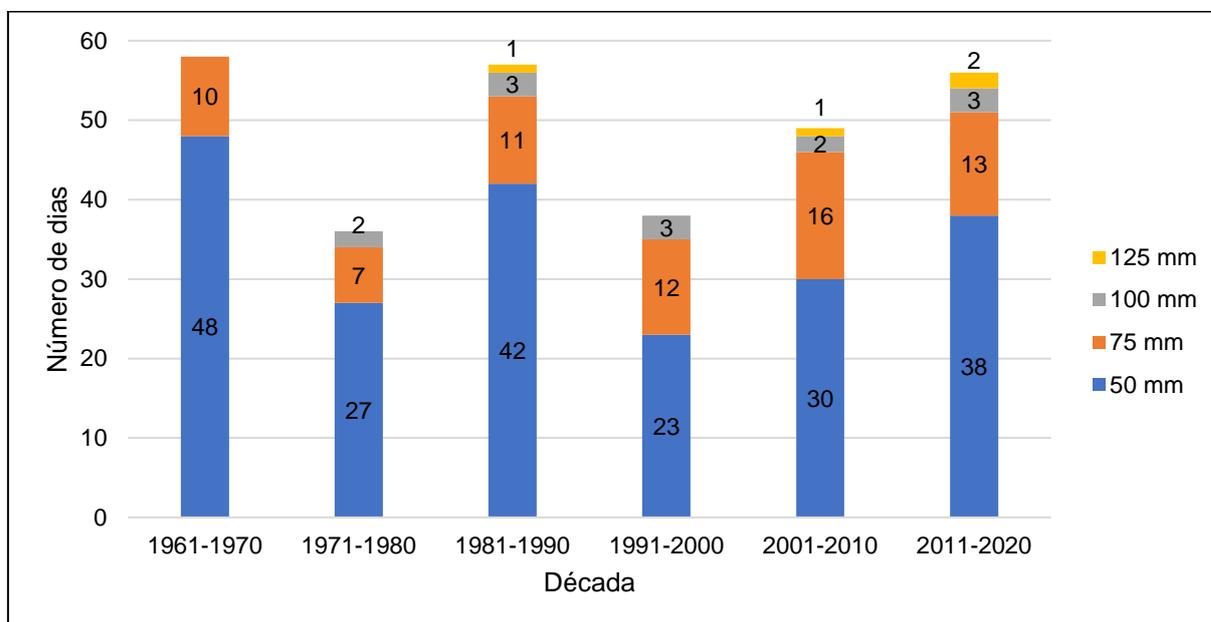
Tabela 10 - Número de dias em que a chuva superou 50, 75, 100 e 125 mm/dia

Eventos	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	2011-2020
50 mm	48	27	42	23	30	38
75 mm	10	7	11	12	16	13
100 mm	0	2	3	3	2	3
125 mm	0	0	1	0	1	2

Fonte: o Autor (2020)

A Figura 12 mostra os dados de precipitação decenal de forma gráfica e é possível notar que a década de 1961-1970 apresenta o maior número de eventos extremos, porém nenhum com $P \geq 100$ mm. Já as décadas de 1981-1990 e 2011-2020 chamaram atenção por apresentar o maior número de eventos de precipitação intensa para os valores diários mais elevados (100 e 125 mm).

Figura 12 - Número de dias por década em que a chuva superou 50, 75, 100 e 125 mm/dia em Caxias do Sul



Fonte: o Autor (2020)

5.1.3 Passo Fundo

Através da Tabela 11 verifica-se a contagem de eventos mensal de precipitação intensa em Passo Fundo para o período em estudo (1961-07/2020). Observou-se que

os maiores volumes de precipitação diária ocorrem com volumes acima de 100 mm em todos os meses. O dia 28/04/1998 foi o que apresentou maior acumulado com 174 mm.

Nota-se que valores pluviométricos de intensidade igual ou superior a 50 mm ocorrem de forma mais recorrente de maio a outubro. Já os eventos de $P \geq 75$ mm e $P \geq 100$ mm distribuem-se de maneira semelhante ao longo dos meses.

Tabela 11 - Número de eventos de precipitação intensa e precipitação máxima diária para mês em Passo Fundo

Mês	Máxima diária (mm)	Ano da máxima	$P \geq 50$ mm/dia	$P \geq 75$ mm/dia	$P \geq 100$ mm/dia	$P \geq 125$ mm/dia	$P \geq 150$ mm/dia
jan	113	1996	15	7	2	0	0
fev	161,1	1972	16	6	1	1	1
mar	107,4	2000	19	4	1	0	0
abr	174	1998	12	9	0	0	1
mai	151,3	1992	32	2	5	2	1
jun	110,6	2017	23	6	1	0	0
jul	135,8	2007	29	5	1	1	0
ago	112	1965	33	4	1	0	0
set	134,2	2010	28	11	3	1	0
out	138	2001	37	8	3	1	0
nov	122,8	1997	18	8	2	0	0
dez	111,3	1970	20	9	3	0	0
Total de eventos			282	79	23	6	3

Fonte: o Autor (2020)

Verifica-se, através da Tabela 12 que $P \geq 25$ mm possuem frequência relativa de cerca de 18 dias, isto quer dizer que 18 dias do ano a precipitação ocorre com intensidade maior ou igual a 25 mm. Para $P \geq 50$ mm a frequência é de cerca de 5 dias por ano com tal intensidade, enquanto para $P \geq 75$ mm é de ao menos 1 dia por ano.

Os eventos de maior intensidade observados no período em estudo tiveram seu tempo de retorno calculados e resultaram em 3627 dias e 7254 dias para precipitações diárias maiores ou iguais a 125 mm e maiores ou iguais a 150 mm, respectivamente.

Tabela 12 - Frequência relativa e tempo de retorno dos eventos de precipitação intensa em Passo Fundo

Eventos (mm)	nº eventos	Frequência relativa (qtd/ano)	Tempo de retorno (dias)	Tempo de retorno (anos)
$25 \geq P > 50$	1100	18,46	20	0,05
$50 \geq P > 75$	282	4,73	78	0,21
$75 \geq P > 100$	79	1,33	275	0,75
$100 \geq P > 125$	23	0,39	946	2,59
$125 \geq P > 150$	6	0,10	3627	9,93
$P \geq 150$	3	0,05	7254	19,87

Fonte: o Autor (2020)

Na Tabela 13 é possível observar a relação entre os eventos extremos de precipitação e a década que mais registrou cada evento. Para $P \geq 50$ mm a década 2001-2010 foi a que apresentou mais eventos com 58 registros, seguido por 2011-2020 com 52 registros. Para $P \geq 75$ mm o número de eventos por década foi bem distribuído com 1961-1970, 1981-1990, 1991-2000 e 2001-2010 apresentando 14 eventos deste tipo cada. De forma similar, os eventos de $P \geq 100$ mm também foram bem distribuídos ao longos das décadas com 1981-1990, 2001-2010 e 2011-2020 registrando 5 eventos cada. Finalmente, a década de 2001-2010 foi a que apresentou mais eventos de $P \geq 125$ mm com 4 eventos.

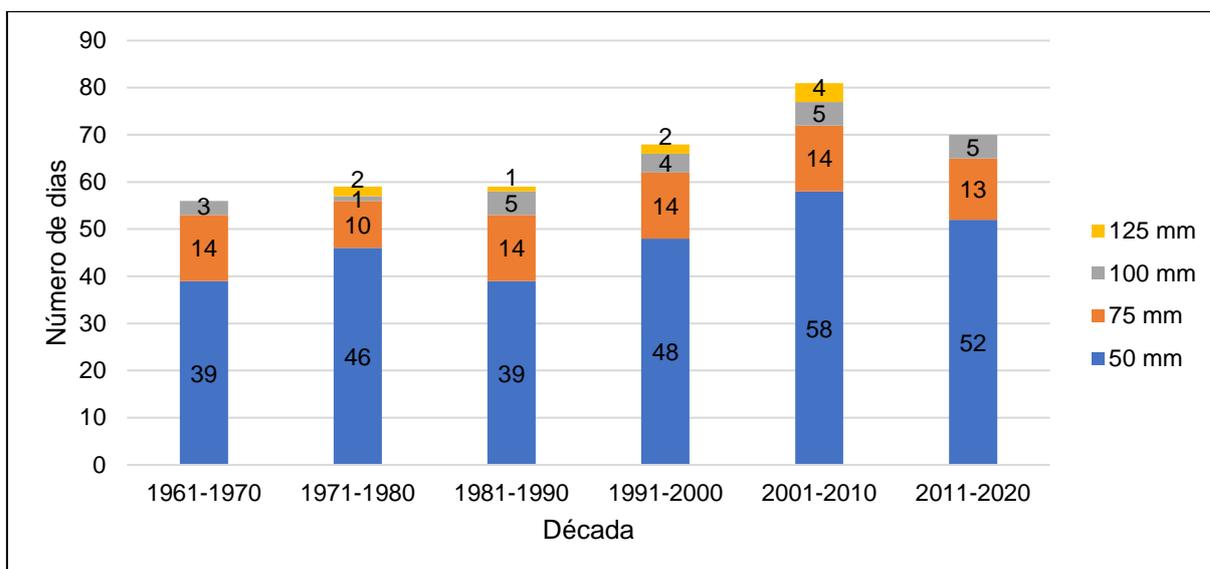
Tabela 13 - Número de dias por década em que a chuva superou 50, 75, 100 e 125 mm/dia

Eventos	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	2011-2020
50 mm	39	46	39	48	58	52
75 mm	14	10	14	14	14	13
100 mm	3	1	5	4	5	5
125 mm	0	2	1	2	4	0

Fonte: o Autor (2020)

Dessa forma, e conforme exposto na Figura 13, a década de 2001-2010 chama a atenção por ser o período que registrou o maior número de eventos em todos os acumulados de precipitação analisados (50, 75, 100 e 125 mm).

Figura 13 - Número de dias por década em que a chuva superou 50, 75, 100 e 125 mm/dia em Passo Fundo

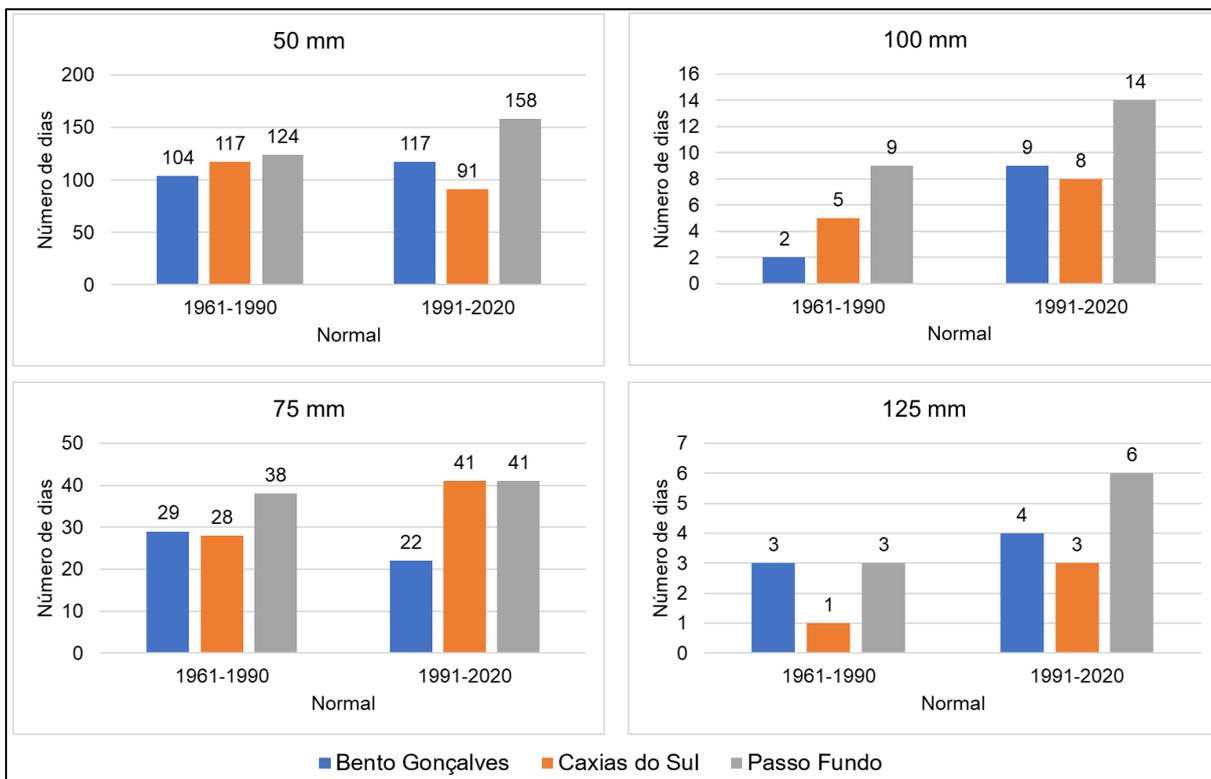


Fonte: o Autor (2020)

5.1.3 Relação entre as três cidades

A Figura 14 mostra a relação entre as 3 estações analisadas e os dias que apresentaram $P \geq 50$, $P \geq 75$, $P \geq 100$ e $P \geq 125$ mm durante as normais climatológicas 1961-1990 e 1991-2020. É possível notar que ocorreu aumento do número de eventos para quase todos eventos de precipitação intensa diário entre a primeira normal climatológica e a segunda. As duas exceções observadas são para Bento Gonçalves, em que os dias de $P \geq 75$ mm diminuíram e em Caxias do Sul, em que os dias com $P \geq 50$ mm diminuíram. Já Passo Fundo registrou aumento dos eventos para todas precipitações. Vale ressaltar que a normal 1991-2020 está incompleta, pois foram utilizados dados da estação até julho de 2020.

Figura 14 - Número de dias por década em que a chuva superou 50, 75, 100 e 125 mm/dia em cada estação



Fonte: o Autor (2020)

Em relação a este aumento no número de eventos observados nos três municípios em estudo, Minuzzi & Lopez (2014) mostram que existe uma tendência de aumento do número e da intensidade de eventos extremos nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul desde meados do século XX. Conclusão semelhante foi apresentada por Teixeira e Satyamurty (2011), em análise de eventos de precipitação intensa entre 1960 e 2004 no sul do Brasil, em que eventos do tipo apresentaram tendência significativa de aumento linear para o período. Para estes autores, a ocorrência destes eventos está diretamente relacionada com a atuação do fenômeno El Niño (TEIXEIRA; SATYAMURTY, 2011), que provoca aumento da precipitação no sul do Brasil (GRIMM *et al.*, 2000). Além destes autores, Nunes e Da Silva (2013) também corroboram as conclusões de que um aumento na frequência de eventos extremos de precipitação é observado no sul do Brasil.

Em contrapartida, Teixeira e Prieto (2020) mostra que entre 2004 e 2013, não foi possível identificar tendência de aumento na frequência de eventos de precipitação (diários e persistentes).

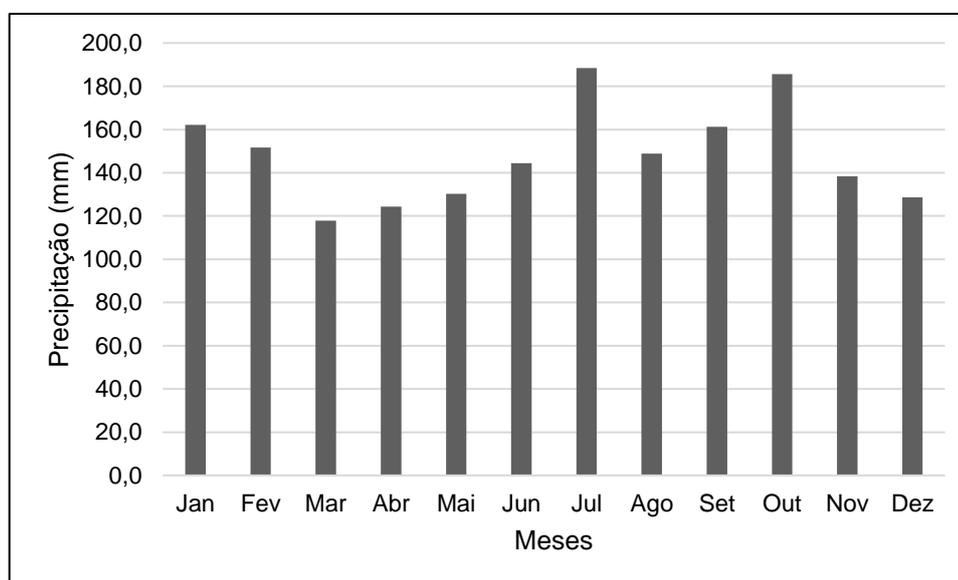
5.2 ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO NORMALIZADA (SPI) E RELAÇÃO COM FENÔMENO ENOS

Neste item são apresentados os resultado da aplicação do índice de precipitação normalizada com base na diretriz estabelecida por McKee (1993) mostrado na Tabela 4, bem como sua relação com o fenômeno ENOS e os índices MEI e SOI.

5.2.1 Bento Gonçalves

Bento Gonçalves possui precipitação média anual de 1781,9 mm (INMET, 2020b), com as precipitações distribuídas de forma semelhante durante todos meses do ano, conforme Figura 15. No período analisado neste trabalho, os anos que apresentaram maior acumulado de precipitação, acima de 2200 mm/ano foram 1972 (2.340,7 mm), 1983 (2.301,2 mm), 1984 (2.266,2 mm), 2009 (2.251,1 mm) e 1973 (2.239,6 mm). A Figura 20 mostra a precipitação anual acumulada em Bento Gonçalves desde 1961.

Figura 15 - Precipitação mensal média Bento Gonçalves



Fonte: o Autor (2020)

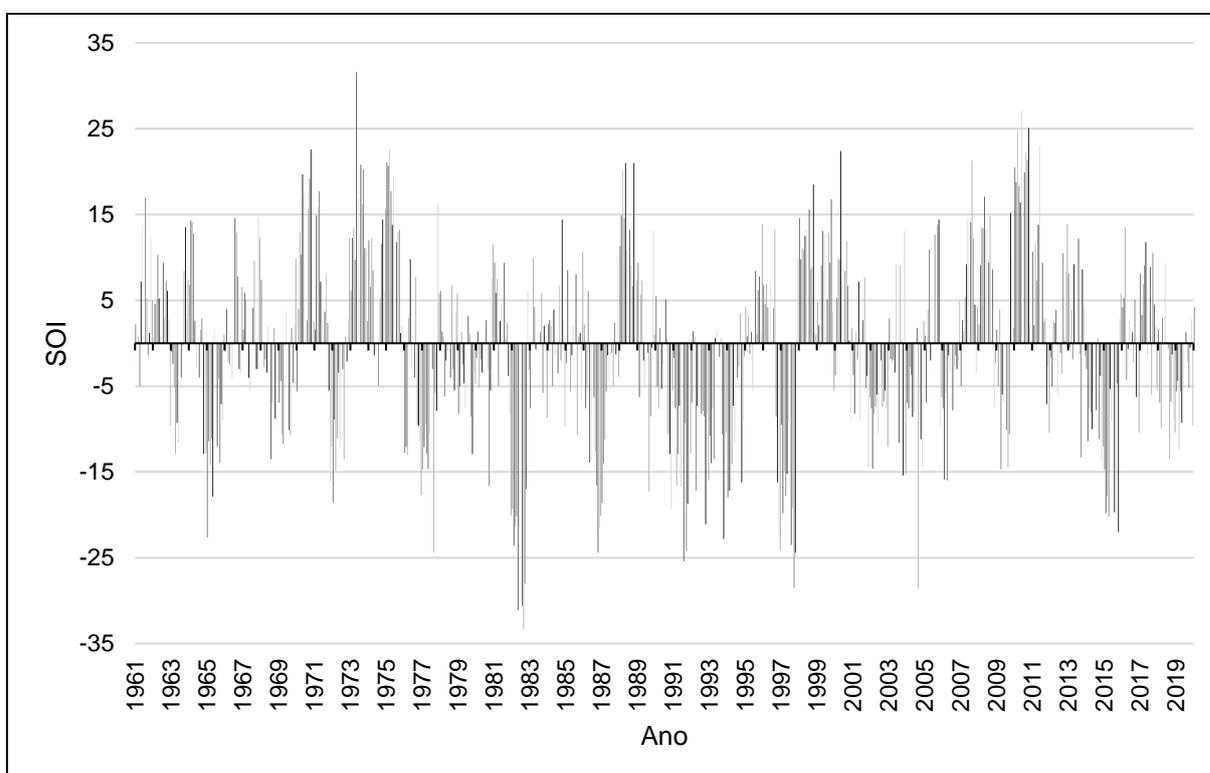
Todos estes anos, em destaque pelo alto valor acumulado de precipitação, chamam atenção por apresentarem a ocorrência do fenômeno *El-Niño* conforme Figura 16 que mostra o índice SOI e Figura 17 que mostra o índice MEI.v2, sendo que em 1973 o fenômeno ocorreu apenas na primeira metade do ano. Vale recordar que

os valores negativos do índice SOI significam ocorrência de *El-Niño*, enquanto para o índice MEI.v2 os valores positivos são os que indicam a ocorrência de *El-Niño*. Para o fenômeno *La-Niña*, o índice SOI apresenta valores positivos e o índice MEI.v2 apresenta valores negativos.

Em relação aos anos que apresentaram menores volumes de precipitação, abaixo de 1250 mm/ano, se destacam: 1962 (878,9 mm), 1985 (1.075,1 mm), 2001 (1.213,0 mm), 1964 (1.226,1 mm) e 1991 (1.246,9 mm). Com exceção de 1991, em que o Pacífico estava em fase de de *El-Niño*, todos outros anos citados apresentam a ocorrência do fenômeno *La-Niña*, tanto no índice SOI, quanto no índice MEI.v2.

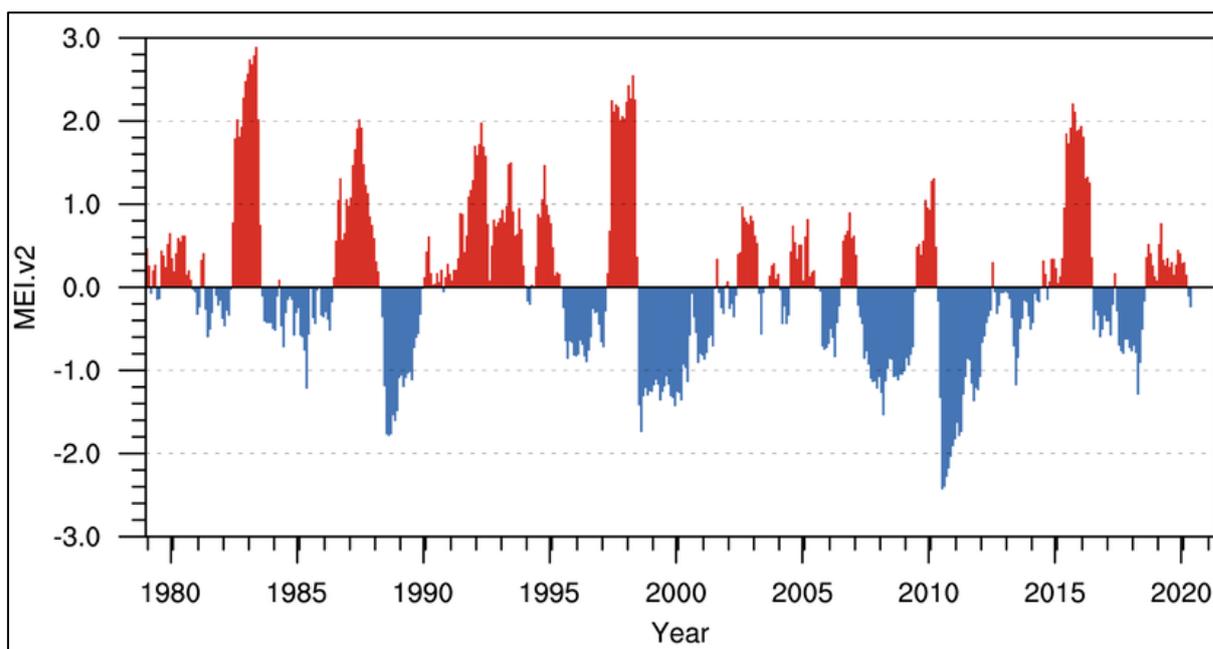
Sobre isso, Pscheidt (2009) mostra que o sul do Brasil é uma área que sofre intensamente com os fenômenos *El-Niño* e *La-Niña*, porém, a ocorrência de eventos extremos de chuva durante um *El-Niño*, por exemplo, pode vir a não ocorrer. Britto *et al.* (2008), em uma análise da influência do fenômeno ENOS no sul do Brasil entre 1967 e 1998 escreveu que na escala de tempo interanual foi observada uma forte influência deste fenômeno nos valores de máxima e mínima precipitação no Rio Grande do Sul.

Figura 16 - Índice SOI para ENOS no período 1961-2020



Fonte: o Autor (2020)

Figura 17 - Índice MEI.v2 para ENOS no período 1979-2020



Fonte: NOAA (2020a)

A Tabela 14 apresenta os resultados do SPI-3 onde é possível verificar os períodos em que o índice mostra extremos de estiagem ou de chuvas intensas. Durante o período de análise em Bento Gonçalves é possível notar a ocorrência de diversos períodos de estiagem, sendo que dois mais intensos merecem atenção. No primeiro, e mais intenso foi observado seca extrema durante 7 meses seguidos no ano de 1982. Entretanto este evento já vinha sendo observado durante o ano de 1981 em que o SPI chegou a apresentar o valor de -3,23. O comportamento pluviométrico em 1981 pode ser explicado pelas baixa temperatura da superfície das águas do pacífico equatorial durante os meses de maio a setembro, conforme indica o índice SOI (Apêndice 2). Já o evento de 1982 ocorreu na transição entre este período de baixas temperaturas na superfície do oceano e seu aquecimento que resultou em *El-Niño* após os primeiros meses de 1982 conforme é possível observar nas Figuras 16 e 17.

O segundo período de estiagem ocorreu entre 1962 e 1964, em que 20 meses seguidos apresentaram valores de SPI que variaram de períodos fracamente a extremamente secos. Durante estes anos, o índice SOI (Figura 16) mostra valores que indicam uma temperatura de superfície do mar abaixo do normal.

Em relação aos resultados de períodos úmidos para ao SPI-3 o destaque vai para os 4 meses entre novembro de 2009 e fevereiro de 2010, em que 2 destes meses

apresentaram características de chuva extrema, conforme Tabela 14. Durante este período, os índices SOI e MEI.v2 mostravam a ocorrência de *El-Niño* e o valor máximo do SPI foi de 2,24. Outro destaque é o período de 13 meses seguidos, entre 2002 e 2003, em que o SPI apresentou resultados mensais de umidade fraca a intensa e, novamente, isto pode ser explicado pela ocorrência do *El-Niño* neste período.

A análise do SPI-6, exibido na Tabela 15, mostra que a estiagem de 1982 continua, mas agora com 10 meses de seca extrema e valor de SPI-6 máximo de -3,21. Ainda, é possível notar dois períodos de estiagem extensos, o primeiro entre 1962 e 1963, com 18 meses de duração com o índice variando entre seca fraca e seca extrema. E o segundo evento, com 33 meses de duração, ocorreu entre 1980 e início de 1983, englobando as estiagens de 1982 e 1983 observadas no SPI-3.

A Tabela 15 mostra ainda os valores de SPI-6 para períodos chuvosos sendo possível notar que o período de 5 meses entre dezembro de 2009 e abril de 2010 apresenta os maiores valores do índice, com 2,78 e 2,76, indicando chuva extrema no período, similar ao observado no SPI-3. Para a escala de tempo de 6 meses, o período de chuvas contínuas que chama atenção é entre 1983 e 1984 com 20 meses seguidos de SPI variando entre fracamente e severamente úmido.

Na Tabela 16 são observados os resultados para o SPI-12. Nela são observados diversos períodos de seca, no qual se destacam dois eventos. Entre 1962 e 1965, foram observados 37 meses seguidos de estiagem variando de fraca a extrema intensidade. Este período seco foi encerrado a partir da metade de 1965 com o aumento de chuvas e coincidiu com o aumento da temperatura da superfície do mar no Pacífico (Figura 16). O segundo evento, que ocorreu entre 1978 e 1983 apresentou 63 meses seguidos de SPI-12 com valores que indicam seca fraca a extrema, que foi encerrado devido a influência do *El-Niño* de 1982/1983, conforme observado nos índices SOI (Figura 16) e MEI.v2 (Figura 17).

O SPI-12 resultou, também, em dados de períodos úmidos. O destaque ficou entre fevereiro e abril de 2003, com umidade extrema e confirmando o observado nos SPI-3. Pode-se notar também que nos anos de 1983 a 1985 houve um período de 23 meses de chuva, variando períodos de umidade fraca a severa e entre 2002 e 2004, num período de iguais 23 meses, com intensidade entre moderada a intensa.

Finalmente, a análise do SPI-24, exibida na Tabela 17, segue os resultados observados nos outros períodos de SPI, com destaque para o intervalo de 61 meses

entre 1978 a 1983, em que os valores de SPI-24 indicaram estiagem variando entre fraca a extrema intensidade, com valores de SPI que atingiram -3,46.

Na Tabela 17, também são exibidos os períodos úmidos referentes ao SPI-24. Desta vez, o destaque é para o período entre 2014 e 2018, em que 45 meses apresentaram valores de SPI correspondentes a intensidades fraca a moderadas de umidade. Entre estes anos é possível observar, através das Figuras 16 e 17, a ocorrência de um evento de *El-Niño* que pode ser a explicação para este longo período úmido.

Tabela 14 - SPI-3 Bento Gonçalves

SPI 3												
Ano/Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1961	-99	-99	0,44	0,48	0,50	0,45	0,43	0,47	0,76	0,97	1,19	0,76
1962	0,27	-0,86	-1,18	-1,63	-0,64	-1,23	-0,91	-1,18	-1,13	-1,84	-2,23	-2,12
1963	-0,76	-0,61	-0,61	-2,04	-1,76	-1,51	-1,42	-1,08	-0,70	0,50	0,80	0,82
1964	-0,81	-1,74	-2,20	-1,14	-1,24	-1,31	-0,71	0,12	0,47	-0,14	-0,75	-0,45
1965	-0,56	-0,36	-0,16	-0,08	-0,28	-1,44	-1,24	0,02	1,02	1,58	0,83	-0,13
1966	0,21	1,17	1,04	0,10	-1,83	-0,26	0,56	1,42	1,21	1,24	0,38	1,28
1967	1,01	1,17	-0,04	-0,86	-1,08	-1,14	-0,57	-0,06	1,10	1,17	1,24	-0,61
1968	-0,62	-1,69	-0,39	-0,31	-0,08	-1,01	-0,72	-1,17	-0,76	-1,10	0,24	-0,01
1969	0,36	0,82	0,93	0,43	-0,57	-0,60	-0,49	-0,86	-0,57	-1,14	-0,89	-1,59
1970	-1,01	-1,00	-0,53	-0,76	0,24	0,81	1,34	0,98	0,06	-0,46	-1,23	0,25
1971	-0,03	0,46	0,90	1,60	1,54	1,07	0,26	0,21	-0,97	-1,60	-2,49	-1,09
1972	0,32	0,44	0,15	0,58	0,39	1,28	0,93	1,85	1,75	1,75	1,26	0,53
1973	1,90	1,58	1,50	0,24	0,45	0,68	0,80	0,92	1,11	0,72	-0,32	0,06
1974	-0,02	0,29	-0,77	-1,42	-0,47	0,36	0,39	-0,16	-1,46	-1,79	-1,20	-0,02
1975	0,12	0,06	-0,21	-0,24	-0,54	-0,24	-0,17	0,67	0,82	1,09	0,44	-0,20
1976	-0,08	-0,12	0,66	0,44	0,85	0,17	0,33	0,04	-0,13	-0,21	-0,74	-0,24
1977	-0,08	0,60	0,91	0,67	-0,12	-0,59	0,19	0,77	0,52	-0,19	-0,42	-0,64
1978	-0,57	-1,70	-1,73	-2,75	-2,44	-1,90	-0,31	0,27	0,22	-0,12	0,08	0,32
1979	-0,47	-1,88	-2,10	-0,60	-0,66	-0,56	-2,10	-1,23	-1,63	-0,68	-0,92	-0,06
1980	-0,42	0,26	-0,31	-0,49	-0,70	-1,23	-1,72	-2,37	-2,38	-1,50	-1,70	-0,86
1981	-1,77	-0,65	-0,47	-0,13	-1,23	-1,58	-2,37	-2,50	-3,23	-2,35	-1,10	-0,45
1982	-1,05	-1,63	-2,42	-2,08	-2,22	-2,65	-3,04	-3,16	-2,51	-1,97	-1,34	-1,10
1983	-0,16	0,51	0,88	0,95	1,22	1,44	1,90	1,63	1,15	0,43	0,05	0,33
1984	0,85	0,90	0,68	0,34	1,05	2,23	1,89	1,57	0,64	0,38	-0,15	-0,14
1985	-1,37	-0,35	0,52	1,15	0,92	-0,07	-0,18	-99	-99	-99	-99	-2,62
1986	-3,03	-1,18	-0,83	0,68	0,86	0,73	-0,13	-0,21	-0,24	-0,08	0,43	0,62
1987	0,72	-0,47	-1,03	0,07	1,15	1,48	1,42	0,96	1,13	0,49	0,24	-0,13
1988	0,10	0,39	0,03	0,14	-0,71	-0,05	-1,55	-1,71	0,50	1,04	1,65	-0,75
1989	0,34	0,14	1,06	0,06	-0,47	-1,64	-1,23	-0,57	-0,25	-0,60	-0,24	-0,58
1990	0,73	0,83	1,28	1,49	1,54	1,48	0,33	-1,07	-0,59	0,30	1,22	0,48
1991	-0,22	-1,61	-1,75	-1,38	-1,05	0,29	-0,11	-0,01	-1,30	-0,92	-0,93	0,40
1992	0,05	1,04	0,77	1,09	1,11	0,73	0,96	0,49	0,69	-0,22	-0,12	-0,77
1993	0,40	-0,26	0,01	-0,99	0,06	0,24	1,00	0,27	0,03	-1,19	-0,43	0,28
1994	0,27	0,60	0,13	1,19	1,24	1,12	0,81	0,29	0,08	0,16	0,26	1,20
1995	0,47	0,97	0,41	0,85	-0,14	0,08	0,35	0,42	0,33	-0,80	-0,90	-1,36
1996	0,97	1,96	2,06	0,94	-0,50	-0,15	-0,34	0,30	-0,07	0,37	0,05	-0,03
1997	-0,42	0,05	-0,33	-0,87	-1,69	-0,62	-0,25	0,75	0,38	1,33	1,37	2,07
1998	1,41	0,74	0,69	0,91	0,63	0,28	-99	-99	-99	0,68	-0,75	-1,35
1999	-1,49	-0,77	-0,91	0,06	0,00	-0,06	-0,05	-0,57	-0,15	-0,63	-0,09	0,18
2000	0,60	0,23	0,39	0,24	0,33	0,26	-0,04	0,23	0,24	0,50	0,55	0,79
2001	1,07	0,85	0,38	0,42	0,57	0,61	0,84	0,32	0,54	0,11	0,80	0,37
2002	-0,05	-0,65	0,06	0,64	1,41	1,63	1,29	1,11	0,63	1,54	1,68	2,25
2003	1,20	1,73	1,61	1,60	0,42	0,16	0,42	0,11	-0,48	-1,03	-0,36	1,46
2004	1,34	1,11	-0,83	-0,67	-0,11	0,03	0,33	-0,51	-0,15	-0,50	0,17	-0,43
2005	-1,33	-2,38	-1,32	-0,10	1,09	1,00	0,47	0,30	0,35	1,22	0,74	0,39
2006	-1,12	-1,27	-0,42	-0,81	-0,39	-0,03	0,60	0,48	-0,14	-1,43	-0,92	-1,21
2007	-0,33	-0,38	0,72	0,34	0,64	-0,37	0,71	0,34	1,11	0,32	0,60	0,49
2008	0,19	-0,55	-1,52	-1,03	0,01	0,41	0,15	0,18	-0,07	1,02	0,45	0,32
2009	0,26	0,68	0,77	-0,99	-0,76	-0,80	-0,33	0,21	1,46	1,71	2,27	1,88
2010	2,98	1,81	0,86	-0,05	0,06	0,47	0,62	-0,02	0,36	-0,77	-0,48	-1,63
2011	-0,28	0,66	1,78	1,89	1,08	0,40	1,04	1,61	1,06	-0,18	-2,22	-2,10
2012	-2,55	-0,63	-0,42	-0,24	-1,40	-1,62	-0,61	-0,48	0,33	0,07	-0,15	-0,02
2013	-0,20	0,36	0,19	0,31	0,60	0,25	0,00	0,74	0,80	0,91	0,88	0,95
2014	0,96	0,20	0,59	0,96	0,84	1,02	0,81	0,49	0,20	0,22	0,28	0,98
2015	1,09	1,05	-0,51	-0,41	-0,28	0,68	0,59	0,13	0,30	0,67	1,25	1,14
2016	0,49	0,41	0,77	1,76	1,31	-0,16	-0,70	-0,49	-0,22	0,58	0,62	0,87
2017	-0,51	-0,29	0,93	1,15	2,05	1,50	0,64	-0,53	-1,12	-0,31	0,03	0,21
2018	0,15	-0,53	-0,23	-1,08	-0,48	-0,06	0,46	0,77	0,64	0,87	0,83	0,84
2019	0,54	-0,49	-0,80	-0,52	-0,23	-0,34	-1,29	-1,20	-1,40	-0,16	0,25	0,25

LEGENDA		
2,00	Chuva extrema	
1,99	1,50	Chuva severa
1,49	1,00	Chuva moderada
0,99	0,50	Chuva fraca
0,49	-0,49	Normal
-0,50	-0,99	Seca fraca
-1,00	-1,49	Seca moderada
-1,50	-1,99	Seca severa
-2,00		Seca extrema
-99		Erro
ANO		Predomina El-Niño
ANO		Predomina Nutro
ANO		Predomina La-Niña

Fonte: o Autor (2020)

Tabela 15 - SPI-6 Bento Gonçalves

SPI 6												
Ano/Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1961	-99	-99	-99	-99	-99	0,49	0,50	0,55	0,70	0,80	0,98	0,91
1962	0,80	0,42	-0,21	-0,83	-1,01	-1,52	-1,53	-1,19	-1,50	-1,75	-2,26	-2,18
1963	-1,76	-2,00	-1,88	-1,85	-1,49	-1,31	-2,11	-1,71	-1,33	-0,48	-0,20	-0,10
1964	-0,09	-0,32	-0,64	-1,35	-1,94	-2,15	-1,14	-0,53	-0,31	-0,58	-0,42	0,03
1965	-0,47	-0,87	-0,49	-0,47	-0,46	-0,96	-0,89	-0,18	0,11	0,42	0,44	0,67
1966	1,27	1,27	0,62	0,14	-0,14	0,44	0,41	0,43	0,71	1,05	1,22	1,56
1967	1,37	0,96	0,85	0,14	0,16	-0,74	-0,90	-0,61	0,27	0,39	0,68	0,52
1968	0,56	0,12	-0,77	-0,67	-1,06	-0,90	-0,71	-0,84	-1,13	-1,19	-0,66	-0,68
1969	-0,60	0,63	0,61	0,47	0,16	0,19	-0,15	-0,94	-0,78	-1,06	-1,24	-1,44
1970	-1,45	-1,38	-1,50	-1,23	-0,46	0,23	0,71	0,80	0,44	0,68	0,09	0,08
1971	-0,42	-0,59	0,75	1,10	1,29	1,16	0,98	0,96	0,05	-0,72	-1,14	-1,49
1972	-0,92	-1,26	-0,67	0,54	0,48	0,91	0,92	1,56	1,84	1,60	2,04	1,64
1973	2,21	1,86	1,38	1,41	1,25	1,26	0,66	0,85	1,08	0,89	0,46	0,84
1974	0,46	-0,13	-0,54	-0,95	-0,16	-0,22	-0,38	-0,40	-0,69	-0,69	-0,89	-1,13
1975	-1,15	-0,87	-0,23	-0,14	-0,35	-0,33	-0,30	0,21	0,41	0,54	0,66	0,46
1976	0,73	0,18	0,28	0,20	0,46	0,45	0,40	0,45	-0,05	0,04	-0,48	-0,35
1977	-0,28	-0,19	0,45	0,36	0,26	0,18	0,43	0,47	0,03	-0,04	0,28	-0,02
1978	-0,52	-1,40	-1,66	-2,04	-2,63	-2,25	-1,47	-0,81	-0,73	-0,33	0,16	0,24
1979	-0,42	-1,05	-1,04	-0,77	-1,61	-1,55	-1,65	-1,23	-1,41	-1,65	-1,50	-1,25
1980	-0,80	-0,55	-0,33	-0,66	-0,31	-0,97	-1,40	-1,86	-2,26	-2,06	-2,71	-2,23
1981	-2,12	-1,72	-1,00	-1,19	-1,24	-1,25	-1,44	-2,29	-2,92	-2,98	-2,31	-2,26
1982	-2,24	-1,93	-1,87	-2,08	-2,46	-3,11	-3,06	-3,28	-3,21	-3,01	-2,75	-2,47
1983	-1,44	-0,62	-0,06	0,53	1,08	1,40	1,86	1,75	1,51	1,54	1,24	1,02
1984	0,69	0,54	0,64	0,73	1,19	1,87	1,61	1,63	1,68	1,52	1,09	0,34
1985	-0,42	-0,42	0,21	0,06	0,39	0,21	0,45	-99	-99	-99	-99	-99
1986	-99	-99	-2,33	-1,03	-0,07	0,03	0,22	0,30	0,22	-0,19	0,04	0,08
1987	0,26	-0,03	-0,24	0,47	0,50	0,54	1,10	1,23	1,52	1,21	0,78	0,77
1988	0,34	0,34	-0,14	0,11	-0,22	-0,07	-0,91	-1,54	0,26	-0,12	0,19	-0,09
1989	0,88	1,32	0,27	0,20	-0,26	-0,17	-0,80	-0,69	-1,03	-1,18	-0,63	-0,64
1990	-0,06	0,30	0,56	1,45	1,49	1,64	0,97	0,28	0,52	0,34	0,11	-0,25
1991	0,04	0,12	-0,74	-1,07	-1,74	-0,72	-0,78	-0,56	-0,66	-0,67	-0,63	-0,74
1992	-0,69	0,02	0,75	0,75	1,32	0,86	1,19	0,89	0,81	0,50	0,21	0,08
1993	-0,02	-0,34	-0,57	-0,39	-0,18	0,11	0,33	0,18	0,09	0,08	-0,13	0,07
1994	-0,71	0,01	0,21	0,96	1,15	0,78	1,13	0,83	0,65	0,58	0,28	0,66
1995	0,29	0,73	1,07	0,83	0,49	0,24	0,64	0,19	0,21	-0,26	-0,25	-0,53
1996	-0,04	0,77	0,86	1,20	1,03	1,19	0,23	-0,07	-0,19	-0,04	0,16	-0,19
1997	-0,01	-0,01	-0,32	-0,91	-0,96	-0,63	-0,66	-0,14	-0,09	0,66	1,28	1,43
1998	1,65	1,42	1,91	1,48	0,82	0,53	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1999	-0,21	-1,13	-1,64	-0,89	-0,52	-0,59	-0,06	-0,43	-0,19	-0,46	-0,53	-0,12
2000	-0,16	0,00	0,33	0,50	0,31	0,34	0,05	0,29	0,24	0,23	0,41	0,53
2001	0,86	0,87	0,75	0,93	0,85	0,56	0,78	0,48	0,64	0,57	0,63	0,53
2002	-0,03	0,19	0,23	0,36	0,62	1,12	1,23	1,47	1,29	1,71	1,72	1,71
2003	1,70	2,27	2,63	1,81	1,34	1,04	1,09	0,25	-0,28	-0,33	-0,21	0,47
2004	0,08	0,42	0,56	0,49	0,61	-0,49	-0,11	-0,45	-0,15	-0,12	-0,32	-0,48
2005	-1,14	-1,18	-1,26	-0,93	-0,36	0,03	0,25	0,75	0,75	0,99	0,58	0,39
2006	0,41	-0,17	-0,06	-1,33	-1,08	-0,31	0,04	0,12	-0,17	-0,36	-0,21	-0,87
2007	-1,24	-1,00	-0,26	-0,03	0,16	0,17	0,64	0,53	0,58	0,61	0,52	1,06
2008	0,26	0,07	-0,62	-0,57	-0,38	-0,53	-0,42	0,09	0,13	0,67	0,31	0,02
2009	0,83	0,68	0,70	-0,49	-0,04	-0,02	-0,78	-0,25	0,70	0,89	1,54	2,09
2010	2,78	2,76	1,87	2,09	1,19	0,75	0,39	-0,03	0,44	-0,04	-0,38	-0,61
2011	-0,78	0,03	0,49	1,20	1,07	1,29	1,66	1,67	0,90	0,57	0,35	-0,09
2012	-1,38	-2,01	-1,71	-1,67	-1,31	-1,24	-0,60	-1,08	-0,54	-0,39	-0,51	0,14
2013	-0,13	0,04	0,05	0,03	0,57	0,21	0,11	0,79	0,63	0,51	0,97	1,05
2014	1,10	0,72	1,00	1,21	0,63	0,95	1,01	0,73	0,66	0,61	0,43	0,62
2015	0,68	0,80	0,34	0,44	0,47	0,14	0,21	-0,10	0,52	0,72	0,79	0,79
2016	0,68	1,14	1,26	1,51	1,09	0,32	0,54	0,41	-0,29	-0,09	-0,01	0,25
2017	0,12	0,23	1,19	0,49	1,31	1,46	0,99	0,89	0,29	0,21	-0,43	-0,77
2018	-0,22	-0,38	-0,08	-0,63	-0,69	-0,22	-0,18	0,32	0,37	0,76	0,96	0,86
2019	0,85	0,30	0,06	-0,02	-0,51	-0,73	-1,18	-0,95	-1,14	-0,90	-0,66	-0,91

LEGENDA		
2,00	Chuva extrema	
1,99	1,50	Chuva severa
1,49	1,00	Chuva moderada
0,99	0,50	Chuva fraca
0,49	-0,49	Normal
-0,50	-0,99	Seca fraca
-1,00	-1,49	Seca moderada
-1,50	-1,99	Seca severa
-2,00		Seca extrema
-99		Erro
ANO		Predomina El-Niño
ANO		Predomina Nutro
ANO		Predomina La-Niña

Fonte: o Autor (2020)

Tabela 16- SPI-12 Bento Gonçalves

SPI 12												
Ano/Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1961	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	0,81
1962	0,74	0,55	0,34	0,18	0,17	-0,23	-0,37	-0,52	-1,12	-1,61	-2,00	-2,22
1963	-2,11	-2,03	-2,18	-2,30	-2,47	-2,30	-2,48	-2,31	-1,94	-1,22	-0,90	-0,80
1964	-1,30	-1,34	-1,37	-1,10	-1,21	-1,31	-0,79	-0,57	-0,57	-1,08	-1,27	-1,09
1965	-1,06	-0,93	-0,58	-0,74	-0,63	-0,62	-0,90	-0,63	-0,18	0,08	0,05	-0,11
1966	0,25	0,56	0,31	0,31	0,18	0,65	1,03	0,98	0,81	0,84	0,78	1,20
1967	1,05	0,77	0,87	0,81	0,92	0,63	0,37	0,15	0,62	0,34	0,53	-0,10
1968	-0,24	-0,41	-0,27	-0,09	-0,10	-0,22	-0,10	-0,51	-1,21	-1,17	-1,02	-0,96
1969	-0,88	-0,24	-0,50	-0,63	-0,41	-0,36	-0,49	-0,25	-0,20	-0,47	-0,69	-0,70
1970	-0,98	-1,51	-1,45	-1,48	-1,17	-0,77	-0,29	-0,10	-0,37	-0,02	-0,20	0,15
1971	0,20	0,22	0,62	0,99	0,77	0,76	0,44	0,39	0,41	0,09	0,09	-0,04
1972	0,15	0,04	-0,39	-0,29	-0,51	-0,27	0,14	0,61	1,17	1,44	1,67	1,49
1973	1,89	2,07	2,01	1,84	2,10	1,80	1,81	1,60	1,47	1,31	0,98	1,23
1974	0,65	0,49	0,50	0,21	0,18	0,38	0,03	-0,38	-0,79	-0,97	-0,68	-0,81
1975	-0,98	-0,84	-0,71	-0,65	-0,88	-0,99	-0,91	-0,34	0,17	0,32	0,27	0,07
1976	0,21	0,17	0,35	0,43	0,67	0,52	0,69	0,39	0,10	0,11	-0,06	0,04
1977	0,05	0,15	0,11	0,13	-0,24	-0,17	0,11	0,21	0,23	0,13	0,31	0,07
1978	-0,06	-0,43	-0,88	-1,04	-1,08	-1,29	-1,28	-1,36	-1,39	-1,18	-1,08	-0,98
1979	-1,21	-1,23	-1,18	-0,71	-0,77	-0,77	-1,31	-1,45	-1,55	-1,52	-1,88	-1,68
1980	-1,57	-1,21	-1,24	-1,57	-1,24	-1,49	-1,42	-1,51	-1,60	-1,70	-1,76	-1,90
1981	-2,23	-2,32	-2,15	-2,14	-2,56	-2,29	-2,28	-2,49	-2,36	-2,50	-2,16	-2,10
1982	-2,33	-2,71	-3,06	-3,23	-3,08	-3,44	-3,35	-3,13	-3,07	-3,06	-3,16	-3,29
1983	-2,73	-2,27	-1,95	-1,51	-0,86	-0,30	0,68	1,03	1,14	1,39	1,39	1,41
1984	1,63	1,53	1,40	1,48	1,48	1,81	1,51	1,46	1,58	1,46	1,35	1,34
1985	0,88	0,99	1,34	1,16	0,94	0,29	0,04	-99	-99	-99	-99	-99
1986	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-0,90	-0,64	-0,03	0,04
1987	0,24	0,12	-0,06	0,03	0,25	0,34	0,90	0,87	1,07	1,11	0,78	0,75
1988	0,89	1,02	1,05	0,93	0,39	0,41	-0,36	-0,76	0,11	-0,05	-0,01	-0,12
1989	-0,02	-0,14	0,24	-0,06	-0,07	-0,23	0,07	0,33	-0,55	-0,69	-0,57	-0,51
1990	-0,59	-0,36	-0,47	-0,02	0,47	0,73	0,62	0,33	0,65	0,94	0,91	0,89
1991	0,63	0,20	-0,05	-0,31	-0,86	-0,67	-0,50	-0,33	-0,87	-1,02	-1,33	-0,90
1992	-0,98	-0,44	-0,12	-0,14	0,35	0,08	0,47	0,63	0,96	0,70	0,86	0,54
1993	0,76	0,41	0,26	0,12	-0,02	0,05	0,19	-0,09	-0,23	-0,14	-0,20	0,08
1994	-0,24	0,06	0,08	0,48	0,54	0,49	0,41	0,58	0,57	0,87	0,80	0,83
1995	0,88	0,93	0,94	0,78	0,41	0,52	0,58	0,51	0,69	0,23	0,10	-0,19
1996	0,35	0,50	0,51	0,38	0,39	0,44	0,11	0,36	0,31	0,57	0,66	0,62
1997	0,09	-0,13	-0,40	-0,55	-0,46	-0,58	-0,46	-0,13	-0,25	0,09	0,47	0,57
1998	0,64	0,68	0,91	1,17	1,31	1,22	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1999	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-0,19	-0,95	-0,95	-0,78	-0,65	-0,44
2000	-0,19	-0,37	-0,06	-0,14	-0,24	0,08	-0,09	0,18	0,32	0,39	0,43	0,49
2001	0,50	0,62	0,48	0,57	0,71	0,64	1,02	0,78	0,83	0,85	0,86	0,62
2002	0,46	0,37	0,51	0,54	0,73	1,00	0,84	1,17	1,09	1,45	1,50	1,66
2003	1,76	2,23	2,24	2,11	1,91	1,71	1,74	1,46	1,30	0,73	0,62	0,88
2004	0,73	0,34	0,01	-0,05	0,15	-0,04	-0,05	-0,08	0,17	0,15	0,13	-0,60
2005	-0,79	-1,04	-0,84	-0,62	-0,49	-0,35	-0,50	-0,05	-0,01	0,35	0,20	0,22
2006	0,35	0,39	0,44	0,15	-0,18	0,01	0,26	-0,03	-0,17	-0,90	-0,71	-0,73
2007	-0,72	-0,51	-0,36	-0,36	-0,12	-0,49	-0,24	-0,15	0,29	0,42	0,42	0,72
2008	0,52	0,34	0,05	0,13	0,11	0,36	-0,13	0,07	-0,23	0,23	0,00	-0,32
2009	0,21	0,37	0,37	0,22	0,13	-0,06	0,04	0,19	0,85	0,45	1,06	1,32
2010	1,41	1,48	1,41	1,66	1,70	1,81	2,05	1,61	1,29	1,05	0,44	0,10
2011	-0,23	-0,08	0,49	0,53	0,33	0,47	0,80	1,25	0,90	0,98	0,80	0,73
2012	0,49	0,39	-0,14	-0,35	-0,48	-0,85	-1,26	-1,88	-1,26	-1,07	-1,05	-0,60
2013	-0,52	-0,75	-0,45	-0,34	-0,07	0,16	-0,03	0,56	0,48	0,37	0,94	0,74
2014	0,69	0,89	0,89	0,92	0,98	1,22	1,32	0,88	0,97	1,01	0,61	0,90
2015	1,01	0,89	0,57	0,61	0,51	0,43	0,53	0,36	0,54	0,73	0,77	0,54
2016	0,49	0,53	0,95	1,23	1,11	0,66	0,75	0,89	0,47	0,70	0,59	0,31
2017	0,37	0,35	0,36	0,11	0,72	1,08	0,74	0,73	0,81	0,37	0,49	0,51
2018	0,51	0,39	0,08	-0,22	-0,76	-0,70	-0,28	-0,01	0,21	0,28	0,33	0,39
2019	0,36	0,31	0,21	0,50	0,39	0,11	-0,15	-0,46	-0,74	-0,64	-0,73	-1,00

LEGENDA		
2,00	Chuva extrema	
1,99	1,50	Chuva severa
1,49	1,00	Chuva moderada
0,99	0,50	Chuva fraca
0,49	-0,49	Normal
-0,50	-0,99	Seca fraca
-1,00	-1,49	Seca moderada
-1,50	-1,99	Seca severa
-2,00		Seca extrema
-99		Erro
ANO		Predomina El-Niño
ANO		Predomina Nutro
ANO		Predomina La-Niña

Fonte: o Autor (2020)

Tabela 17- SPI-24 Bento Gonçalves

SPI 24												
Ano/Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1961	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1962	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-0,66
1963	-0,62	-0,72	-0,92	-1,09	-1,20	-1,42	-1,63	-1,67	-1,92	-1,79	-1,82	-1,87
1964	-2,04	-1,99	-2,07	-1,98	-2,16	-2,15	-1,93	-1,71	-1,54	-1,47	-1,41	-1,22
1965	-1,43	-1,35	-1,13	-1,09	-1,10	-1,16	-1,05	-0,76	-0,52	-0,64	-0,76	-0,75
1966	-0,45	-0,17	-0,14	-0,23	-0,25	0,05	0,13	0,25	0,35	0,52	0,48	0,70
1967	0,79	0,78	0,70	0,68	0,67	0,76	0,82	0,67	0,82	0,67	0,76	0,71
1968	0,52	0,24	0,38	0,45	0,52	0,25	0,13	-0,24	-0,33	-0,51	-0,30	-0,67
1969	-0,67	-0,39	-0,45	-0,42	-0,31	-0,36	-0,39	-0,49	-0,90	-1,05	-1,12	-1,07
1970	-1,13	-1,00	-1,12	-1,23	-0,94	-0,68	-0,50	-0,24	-0,41	-0,36	-0,60	-0,35
1971	-0,44	-0,69	-0,38	-0,15	-0,15	0,04	0,07	0,15	-0,02	-0,02	-0,12	0,05
1972	0,20	0,15	0,16	0,45	0,20	0,30	0,31	0,58	0,93	0,93	1,10	0,95
1973	1,29	1,33	1,07	1,02	1,11	1,00	1,20	1,34	1,56	1,63	1,61	1,70
1974	1,56	1,56	1,52	1,28	1,45	1,34	1,14	0,80	0,48	0,28	0,20	0,34
1975	-0,14	-0,17	-0,09	-0,24	-0,39	-0,33	-0,55	-0,47	-0,41	-0,42	-0,28	-0,47
1976	-0,43	-0,38	-0,18	-0,10	-0,07	-0,24	-0,11	0,01	0,10	0,20	0,08	0,05
1977	0,16	0,19	0,27	0,34	0,28	0,21	0,45	0,33	0,14	0,09	0,10	0,04
1978	-0,01	-0,16	-0,43	-0,50	-0,78	-0,86	-0,69	-0,67	-0,70	-0,66	-0,48	-0,57
1979	-0,74	-0,97	-1,21	-1,03	-1,11	-1,24	-1,59	-1,75	-1,86	-1,71	-1,88	-1,69
1980	-1,68	-1,45	-1,42	-1,34	-1,20	-1,35	-1,68	-1,84	-1,99	-2,03	-2,32	-2,29
1981	-2,29	-2,06	-1,96	-2,19	-2,23	-2,26	-2,24	-2,45	-2,47	-2,61	-2,49	-2,55
1982	-2,76	-2,98	-3,03	-3,15	-3,38	-3,41	-3,38	-3,45	-3,37	-3,46	-3,34	-3,38
1983	-3,05	-2,95	-2,91	-2,72	-2,23	-1,98	-1,21	-0,85	-0,78	-0,56	-0,59	-0,59
1984	-0,19	-0,10	-0,06	0,19	0,50	0,99	1,30	1,49	1,61	1,69	1,66	1,71
1985	1,52	1,50	1,61	1,57	1,46	1,30	0,94	-99	-99	-99	-99	-99
1986	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1987	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	0,14	0,30	0,43	0,48
1988	0,69	0,69	0,61	0,59	0,39	0,44	0,32	0,10	0,68	0,62	0,44	0,39
1989	0,54	0,55	0,78	0,54	0,20	0,11	-0,21	-0,26	-0,32	-0,50	-0,40	-0,42
1990	-0,37	-0,30	-0,12	-0,05	0,24	0,31	0,39	0,37	0,03	0,16	0,21	0,27
1991	0,05	-0,09	-0,30	-0,19	-0,19	0,06	0,07	-0,02	-0,14	-0,01	-0,19	0,05
1992	-0,15	-0,14	-0,10	-0,26	-0,27	-0,35	-0,03	0,17	0,07	-0,17	-0,22	-0,19
1993	-0,06	0,00	0,08	-0,01	0,21	0,07	0,36	0,31	0,42	0,30	0,39	0,37
1994	0,34	0,28	0,20	0,36	0,32	0,32	0,32	0,28	0,16	0,41	0,35	0,56
1995	0,41	0,59	0,62	0,75	0,57	0,60	0,56	0,64	0,71	0,62	0,52	0,41
1996	0,75	0,84	0,86	0,70	0,48	0,57	0,39	0,50	0,56	0,43	0,43	0,26
1997	0,26	0,22	0,08	-0,07	-0,02	-0,07	-0,24	0,11	-0,01	0,35	0,65	0,72
1998	0,44	0,33	0,34	0,44	0,58	0,44	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1999	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
2000	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-0,21	-0,47	-0,40	-0,26	-0,16	0,03
2001	0,20	0,17	0,26	0,27	0,30	0,42	0,55	0,56	0,66	0,71	0,75	0,67
2002	0,57	0,59	0,58	0,66	0,87	0,97	1,09	1,16	1,12	1,36	1,43	1,44
2003	1,37	1,61	1,68	1,63	1,62	1,63	1,53	1,58	1,40	1,29	1,29	1,59
2004	1,52	1,59	1,43	1,32	1,31	1,06	1,05	0,87	0,87	0,48	0,42	0,20
2005	0,02	-0,38	-0,47	-0,39	-0,20	-0,24	-0,36	-0,11	0,04	0,25	0,15	-0,25
2006	-0,23	-0,34	-0,19	-0,26	-0,40	-0,21	-0,17	-0,08	-0,17	-0,36	-0,35	-0,32
2007	-0,20	-0,06	0,07	-0,11	-0,18	-0,30	-0,02	-0,14	0,02	-0,31	-0,20	0,03
2008	-0,09	-0,09	-0,17	-0,12	0,00	-0,07	-0,26	-0,08	-0,01	0,34	0,21	0,26
2009	0,44	0,42	0,25	0,21	0,15	0,17	-0,09	0,13	0,35	0,36	0,63	0,68
2010	1,00	1,12	1,07	1,16	1,16	1,11	1,31	1,12	1,25	0,87	0,89	0,91
2011	0,77	0,88	1,13	1,33	1,26	1,39	1,71	1,72	1,28	1,19	0,72	0,51
2012	0,16	0,18	0,22	0,13	-0,07	-0,20	-0,21	-0,17	-0,17	-0,01	-0,11	0,10
2013	0,00	-0,19	-0,34	-0,41	-0,32	-0,40	-0,78	-0,68	-0,46	-0,43	-0,02	0,11
2014	0,13	0,14	0,30	0,38	0,57	0,84	0,78	0,85	0,83	0,80	0,92	1,01
2015	1,03	1,05	0,86	0,91	0,90	0,99	1,09	0,73	0,87	1,01	0,81	0,89
2016	0,91	0,84	0,90	1,10	0,98	0,64	0,74	0,74	0,56	0,82	0,80	0,51
2017	0,51	0,52	0,78	0,83	1,11	1,03	0,86	0,96	0,73	0,60	0,62	0,50
2018	0,53	0,43	0,26	-0,06	0,03	0,29	0,26	0,43	0,58	0,34	0,46	0,54
2019	0,52	0,41	0,17	0,18	-0,19	-0,35	-0,30	-0,31	-0,36	-0,26	-0,27	-0,36

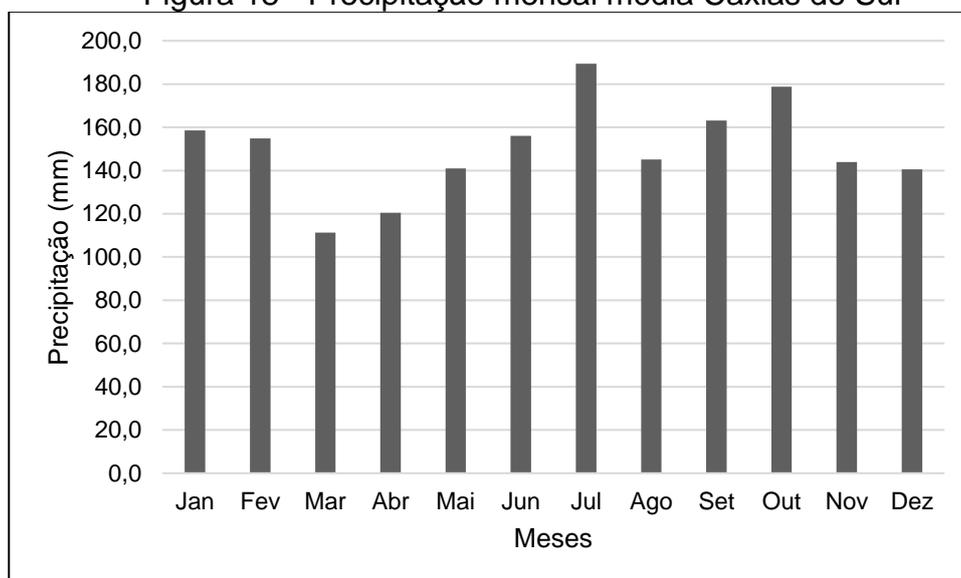
LEGENDA		
2,00		Chuva extrema
1,99	1,50	Chuva severa
1,49	1,00	Chuva moderada
0,99	0,50	Chuva fraca
0,49	-0,49	Normal
-0,50	-0,99	Seca fraca
-1,00	-1,49	Seca moderada
-1,50	-1,99	Seca severa
-2,00		Seca extrema
-99		Erro
ANO		Predomina El-Niño
ANO		Predomina Nutro
ANO		Predomina La-Niña

Fonte: o Autor (2020)

5.2.2 Caxias do Sul

De acordo com o INMET (2020b), a cidade de Caxias do Sul possui precipitação média anual de 1.802,7 mm e estas chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, como mostra a Figura 18. Nos anos (Figura 20) analisados neste trabalho, os anos que apresentam maior acumulado de chuva, com precipitações acima de 2.200 mm/ano foram 1961 (2.506,2 mm), 1983 (2.371,1 mm), 1966 (2.302,0 mm), 1984 (2.276,8 mm), 2015 (2.250,8 mm) e 2002 (2.231,4 mm). Para todos estes anos é possível verificar a ocorrência do fenômeno *El-Niño* utilizando os índices SOI (Figura 16) e MEI.v2 (Figura 17), sendo a exceção o ano de 1984 em que se observa valores que indicam a *La-Niña* do Pacífico.

Figura 18 - Precipitação mensal média Caxias do Sul



Fonte: o Autor (2020)

Já os anos em que a precipitação ficou abaixo de 1.300 mm/ano foram 1974 (1.139,2 mm), 1962 (1.210,7 mm) e 2004 (1.293,0 mm). Para 1974 e 1962 foi observado (Figuras 16 e 17) a ocorrência de *La-Niña* e para 2004 os valores indicam que o Pacífico estava em fase de neutralidade.

A Tabela 18 mostra os valores de SPI-3 para Caxias do sul. Através da análise dos dados foi possível perceber diversos períodos de estiagens e umidade intensa ao longo do período analisado. Em relação às estiagens, destacam-se duas ocorrências mais intensas. A primeira aconteceu entre os anos de 1978 e 1982 em que o valor mínimo de SPI neste período atinge nível de seca extrema ($SPI \leq -2,00$) em 16 meses.

A segunda ocorrência foi durante 1991 com valor de SPI indicando seca extrema por 4 meses seguidos.

Quando comparado com os índices ENOS (Figuras 16 e 17) nota-se que entre 1978 e 1981 a temperatura da superfície do Pacífico indica, em sua maior parte, neutralidade, ou seja, nem *El-Niño*, nem *La-Niña* em atuação. Já para 1982 e 1991, ambos índices apresentam valores que corroboram com o início de um evento de *El-Niño*.

Em relação a umidade, os valores de SPI-3 indicam dois eventos que chamam a atenção. O primeiro evento entre o final de 1982 e 1983 e o segundo entre junho de 2015 e 2016. De acordo com os índices ENOS existe, durante os dois eventos destacados, uma clara presença do fenômeno *El-Niño* em andamento, sendo este um provável gerador de altos valores do índice SPI.

Na Tabela 19 são exibidos os valores de SPI-6. Diversos eventos de secas foram registrados com destaque para o período de 23 meses seguidos em que o SPI detectou valores de seca que variaram de fraco a extremo a partir de janeiro de 1979 até janeiro de 1981, e, logo após, de junho de 1981 até setembro de 1982. Além disso, o período de janeiro de 1991 até fevereiro de 1992 também apresentou valores consideráveis de SPI negativo (-3,00) corroborando com o que foi observado no SPI-3.

Os períodos chuvosos do SPI-6, mostrados na Tabela 19, indicam três eventos mais relevantes de umidade elevada. Entre outubro de 1965 e março de 1967, 18 meses apresentaram valores de SPI que variaram de fracamente a severamente úmidos. Outro evento relevante, e já notado na análise do SPI-3 é o do período entre 1983 e 1984 em que o SPI chegou a acusar umidade extrema durante dois meses. Um terceiro evento que chama a atenção ocorreu entre o final de 2009 e início de 2010, em que o SPI novamente detectou valores que indicaram umidade severa.

O índice SOI (Figura 16) mostra que entre 1965 e 1967 a temperatura da superfície do oceano pacífico equatorial estava com valores elevados a ponto de ser classificado com *El-Niño*, explicando, assim, as detecções de umidade elevada neste período pelo SPI. Além disso, e de forma evidente, o período entre o final de 2009 e início de 2010 também teve a presença de fenômeno *El-Niño* (Apêndices 1 e 2) confirmando assim um dos agentes que provocou o aumento de umidade detectado pelo SPI.

Na Tabela 20 são mostrados os valores referentes ao SPI-12. De forma geral, é observado que para o SPI de 12 meses os períodos de estiagem são os mesmos que

o observado para o SPI de 6 meses. A diferença é que a partir de abril de 1978 60 meses apresentam valor de SPI que acusou uma estiagem que varia de fraca a extrema intensidade. E o mesmo aconteceu com o período de 14 meses seguidos a partir de fevereiro de 1991, em que a intensidade de estiagem variou entre fraca e extrema.

Em relação às chuvas intensas, o SPI-12 indica, novamente, períodos similares aos observados no SPI-6 e no SPI-3. O destaque dessemelhante vai para o período entre julho de 2015 e março de 2017, em que 21 meses seguidos apresentaram valores de SPI que indicam umidade variando de fracamente a intensamente. As Figuras 16 e 17 mostram que os índices SOI e MEI.v2 apontavam a atuação do evento *El-Niño* neste período o que foi um dos fatores que ocasionou os elevados valores no SPI.

Por último, o SPI-24 (Tabela 21) aplicado em Caxias do Sul detectou um período de 66 meses seguidos em que o valor deste índice apontava seca variando de fraca a extrema intensidade no período entre fevereiro de 1978 e julho de 1983. Além disso, o período entre 1990 e 1992 foi outro que apresentou valores baixos de SPI indicando seca entre fraca a moderada intensidade nestes meses.

E em relação a umidade, o SPI-24 detectou diversos períodos em que a umidade foi predominante. Entre fevereiro de 1984 e janeiro de 1986 (24 meses) o SPI detectado indicou umidade variando entre fraca a extrema (2,07) intensidade. Ademais, o período entre dezembro de 2013 e março de 2018 apresentou 52 meses seguidos em que o SPI-24 indicou umidade variando entre fraca a severa intensidade.

Tabela 18 - SPI-3 Caxias do Sul

SPI 3												
Ano/Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1961	-99	-99	1,37	1,65	1,32	0,89	0,38	0,52	1,09	1,40	1,84	1,29
1962	1,33	0,25	-0,22	-0,85	0,07	-0,66	-0,45	-0,77	-0,59	-1,21	-1,59	-1,71
1963	0,13	0,31	0,57	-0,86	-0,72	-1,34	-1,26	-0,03	0,72	1,99	2,04	1,85
1964	0,17	-1,22	-0,90	0,43	0,33	-0,36	-0,55	0,03	0,37	-0,13	-0,99	-2,74
1965	-3,27	-1,70	-0,21	-0,14	-0,63	-1,73	-1,07	0,54	1,51	1,86	0,85	0,67
1966	0,94	1,50	1,47	0,79	-0,55	-0,11	0,71	1,45	1,23	1,21	0,38	0,94
1967	0,82	1,03	0,07	-0,89	-1,09	-1,63	-0,78	-0,15	1,33	1,27	1,11	-0,62
1968	-0,40	-0,61	-0,03	0,02	-0,16	-0,87	-1,13	-1,54	-0,93	-0,75	0,26	-0,06
1969	0,80	1,39	1,71	0,82	-0,04	-0,67	-0,77	-1,19	-1,02	-1,40	-1,09	-1,26
1970	-0,81	-0,31	-0,06	-0,08	0,54	0,95	1,30	0,66	-0,24	-0,63	-1,15	0,44
1971	0,69	0,58	0,26	0,18	0,66	0,14	-0,26	0,19	-0,57	-1,20	-2,50	-1,77
1972	-0,48	0,04	-0,17	-0,16	-0,73	0,64	0,68	1,53	1,56	1,37	0,99	0,33
1973	1,01	0,55	0,30	-0,28	0,15	0,60	0,54	0,61	0,73	0,63	-0,09	0,09
1974	-0,52	-0,32	-1,59	-1,93	-1,15	-0,06	-0,07	-0,58	-1,83	-1,71	-1,08	-0,84
1975	-0,76	-0,34	0,54	0,46	-0,26	-0,60	-0,56	0,34	0,69	0,84	0,13	-0,60
1976	-0,76	-0,97	-0,62	-0,59	0,48	-0,27	0,20	-1,26	-0,91	-1,55	-0,39	0,12
1977	0,28	0,33	0,52	0,52	-0,12	-0,51	0,24	0,92	0,64	-0,11	-0,99	-0,78
1978	-0,29	-0,62	-0,57	-1,95	-1,57	-1,57	-0,23	-0,02	-0,30	-0,35	-0,21	0,19
1979	-0,84	-1,76	-2,28	-1,72	-1,85	-1,26	-1,76	-1,21	-2,60	-1,49	-1,65	-0,81
1980	-1,66	-0,85	-1,41	-1,87	-2,01	-2,34	-1,58	-2,11	-2,34	-1,50	-1,35	0,29
1981	0,07	0,67	-0,36	0,06	-0,97	-1,34	-2,28	-1,84	-2,65	-2,03	-1,77	-1,25
1982	-2,48	-2,16	-2,28	-1,98	-2,41	-2,78	-3,07	-3,24	-1,30	-0,32	0,91	0,71
1983	0,71	0,55	0,71	1,11	1,27	1,40	2,03	1,86	1,51	0,55	-0,07	-0,02
1984	0,39	1,09	1,14	1,14	0,90	2,16	1,77	1,41	0,30	0,01	-0,22	-0,13
1985	-1,10	-1,49	-0,26	0,89	1,27	0,63	0,24	0,53	0,40	-0,04	-1,24	-1,65
1986	-1,42	-0,70	-0,32	0,61	1,64	1,40	0,52	0,12	0,11	0,21	0,61	1,22
1987	1,36	0,88	-0,16	0,65	0,25	0,77	1,00	1,31	1,43	0,75	0,03	0,34
1988	0,66	0,72	-0,42	-0,09	-0,77	-0,52	-2,48	-2,46	-0,05	0,72	1,27	-0,60
1989	-0,83	-0,83	0,61	0,66	0,31	-1,17	-1,79	-1,19	-0,35	-0,18	0,01	-0,22
1990	0,07	-0,37	-0,33	0,35	0,69	0,82	-0,13	-1,04	-1,18	0,02	0,88	0,52
1991	-1,17	-3,01	-2,68	-2,86	-2,11	-0,95	-0,08	0,10	-0,95	-1,28	-1,66	-0,58
1992	-0,41	0,61	0,89	1,04	1,17	0,72	0,99	0,57	0,64	-0,15	-0,41	-1,12
1993	-0,44	-0,53	-0,13	-0,69	0,24	0,58	1,10	0,35	0,16	-0,82	-0,28	0,15
1994	0,11	0,73	0,38	0,90	1,27	1,31	1,30	0,45	0,00	0,19	0,36	0,78
1995	0,36	0,93	0,28	0,67	-0,59	0,40	0,57	0,66	0,35	-0,67	-0,85	-1,12
1996	1,02	2,05	2,01	0,66	-0,92	0,09	-0,41	0,12	-0,65	0,07	-0,03	0,09
1997	-0,32	-0,10	-0,49	-0,74	-1,56	-0,55	-0,23	0,89	0,46	1,29	1,00	1,83
1998	1,39	0,78	0,17	0,50	0,83	0,66	0,34	0,36	0,61	0,06	-0,66	-1,20
1999	-0,86	-0,78	-1,05	-0,50	-0,13	0,15	0,07	-0,38	-0,56	-0,87	-0,49	-0,28
2000	-0,17	-0,07	-0,03	-0,19	-0,50	0,14	0,06	0,16	-0,01	0,57	0,87	0,86
2001	1,50	1,05	1,19	0,97	1,41	1,14	0,59	-0,21	-0,83	-1,67	-0,21	-0,03
2002	0,37	-0,40	0,02	0,27	0,55	1,12	0,92	0,91	0,39	0,85	1,07	1,60
2003	1,18	1,67	1,18	1,27	-0,10	0,01	0,13	-0,13	-0,87	-0,89	0,01	1,43
2004	1,09	0,31	-2,16	-1,79	-0,20	-0,05	0,30	-0,85	-0,44	-0,51	0,31	-0,26
2005	-1,40	-2,27	-1,51	0,31	1,12	1,19	0,37	0,29	0,32	1,16	0,70	0,19
2006	-1,06	-0,41	0,57	0,17	-0,14	-0,05	0,63	0,39	-0,29	-1,51	-0,73	-0,71
2007	-0,27	-0,21	0,37	0,47	0,53	-0,09	0,74	0,30	1,10	0,15	0,50	0,25
2008	0,28	-0,45	-1,33	-1,06	0,07	0,36	0,10	-0,07	-0,11	0,82	0,30	0,06
2009	-0,04	0,44	0,26	-1,15	-1,20	-0,88	-0,49	0,17	1,51	1,63	1,91	1,06
2010	2,20	1,10	0,73	-0,09	0,46	0,46	0,60	-0,08	0,23	-0,85	-0,37	-1,39
2011	-0,31	0,08	1,10	1,13	0,61	0,38	0,86	1,44	1,04	0,03	-1,71	-1,95
2012	-0,70	0,51	0,76	-0,07	-1,14	-1,04	-0,28	-0,28	0,23	0,11	0,20	0,51
2013	0,23	0,72	0,24	0,24	0,12	0,02	-0,22	0,90	0,96	1,13	0,81	0,93
2014	1,35	0,95	0,83	0,79	0,18	1,02	0,96	0,69	-0,02	0,07	0,28	0,58
2015	0,54	0,18	-0,55	-0,37	0,39	1,07	1,24	0,91	1,07	1,42	1,54	1,46
2016	0,53	0,84	1,38	2,23	1,61	-0,20	-0,16	0,05	0,18	0,36	0,35	0,69
2017	0,01	-0,33	0,83	0,75	1,98	1,47	0,61	-0,23	-0,92	0,05	0,42	0,52
2018	0,48	-0,21	-0,04	-0,10	0,16	0,47	0,55	0,58	0,74	0,88	1,10	1,09
2019	0,82	0,28	-0,19	0,42	1,10	0,57	-0,24	-1,15	-0,95	0,19	0,76	0,67

LEGENDA		
2,00		Chuva extrema
1,99	1,50	Chuva severa
1,49	1,00	Chuva moderada
0,99	0,50	Chuva fraca
0,49	-0,49	Normal
-0,50	-0,99	Seca fraca
-1,00	-1,49	Seca moderada
-1,50	-1,99	Seca severa
-2,00		Seca extrema
-99		Erro
ANO		Predomina El-Niño
ANO		Predomina Nutro
ANO		Predomina La-Niña

Fonte: o Autor (2020)

Tabela 19 - SPI-6 Caxias do Sul

SPI 6												
Ano/Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1961	-99	-99	-99	-99	-99	1,34	1,09	1,00	1,19	1,14	1,56	1,51
1962	1,60	1,56	0,89	0,47	0,17	-0,59	-0,83	-0,54	-0,84	-1,19	-1,71	-1,52
1963	-0,72	-0,88	-0,77	-0,43	-0,26	-0,40	-1,38	-0,43	-0,12	0,84	1,38	1,64
1964	1,52	1,10	1,07	0,35	-0,54	-0,83	-0,19	0,13	0,03	-0,53	-0,69	-1,10
1965	-1,50	-1,80	-1,95	-1,86	-1,52	-1,14	-0,84	0,07	0,45	0,80	0,87	1,45
1966	1,75	1,48	1,45	1,06	0,73	0,84	0,86	0,87	0,80	1,22	1,29	1,39
1967	1,22	0,85	0,74	0,06	0,11	-0,89	-1,08	-0,69	0,32	0,42	0,60	0,63
1968	0,70	0,51	-0,54	-0,28	-0,54	-0,58	-0,78	-1,13	-1,19	-1,34	-0,85	-0,73
1969	-0,05	1,00	1,13	0,99	0,90	0,75	-0,08	-0,85	-1,13	-1,55	-1,69	-1,59
1970	-1,40	-1,01	-1,01	-0,59	0,12	0,55	0,93	0,69	0,35	0,55	-0,22	0,05
1971	-0,05	-0,44	0,46	0,54	0,75	0,20	-0,14	0,42	-0,35	-1,04	-1,28	-1,53
1972	-1,09	-1,54	-1,40	-0,45	-0,45	0,27	0,38	0,88	1,41	1,32	1,72	1,30
1973	1,43	1,01	0,39	0,51	0,41	0,52	0,21	0,47	0,78	0,71	0,32	0,51
1974	0,16	-0,32	-0,93	-1,46	-0,94	-0,98	-1,00	-1,05	-1,21	-1,18	-1,24	-1,82
1975	-1,55	-1,03	-0,27	-0,20	-0,43	-0,05	-0,18	0,07	0,16	0,19	0,25	0,10
1976	0,22	-0,50	-0,94	-0,89	-0,30	-0,60	-0,20	-0,57	-0,82	-0,86	-1,22	-0,59
1977	-0,81	-0,13	0,38	0,47	0,10	-0,02	0,39	0,59	0,16	0,01	0,09	-0,03
1978	-0,27	-1,15	-1,05	-1,29	-1,38	-1,33	-1,15	-0,77	-1,05	-0,48	-0,24	-0,15
1979	-0,72	-1,18	-1,16	-1,59	-2,35	-2,22	-2,19	-1,86	-2,46	-2,26	-2,08	-2,20
1980	-1,92	-1,74	-1,62	-2,25	-1,77	-2,31	-2,16	-2,58	-2,97	-2,16	-2,47	-1,17
1981	-0,92	-0,48	-0,06	0,05	-0,11	-1,06	-1,30	-1,80	-2,54	-2,97	-2,62	-2,58
1982	-2,73	-2,66	-2,50	-2,85	-2,95	-3,14	-3,05	-3,47	-2,36	-1,80	-0,84	-0,35
1983	0,15	0,95	0,96	1,12	1,14	1,29	2,04	1,95	1,76	1,77	1,41	1,07
1984	0,53	0,58	0,72	0,93	1,24	2,07	1,84	1,43	1,46	1,27	0,93	0,06
1985	-0,57	-1,06	-0,33	-0,07	0,07	0,22	0,58	0,98	0,57	0,05	-0,39	-0,65
1986	-0,76	-1,37	-1,46	-0,44	0,74	0,75	0,63	0,93	0,85	0,42	0,41	0,81
1987	0,85	0,92	0,85	1,27	0,70	0,37	1,01	1,07	1,37	1,11	0,98	1,20
1988	0,81	0,41	-0,05	0,37	0,02	-0,64	-1,48	-1,98	-0,37	-0,68	-0,31	-0,48
1989	0,10	0,55	-0,06	-0,10	-0,34	-0,29	-0,69	-0,63	-0,92	-1,23	-0,87	-0,46
1990	-0,13	-0,27	-0,45	0,23	0,19	0,31	0,04	-0,32	-0,25	-0,16	-0,09	-0,44
1991	-0,60	-0,64	-0,99	-2,40	-3,33	-2,20	-1,34	-0,86	-1,24	-0,95	-0,99	-1,10
1992	-1,09	-0,69	0,17	0,40	1,11	0,94	1,20	0,95	0,78	0,55	0,10	-0,20
1993	-0,37	-0,68	-0,96	-0,74	-0,22	0,26	0,51	0,32	0,38	0,27	0,00	0,13
1994	-0,51	0,20	0,31	0,61	1,25	1,05	1,36	0,93	0,73	0,99	0,48	0,44
1995	0,27	0,77	0,74	0,62	0,27	0,37	0,70	0,18	0,40	-0,08	-0,07	-0,44
1996	0,13	0,82	0,78	1,04	0,99	1,32	0,03	-0,39	-0,44	-0,30	-0,02	-0,45
1997	-0,16	-0,14	-0,30	-0,69	-0,98	-0,70	-0,61	0,03	0,00	0,72	1,23	1,46
1998	1,56	1,15	1,58	1,21	0,99	0,47	0,44	0,63	0,73	0,19	-0,22	-0,26
1999	-0,43	-1,01	-1,68	-0,90	-0,62	-0,55	-0,26	-0,39	-0,35	-0,59	-0,71	-0,65
2000	-0,70	-0,46	-0,30	-0,26	-0,39	0,01	-0,11	-0,18	0,01	0,35	0,62	0,49
2001	1,15	1,21	1,39	1,55	1,55	1,39	0,86	0,59	0,15	-0,59	-0,39	-0,64
2002	-0,80	-0,45	-0,07	0,38	0,07	0,71	0,77	0,88	0,85	1,12	1,29	1,26
2003	1,16	1,73	1,98	1,52	1,07	0,71	0,72	-0,20	-0,62	-0,56	-0,18	0,43
2004	0,06	0,13	0,14	-0,12	0,04	-1,24	-0,62	-0,75	-0,38	-0,19	-0,44	-0,54
2005	-1,10	-0,94	-1,20	-0,65	-0,39	0,06	0,37	0,74	0,85	0,97	0,59	0,28
2006	0,35	0,26	0,47	-0,57	-0,40	0,27	0,49	0,16	-0,28	-0,48	-0,23	-0,72
2007	-1,14	-0,71	-0,31	0,10	0,17	0,13	0,72	0,42	0,71	0,54	0,46	0,89
2008	0,20	0,08	-0,64	-0,43	-0,28	-0,53	-0,49	-0,08	0,08	0,56	0,06	-0,11
2009	0,52	0,43	0,16	-0,71	-0,39	-0,39	-1,00	-0,47	0,72	0,86	1,40	1,67
2010	2,22	2,05	1,25	1,50	0,97	0,68	0,35	0,13	0,36	-0,16	-0,40	-0,67
2011	-0,77	-0,28	-0,14	0,52	0,41	0,87	1,14	1,33	0,89	0,55	0,29	-0,19
2012	-0,38	-0,79	-0,72	-0,52	-0,32	-0,11	-0,30	-0,82	-0,39	-0,19	-0,16	0,41
2013	0,15	0,53	0,50	0,27	0,52	0,11	-0,08	0,68	0,65	0,60	1,11	1,19
2014	1,43	1,11	1,21	1,34	0,71	1,10	1,04	0,54	0,53	0,65	0,61	0,29
2015	0,30	0,26	0,08	0,13	0,32	0,39	0,75	0,81	1,27	1,71	1,61	1,60
2016	1,23	1,61	1,99	1,76	1,55	0,73	1,13	0,87	-0,04	0,06	0,18	0,50
2017	0,21	0,01	1,02	0,45	1,19	1,41	0,77	0,93	0,34	0,37	0,03	-0,30
2018	0,24	0,14	0,33	0,23	-0,07	0,23	0,30	0,45	0,72	0,88	1,07	1,14
2019	0,98	0,95	0,72	0,77	0,86	0,21	0,01	-0,1	-0,31	-0,11	-0,25	-0,2

LEGENDA		
2,00		Chuva extrema
1,99	1,50	Chuva severa
1,49	1,00	Chuva moderada
0,99	0,50	Chuva fraca
0,49	-0,49	Normal
-0,50	-0,99	Seca fraca
-1,00	-1,49	Seca moderada
-1,50	-1,99	Seca severa
-2,00		Seca extrema
-99		Erro
ANO		Predomina El-Niño
ANO		Predomina Nutro
ANO		Predomina La-Niña

Fonte: o Autor (2020)

Tabela 20 - SPI-12 Caxias do Sul

SPI 12												
Ano/Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1961	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	1,72
1962	1,70	1,62	1,28	0,99	1,15	0,74	0,66	0,63	-0,03	-0,50	-1,00	-1,35
1963	-1,04	-1,00	-1,06	-1,03	-1,24	-1,22	-1,30	-0,84	-0,52	0,37	0,87	0,91
1964	0,35	0,38	0,50	0,71	0,69	0,74	0,90	0,72	0,60	-0,18	-0,81	-1,23
1965	-1,11	-0,98	-1,02	-1,32	-1,31	-1,41	-1,49	-0,95	-0,65	-0,30	-0,11	0,44
1966	0,77	0,95	1,08	1,05	0,94	1,42	1,62	1,41	1,33	1,40	1,30	1,36
1967	1,29	1,08	0,93	0,85	0,92	0,51	0,26	0,07	0,60	0,31	0,46	-0,07
1968	-0,16	-0,18	-0,11	0,11	0,10	0,09	0,01	-0,39	-1,12	-1,05	-0,92	-0,85
1969	-0,55	-0,09	-0,08	-0,24	-0,03	-0,01	-0,11	0,08	-0,03	-0,35	-0,48	-0,48
1970	-0,97	-1,30	-1,39	-1,34	-0,99	-0,61	-0,19	-0,08	-0,29	0,07	-0,10	0,32
1971	0,53	0,20	0,45	0,61	0,25	0,12	-0,15	0,01	0,00	-0,37	-0,36	-0,83
1972	-0,83	-0,61	-1,05	-0,95	-1,12	-0,77	-0,43	-0,18	0,40	0,73	1,05	0,99
1973	1,15	1,19	1,19	1,13	1,38	1,14	1,04	0,87	0,74	0,74	0,43	0,59
1974	0,18	0,10	0,06	-0,20	-0,29	-0,19	-0,49	-0,89	-1,37	-1,64	-1,42	-1,77
1975	-1,70	-1,45	-1,00	-0,89	-1,08	-1,16	-1,08	-0,56	-0,06	0,00	-0,08	0,00
1976	-0,02	-0,31	-0,43	-0,34	-0,03	-0,30	-0,01	-0,70	-1,12	-1,11	-1,01	-0,77
1977	-0,70	-0,54	-0,36	-0,31	-0,74	-0,42	-0,27	0,30	0,29	0,24	0,10	-0,07
1978	0,03	-0,27	-0,49	-0,66	-0,67	-0,76	-0,87	-1,22	-1,33	-1,05	-0,94	-0,86
1979	-1,23	-1,35	-1,42	-1,16	-1,35	-1,27	-1,71	-1,91	-2,25	-2,42	-2,81	-2,75
1980	-2,68	-2,45	-2,58	-2,71	-2,39	-2,81	-2,56	-2,68	-2,82	-2,75	-2,72	-2,08
1981	-1,93	-1,94	-1,75	-1,26	-1,54	-1,41	-1,40	-1,42	-1,53	-1,69	-1,67	-2,25
1982	-2,61	-3,00	-3,18	-3,49	-3,39	-3,52	-3,60	-3,76	-3,03	-2,81	-2,15	-1,79
1983	-1,44	-1,09	-0,76	-0,39	0,13	0,56	1,40	1,87	1,76	1,83	1,61	1,40
1984	1,65	1,77	1,63	1,66	1,58	1,90	1,48	1,29	1,42	1,37	1,33	1,30
1985	0,90	0,50	0,89	0,82	0,64	0,14	-0,01	0,13	0,21	-0,03	-0,25	-0,31
1986	-0,13	-0,05	-0,35	-0,23	0,14	0,04	-0,07	-0,06	-0,10	0,04	0,68	0,92
1987	0,90	1,17	1,02	0,92	0,62	0,72	1,12	1,22	1,41	1,43	1,06	0,97
1988	1,12	0,97	0,95	0,91	0,65	0,48	-0,23	-0,88	-0,31	-0,26	-0,22	-0,72
1989	-0,82	-0,86	-0,34	-0,53	-0,43	-0,51	-0,37	-0,09	-0,67	-0,88	-0,81	-0,51
1990	-0,55	-0,67	-0,93	-0,66	-0,48	-0,13	-0,09	-0,40	-0,46	-0,01	0,02	-0,13
1991	-0,41	-0,69	-0,77	-1,27	-1,60	-1,48	-1,20	-0,98	-1,43	-1,95	-2,43	-1,97
1992	-1,61	-1,10	-0,74	-0,40	0,03	-0,08	0,16	0,29	0,62	0,58	0,70	0,41
1993	0,53	0,28	0,05	-0,01	-0,09	-0,01	0,06	-0,19	-0,25	-0,21	-0,15	0,19
1994	-0,04	0,29	0,39	0,47	0,68	0,69	0,58	0,73	0,66	1,00	1,03	0,87
1995	1,02	1,08	0,88	0,95	0,43	0,48	0,57	0,54	0,66	0,26	0,09	-0,10
1996	0,48	0,58	0,66	0,48	0,48	0,53	0,07	0,22	0,14	0,38	0,55	0,52
1997	-0,14	-0,42	-0,52	-0,60	-0,57	-0,73	-0,50	-0,10	-0,19	0,15	0,41	0,64
1998	0,74	0,70	0,88	1,08	1,32	1,23	1,26	1,06	1,36	0,78	0,42	0,08
1999	-0,03	-0,16	-0,32	-0,35	-0,52	-0,52	-0,46	-0,89	-1,17	-0,92	-0,87	-0,78
2000	-0,67	-0,63	-0,46	-0,56	-0,72	-0,43	-0,54	-0,42	-0,18	0,09	0,21	0,29
2001	0,68	0,62	0,77	1,04	1,23	1,12	1,22	1,07	0,88	0,53	0,68	0,46
2002	0,05	0,12	0,02	-0,20	-0,25	0,02	0,00	0,35	0,55	0,97	0,96	1,20
2003	1,20	1,65	1,65	1,50	1,40	1,22	1,15	0,93	0,79	0,52	0,49	0,65
2004	0,45	-0,12	-0,38	-0,46	-0,14	-0,38	-0,35	-0,43	-0,20	-0,23	-0,30	-1,09
2005	-1,16	-1,18	-0,97	-0,50	-0,55	-0,34	-0,44	-0,01	0,02	0,36	0,19	0,18
2006	0,41	0,64	0,81	0,38	0,16	0,31	0,49	0,23	0,05	-0,67	-0,41	-0,32
2007	-0,41	-0,37	-0,42	-0,29	-0,10	-0,41	-0,21	-0,13	0,32	0,40	0,39	0,63
2008	0,55	0,29	0,14	0,12	0,13	0,30	-0,18	-0,04	-0,32	0,15	-0,14	-0,41
2009	0,02	0,16	0,09	0,01	-0,21	-0,33	-0,23	-0,07	0,57	0,25	0,82	0,94
2010	1,08	1,04	1,15	1,33	1,43	1,49	1,68	1,32	0,92	0,75	0,30	-0,03
2011	-0,30	-0,14	0,13	0,14	-0,06	0,10	0,28	0,78	0,54	0,64	0,41	0,37
2012	0,49	0,54	0,25	0,09	-0,01	-0,22	-0,45	-1,04	-0,70	-0,44	-0,31	0,17
2013	-0,13	-0,25	-0,02	-0,02	0,15	0,31	0,02	0,73	0,70	0,54	1,05	0,83
2014	0,90	1,11	1,08	1,08	1,09	1,39	1,52	0,98	1,01	1,16	0,80	0,80
2015	0,82	0,49	0,37	0,47	0,55	0,38	0,62	0,67	0,95	1,30	1,33	1,27
2016	1,23	1,52	1,94	2,03	1,88	1,47	1,43	1,49	1,12	1,04	1,03	0,71
2017	0,82	0,60	0,51	0,25	0,75	1,13	0,58	0,63	0,78	0,48	0,71	0,65
2018	0,60	0,72	0,37	0,33	-0,06	-0,09	0,30	0,35	0,66	0,72	0,72	0,86
2019	0,80	0,86	0,85	0,95	1,15	0,86	0,62	0,48	0,18	0,34	0,33	-0,05

Fonte: o Autor (2020)

LEGENDA		
2,00		Chuva extrema
1,99	1,50	Chuva severa
1,49	1,00	Chuva moderada
0,99	0,50	Chuva fraca
0,49	-0,49	Normal
-0,50	-0,99	Seca fraca
-1,00	-1,49	Seca moderada
-1,50	-1,99	Seca severa
-2,00		Seca extrema
-99		Erro
ANO		Predomina El-Niño
ANO		Predomina Nutro
ANO		Predomina La-Niña

Tabela 21 - SPI-24 Caxias do Sul

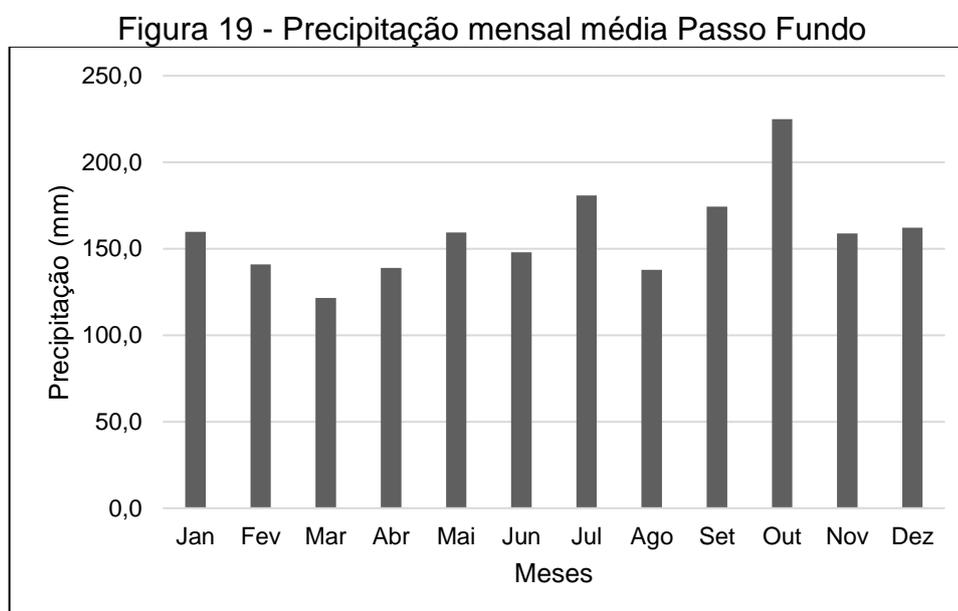
SPI 24												
Ano/Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1961	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1962	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	0,45
1963	0,59	0,54	0,26	0,06	0,07	-0,25	-0,36	-0,12	-0,38	-0,10	-0,04	-0,17
1964	-0,40	-0,34	-0,30	-0,15	-0,29	-0,25	-0,17	-0,05	0,04	0,09	0,06	-0,11
1965	-0,44	-0,33	-0,29	-0,31	-0,32	-0,36	-0,27	-0,12	-0,03	-0,33	-0,60	-0,46
1966	-0,13	0,06	0,13	-0,05	-0,13	0,18	0,31	0,41	0,48	0,71	0,74	1,16
1967	1,31	1,26	1,26	1,23	1,22	1,28	1,28	0,99	1,19	1,05	1,06	0,86
1968	0,76	0,59	0,53	0,62	0,68	0,38	0,15	-0,24	-0,29	-0,46	-0,28	-0,60
1969	-0,45	-0,17	-0,13	-0,10	0,03	0,02	-0,10	-0,23	-0,73	-0,90	-0,90	-0,88
1970	-0,98	-0,83	-0,90	-1,03	-0,67	-0,43	-0,24	-0,03	-0,24	-0,21	-0,40	-0,11
1971	-0,24	-0,63	-0,52	-0,40	-0,47	-0,34	-0,27	-0,08	-0,22	-0,22	-0,32	-0,32
1972	-0,16	-0,24	-0,34	-0,18	-0,54	-0,44	-0,42	-0,14	0,22	0,21	0,43	0,17
1973	0,29	0,43	0,19	0,21	0,32	0,31	0,44	0,46	0,68	0,88	0,89	1,01
1974	0,87	0,82	0,81	0,63	0,77	0,65	0,40	0,04	-0,32	-0,46	-0,56	-0,64
1975	-0,88	-0,79	-0,58	-0,73	-0,91	-0,91	-1,08	-0,99	-0,89	-0,99	-0,92	-1,08
1976	-1,02	-1,07	-0,91	-0,82	-0,72	-0,98	-0,74	-0,87	-0,75	-0,70	-0,70	-0,51
1977	-0,45	-0,53	-0,51	-0,45	-0,51	-0,51	-0,22	-0,27	-0,50	-0,53	-0,57	-0,55
1978	-0,42	-0,50	-0,54	-0,66	-0,95	-0,82	-0,79	-0,58	-0,62	-0,50	-0,53	-0,61
1979	-0,74	-0,98	-1,19	-1,22	-1,34	-1,38	-1,76	-2,10	-2,26	-2,15	-2,27	-2,25
1980	-2,44	-2,34	-2,50	-2,49	-2,47	-2,68	-2,90	-3,06	-3,21	-3,25	-3,46	-3,13
1981	-2,93	-2,73	-2,72	-2,57	-2,60	-2,79	-2,67	-2,70	-2,72	-2,76	-2,73	-2,82
1982	-2,88	-3,05	-3,06	-2,98	-3,18	-3,18	-3,25	-3,28	-2,84	-2,80	-2,40	-2,63
1983	-2,55	-2,45	-2,33	-2,28	-1,81	-1,52	-0,79	-0,42	-0,28	-0,14	-0,04	-0,01
1984	0,35	0,60	0,67	0,91	1,17	1,66	1,91	2,07	1,96	1,96	1,78	1,73
1985	1,63	1,44	1,59	1,63	1,47	1,41	1,01	0,94	1,02	0,84	0,68	0,68
1986	0,51	0,29	0,36	0,40	0,50	0,09	-0,09	0,01	0,04	-0,03	0,25	0,41
1987	0,51	0,73	0,45	0,47	0,49	0,49	0,71	0,78	0,84	0,92	1,04	1,21
1988	1,28	1,33	1,23	1,18	0,83	0,78	0,61	0,30	0,73	0,75	0,52	0,22
1989	0,27	0,15	0,41	0,28	0,16	-0,02	-0,44	-0,66	-0,65	-0,74	-0,67	-0,81
1990	-0,88	-0,96	-0,80	-0,80	-0,62	-0,46	-0,34	-0,36	-0,74	-0,57	-0,51	-0,43
1991	-0,62	-0,85	-1,08	-1,28	-1,36	-1,06	-0,87	-0,94	-1,19	-1,16	-1,38	-1,29
1992	-1,26	-1,11	-0,97	-1,10	-0,98	-1,02	-0,69	-0,45	-0,44	-0,73	-0,87	-0,88
1993	-0,57	-0,47	-0,43	-0,29	-0,06	-0,09	0,11	0,03	0,21	0,20	0,32	0,37
1994	0,31	0,35	0,26	0,29	0,39	0,44	0,40	0,34	0,24	0,49	0,54	0,68
1995	0,64	0,87	0,79	0,92	0,72	0,75	0,74	0,81	0,80	0,76	0,67	0,50
1996	0,96	1,04	0,96	0,93	0,59	0,65	0,40	0,47	0,47	0,36	0,36	0,26
1997	0,22	0,12	0,11	-0,07	-0,04	-0,12	-0,32	0,05	-0,07	0,29	0,56	0,73
1998	0,39	0,20	0,26	0,36	0,57	0,41	0,56	0,64	0,75	0,55	0,48	0,45
1999	0,45	0,35	0,37	0,50	0,60	0,53	0,58	0,18	0,23	-0,06	-0,28	-0,45
2000	-0,45	-0,49	-0,50	-0,62	-0,84	-0,66	-0,71	-0,89	-0,86	-0,53	-0,42	-0,31
2001	0,04	0,02	0,22	0,36	0,42	0,49	0,51	0,46	0,42	0,35	0,52	0,47
2002	0,46	0,46	0,50	0,57	0,69	0,76	0,83	0,92	0,86	0,90	0,98	1,07
2003	0,81	1,15	1,10	0,91	0,81	0,83	0,77	0,82	0,81	0,90	0,87	1,18
2004	1,05	1,02	0,88	0,76	0,88	0,59	0,56	0,34	0,36	0,16	0,09	-0,23
2005	-0,39	-0,79	-0,86	-0,65	-0,47	-0,51	-0,57	-0,32	-0,15	0,06	-0,10	-0,57
2006	-0,42	-0,26	-0,03	-0,08	-0,26	-0,04	0,02	0,11	0,01	-0,20	-0,17	-0,11
2007	0,01	0,19	0,27	0,05	0,03	-0,08	0,17	0,03	0,20	-0,17	-0,04	0,20
2008	0,10	-0,04	-0,18	-0,13	0,00	-0,08	-0,30	-0,15	-0,03	0,31	0,12	0,15
2009	0,36	0,27	0,13	0,06	-0,07	-0,03	-0,31	-0,11	0,14	0,21	0,40	0,37
2010	0,72	0,76	0,80	0,90	0,86	0,83	1,04	0,84	0,91	0,59	0,66	0,59
2011	0,53	0,59	0,82	0,98	0,94	1,08	1,34	1,37	0,89	0,83	0,40	0,20
2012	0,12	0,26	0,22	0,13	-0,06	-0,11	-0,14	-0,12	-0,10	0,11	0,03	0,33
2013	0,23	0,19	0,13	0,03	0,08	0,04	-0,32	-0,16	0,01	0,05	0,46	0,64
2014	0,51	0,57	0,68	0,70	0,82	1,13	1,06	1,10	1,04	1,03	1,11	1,03
2015	1,09	1,00	0,91	1,00	1,07	1,18	1,43	1,06	1,20	1,50	1,29	1,32
2016	1,30	1,27	1,50	1,68	1,63	1,24	1,37	1,42	1,27	1,42	1,42	1,26
2017	1,30	1,33	1,58	1,55	1,76	1,71	1,34	1,39	1,16	0,92	1,03	0,86
2018	0,90	0,81	0,55	0,36	0,45	0,71	0,56	0,62	0,87	0,71	0,84	0,96
2019	0,88	0,98	0,77	0,83	0,74	0,51	0,60	0,52	0,50	0,62	0,61	0,52

Fonte: o Autor (2020)

LEGENDA		
2,00		Chuva extrema
1,99	1,50	Chuva severa
1,49	1,00	Chuva moderada
0,99	0,50	Chuva fraca
0,49	-0,49	Normal
-0,50	-0,99	Seca fraca
-1,00	-1,49	Seca moderada
-1,50	-1,99	Seca severa
-2,00		Seca extrema
-99		Erro
ANO		Predomina El-Niño
ANO		Predomina Nutro
ANO		Predomina La-Niña

5.2.3 Passo Fundo

A cidade de Passo Fundo apresenta média anual de precipitação de 1907,5 mm (INMET, 2020b), com o mês de maior concentração pluviométrica sendo outubro (225,0 mm) e o de menor sendo março (121,5 mm), conforme Figura 19. No período em análise neste trabalho (Figura 20) os anos com maior acumulado (acima de 2.350 mm/ano) foram 1972 (2.755,8 mm), 2007 (2.625,7 mm), 2002 (2.577,7 mm), 1998 (2.482,7 mm) e 1990 (2.390,1 mm). Nos anos citados é possível observar através dos índices SOI (Figura 16) e MEI.v2 (Figura 17) a ocorrência do *El-Niño* em 1972 e 2002. Os anos 1998 e 2007 são anos em que ocorreu a transição de um fenômeno para outro.



Fonte: o Autor (2020)

Dentre os anos com menor pluviosidade, se destacam aqueles com precipitação abaixo de 1.350 mm/ano: 1962 (1.172,3 mm), 1968 (1.204,8 mm), 1978 (1.266,0 mm), 1981 (1.319,3 mm), 1995 (1.378,4 mm) e 1991 (1.379,0 mm). A análise destes anos nos índices SOI e MEI.v2 mostra que 1962, 1968, 1981 e 1995 estavam sobre influência de *La-Niña*, enquanto o ano de 1978 está na transição entre *El-Niño* e *La-Niña*. Chama a atenção o ano de 1991, que apesar de apresentar volume de precipitação anual considerado baixo estava sobre a influência de águas quentes no Pacífico equatorial. Vale apontar que os anos de 1979 e 1985 não foram incluídos nesta análise por apresentarem falhas em 182 e 120 dias, respectivamente.

A Tabela 22 mostra os vários eventos de secas e chuvas intensas registrados em Passo Fundo e detectados pelo SPI-3. Em relação aos vários períodos secos identificados se destacam o evento entre dezembro de 1980 e junho de 1982, com pico de -3,05 e o evento entre os anos de 1988 e 1989 com pico de -3,44. Em relação a temperatura da superfície do oceano Pacífico na região equatorial, estimada pelos índices SOI (Apêndice 2) e MEI.v2 (Apêndice 1), nota-se que entre 1980 e 1982 poucos meses apresentaram valores que corroborariam com a presença de um evento de *La-Niña*, estando a temperatura da superfície do mar perto da normalidade para a maioria dos meses compreendidos entre 1980 e 1982. Já entre os anos de 1988 e 1989, ambos índices de ENOS indicaram a atuação de um fenômeno *La-Niña* explicando assim, a estiagem que ocorreu na região em estudo durante este período.

Eventos de chuvas intensas detectados pelo SPI-3 também são exibidos na Tabela 22. Dentre os eventos identificados, dois são mais relevantes pelo alto valor detectado pelo SPI-3. O primeiro ocorreu entre 1997 e 1998 em que o valor máximo registrado pelo SPI foi de 2,73 durante 7 meses seguidos em que foram detectados valores que indicavam umidade severa a extrema. O segundo evento ocorreu em 2009 quando o pico detectado foi de 2,10 e se manteve classificado entre umidade severa a extrema por 3 meses seguidos. O fator comum entre estes eventos que resultaram na detecção de umidade extrema foi a atuação de *El-Niño* nos meses em análise, conforme é possível notar nas Figuras 16 e 17.

A Tabela 23 exibe os resultados detectados pelo SPI-6 em Passo Fundo. É possível notar, em relação aos períodos secos, que entre 1981 e 1982 e entre 1988 e 1989 ocorreram as mais duradouras e intensas estiagens, conforme o que já foi discutido na análise trimestral do SPI-3. E, além destes dois eventos, outro foi classificado como seca extrema: em 1974. Neste ano, em que o SPI chegou a indicar -2,18 ocorria um evento de *La-Niña* (Apêndice 2), podendo este ser um dos fatores atmosféricos que influenciou a baixa precipitação na época.

Em relação a umidade, o SPI-6 exposto na Tabela 23, apresenta 3 períodos de máxima observados: 1997/1998, 1972 e 2017. O período mais com registros mais intensos foi 1997/1998 em que 7 meses seguidos apresentaram umidade classificada como extrema, isto em função do *El-Niño* que atuava no oceano Pacífico. Em 2017, também era observada a presença de águas superficiais mais aquecidas no Pacífico sendo este o provável motivo do SPI-6 ter indicado o pico de 2,07 em junho/2017. De forma similar, o ano de 1972, em que 9 meses registraram valores que variaram de

fracamente a severamente úmidos foi caracterizado por águas superficiais aquecidas no Pacífico, conforme Apêndice 2.

Na Tabela 24 são mostrados os resultados do SPI-12 em Passo Fundo e, para esta escala de tempo foram observados dois eventos mais com estiagem apresentando valores de SPI extremos. Entre 1981 e 1982 13 meses seguidos apresentaram valores de SPI-12 que indicam estiagem extrema. E entre 1988 e 1990 24 meses seguidos apresentar valores que representam estiagem variando entre fraca a extrema. Ambos estes casos mais extremos já foram notados nas análises temporais anteriores (SPI-3 e SPI-6).

Em relação aos períodos mais úmidos, o SPI-12 apresentou alguns períodos mais extremos. Entre 1972 e 1973, uma sequência de 17 meses apresentou valores relevantes de SPI que indicam umidade de fraca a severa intensidade. Entre 1997 e 1998, como já discutido antes, valores altos de SPI foram detectados devido ao *El-Niño* daquele ano. Na análise temporal do SPI-12, este período apresentou 7 meses seguidos com umidade de intensidade extrema (pico máximo 2,69). Ademais, entre os anos de 2002 e 2003 uma sequência de 13 meses apresentou valores de SPI que detectou umidade que variou entre fraca a extrema intensidade. Este período foi caracterizado por apresentar o fenômeno *El-Niño* em atuação, conforme é possível observar nas Figuras 16 e 17. Porém, a maior sequência de valor de SPI-12 indicando chuvas intensas foi de 27 meses entre setembro de 2014 e novembro de 2016. Este período foi, outrossim, marcado pela atuação de um evento de *El-Niño*, conforme indicado pelos índices SOI e MEI.v2.

O SPI-24, exibido na Tabela 25, detectou três períodos extensos de estiagem. O primeiro teve início em agosto de 1968 e durou até março de 1971 em que foram registrados meses classificados com seca de intensidade fraca a severa. O segundo período, entre 1988 e 1991 registrou valores de SPI que indicam seca de intensidade fraca a extrema. O terceiro período entre 1981 e 1983 apresentou os mais altos valores de SPI, com o pico de -3,39.

Já em relação as chuvas intensas, o SPI-24 apresentou resultados similares aos observados nos SPI-3, SPI-6 e SPI-12. O período mais longo em que foram detectados valores relevantes de umidade foi entre janeiro de 2015 e março de 2018, em que a sequência de 39 meses apresentou valores de SPI para intensidade de umidade variando entre fraca a moderada a severa. Além disso, o pico de SPI-24 detectado ocorreu em junho de 2017 com 1,71.

Tabela 22 - SPI-3 Passo Fundo

SPI 3												
Ano/Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1961	-99	-99	1,13	1,59	0,61	0,43	0,00	0,00	1,03	1,39	1,48	0,15
1962	-0,74	-0,87	-0,93	-0,44	0,27	-0,14	-0,30	-1,27	-0,73	-1,64	-1,73	-2,06
1963	-0,55	-0,24	0,56	-0,53	-0,40	-1,32	-1,40	-0,50	0,57	1,49	1,77	1,70
1964	1,04	0,37	-0,66	0,69	-0,15	-0,26	-1,58	-0,45	0,17	-0,04	-0,54	-0,82
1965	-1,13	-0,87	-1,14	-0,43	-0,88	-1,02	-1,37	0,71	1,71	1,94	0,70	0,48
1966	1,01	1,42	0,85	-0,07	-1,30	-0,60	0,22	1,36	1,17	1,33	0,37	0,64
1967	-0,20	0,46	-0,43	-0,71	-0,92	-1,43	-0,04	0,56	1,41	0,77	0,47	-0,61
1968	-0,31	-0,88	-0,56	-0,58	-0,70	-0,93	-1,39	-1,79	-0,98	-1,01	-0,46	-0,89
1969	-0,62	0,17	0,21	-0,21	-0,46	-0,29	-0,53	-1,31	-0,79	-0,95	-0,12	-0,57
1970	-0,58	-1,40	-0,50	-0,59	0,28	0,32	0,79	0,35	-0,54	-1,40	-1,97	0,53
1971	0,82	2,20	0,73	1,14	-0,04	0,48	0,27	1,14	0,41	-0,17	-1,75	-1,19
1972	-0,41	1,19	1,34	1,48	0,23	1,35	1,26	2,52	1,80	1,56	1,02	0,34
1973	1,04	0,03	0,26	-0,33	0,25	0,60	1,09	1,24	1,04	0,55	-0,34	-0,33
1974	0,22	0,97	1,09	0,29	-0,83	-1,53	-1,59	-0,93	-1,68	-1,75	-1,88	-0,62
1975	-0,18	0,53	0,72	0,68	0,02	-0,24	-0,51	0,24	0,45	0,55	-0,06	-0,27
1976	0,10	0,09	-0,03	-0,74	-0,27	-0,85	-0,63	-0,95	-0,57	-0,26	0,11	0,59
1977	1,08	1,23	1,15	0,46	-0,78	-0,68	0,33	1,20	0,82	-0,18	-0,57	-0,55
1978	-0,34	-1,36	-0,33	-0,91	-0,63	-2,17	-0,79	-0,67	-0,44	-0,85	-0,48	-0,56
1979	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-2,14	-1,06	-0,88	-0,14
1980	-0,69	-0,20	-0,43	-0,80	-0,59	-1,31	-1,19	-1,69	-0,72	-0,16	-0,23	-0,70
1981	-1,51	-0,88	-1,08	-1,06	-1,94	-1,48	-2,27	-2,40	-3,05	-2,64	-1,67	-0,38
1982	-0,91	-1,22	-2,19	-1,90	-2,13	-1,45	-0,32	-0,15	-0,46	-0,36	0,33	0,26
1983	-0,52	-0,06	0,60	1,09	1,12	0,80	1,63	1,20	1,25	-0,01	-0,39	-0,46
1984	-0,43	-0,35	-0,56	-0,83	1,01	1,26	1,48	1,00	0,95	0,66	0,22	-0,26
1985	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-0,32	-0,19	0,33	-0,44	-1,90	-3,26
1986	-2,36	-1,09	-0,30	0,47	0,86	0,44	0,00	-0,14	-0,14	-0,30	0,55	0,46
1987	0,77	-0,87	-1,02	-0,08	1,02	1,35	1,61	1,05	0,97	-0,27	-0,45	-0,46
1988	-1,44	-2,05	-3,29	-2,39	-1,70	-0,12	-0,63	-0,94	-1,40	-1,77	-1,43	-1,65
1989	-0,19	0,09	0,08	-0,90	-1,34	-2,25	-3,44	-2,79	-1,28	-1,03	-1,10	-1,28
1990	-0,06	1,05	1,29	1,25	1,06	1,02	0,31	-1,05	-0,49	0,24	1,07	0,72
1991	0,22	-0,93	-2,01	-1,97	-1,36	-0,62	-0,84	-99	-99	-99	-1,10	0,24
1992	0,51	0,92	0,75	0,59	1,66	1,18	1,47	0,43	0,60	-0,15	0,57	0,36
1993	1,38	0,50	1,04	0,22	0,47	0,10	0,93	0,09	-0,07	-1,23	0,38	1,04
1994	0,91	1,10	0,20	1,19	0,29	0,87	0,92	0,37	0,01	0,10	0,59	1,02
1995	1,43	0,97	0,22	-1,35	-1,59	-0,69	-0,37	-0,20	-0,58	-0,51	-0,47	-1,14
1996	0,06	0,41	0,99	-0,55	-0,76	-0,50	-0,32	0,33	0,05	-0,04	-0,65	-0,57
1997	-0,56	-0,33	-0,75	-1,28	-1,16	-0,52	-0,36	0,37	0,38	2,00	2,32	2,73
1998	2,16	1,97	2,04	2,68	1,91	1,22	0,39	0,59	0,93	0,42	-0,61	-1,15
1999	-1,19	-0,68	-0,86	-0,16	-0,02	0,11	-0,09	-0,85	-0,59	-0,94	-0,27	-0,33
2000	-0,50	-0,54	0,56	0,37	0,32	-0,07	0,17	0,26	-0,10	0,62	0,89	0,94
2001	1,10	0,55	0,26	0,21	0,45	0,78	0,67	0,20	-0,30	-0,82	-0,44	-0,10
2002	-1,07	-1,02	0,64	1,06	1,35	0,65	0,54	0,91	0,85	1,63	1,55	1,95
2003	1,64	1,73	0,86	0,72	-0,10	0,02	-0,20	-0,70	-1,48	-0,85	-0,13	1,52
2004	1,33	0,92	-1,37	-0,75	0,15	0,66	0,25	-0,96	-0,40	-0,10	0,30	-0,61
2005	-1,42	-2,20	-1,62	0,11	1,61	2,16	1,23	0,39	-0,43	0,86	0,94	0,69
2006	-0,79	-0,98	-0,10	-0,44	-0,75	-0,72	-0,25	0,15	-0,31	-0,98	0,15	0,18
2007	1,46	0,23	0,94	1,12	1,81	1,19	1,29	0,55	1,21	0,94	1,22	1,10
2008	0,23	-0,04	-0,42	1,10	0,88	1,25	-0,01	0,19	-0,75	0,58	0,95	0,93
2009	-0,41	-1,00	-0,69	-1,24	-0,67	-0,68	0,43	0,76	2,10	1,75	2,08	0,75
2010	1,09	-0,60	-0,92	-0,03	0,29	0,62	0,32	-0,26	0,14	-0,37	-0,28	-0,51
2011	-0,41	0,65	0,96	0,94	0,56	0,54	1,35	1,83	0,89	-0,01	-1,10	-0,74
2012	-1,63	-1,35	-0,85	-1,03	-1,21	-0,62	0,14	0,02	-0,38	-0,43	-0,36	-0,10
2013	-1,23	-0,06	0,09	0,26	-0,12	-0,38	-0,61	0,79	0,83	1,13	-0,10	-0,79
2014	-0,75	-0,39	0,86	0,76	1,19	1,30	1,00	0,53	0,23	0,34	0,46	0,26
2015	1,49	1,14	0,40	-0,66	-0,05	0,61	1,19	0,68	0,61	0,11	0,89	1,61
2016	1,84	1,69	1,12	1,32	0,57	-0,57	-0,61	-0,07	0,05	0,65	0,14	0,63
2017	-0,11	0,46	0,89	1,51	2,23	2,16	0,97	-0,11	-1,07	0,16	0,27	0,32
2018	0,09	-0,76	0,02	-0,67	-0,27	-0,03	0,00	0,05	0,42	1,17	1,58	0,89
2019	0,23	0,15	0,36	0,29	0,62	0,06	-0,05	-1,55	-1,38	-0,23	0,08	0,11

LEGENDA		
2,00		Chuva extrema
1,99	1,50	Chuva severa
1,49	1,00	Chuva moderada
0,99	0,50	Chuva fraca
0,49	-0,49	Normal
-0,50	-0,99	Seca fraca
-1,00	-1,49	Seca moderada
-1,50	-1,99	Seca severa
-2,00		Seca extrema
-99		Erro
ANO		Predomina El-Niño
ANO		Predomina Nutro
ANO		Predomina La-Niña

Fonte: o Autor (2020)

Tabela 23 - SPI-6 Passo Fundo

SPI 6												
Ano/Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1961	-99	-99	-99	-99	-99	0,92	0,87	0,31	0,86	0,84	0,95	0,78
1962	0,71	0,68	-0,51	-0,75	-0,37	-0,73	-0,51	-0,61	-0,66	-1,24	-1,98	-1,84
1963	-1,44	-1,37	-0,91	-0,69	-0,47	-0,46	-1,25	-0,63	-0,33	0,30	0,92	1,44
1964	1,57	1,51	0,95	1,03	0,08	-0,66	-0,52	-0,44	-0,13	-0,97	-0,71	-0,44
1965	-0,63	-0,99	-1,41	-0,96	-1,18	-1,49	-1,17	-0,04	0,74	0,68	0,81	1,51
1966	1,91	1,31	0,83	0,55	0,25	0,12	0,05	0,30	0,45	0,92	1,04	1,17
1967	0,88	0,47	0,16	-0,59	-0,30	-1,25	-0,46	-0,17	0,34	0,39	0,57	0,70
1968	0,38	-0,19	-0,88	-0,59	-1,07	-1,05	-1,29	-1,58	-1,31	-1,58	-1,38	-1,33
1969	-1,09	-0,29	-0,54	-0,53	-0,25	-0,14	-0,54	-1,15	-0,79	-1,02	-0,90	-0,99
1970	-1,02	-0,95	-0,82	-0,75	-0,63	-0,13	0,24	0,31	-0,23	-0,25	-0,91	-0,07
1971	-0,44	0,47	0,78	1,21	1,40	0,71	0,76	0,67	0,47	-0,01	-0,16	-0,44
1972	-0,38	-0,27	0,17	0,82	0,85	1,69	1,61	1,82	1,93	1,69	2,22	1,51
1973	1,62	0,73	0,34	0,42	0,13	0,51	0,59	0,89	0,97	0,97	0,56	0,53
1974	0,46	0,32	0,46	0,29	0,11	-0,14	-0,80	-1,16	-2,15	-2,18	-1,84	-1,57
1975	-1,27	-0,85	0,00	0,34	0,29	0,23	0,01	0,09	0,09	-0,02	0,03	0,10
1976	0,40	-0,07	-0,29	-0,42	-0,18	-0,65	-0,90	-0,82	-0,98	-0,64	-0,54	-0,04
1977	0,37	0,80	1,11	0,91	0,33	0,29	0,41	0,38	0,14	0,03	0,42	0,23
1978	-0,36	-1,29	-0,69	-0,80	-1,31	-1,53	-1,10	-0,88	-1,51	-1,12	-0,80	-0,75
1979	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-1,41
1980	-1,15	-0,82	-0,45	-0,95	-0,57	-1,18	-1,30	-1,44	-1,34	-0,87	-1,16	-1,03
1981	-0,90	-0,76	-1,28	-1,60	-1,79	-1,74	-2,06	-2,75	-2,89	-3,18	-2,59	-1,97
1982	-2,20	-2,01	-1,60	-1,72	-2,12	-2,43	-1,23	-1,22	-1,21	-0,52	0,04	-0,21
1983	-0,58	0,13	0,51	0,47	0,72	0,86	1,68	1,35	1,23	1,08	0,50	0,63
1984	-0,28	-0,57	-0,78	-0,81	0,48	0,61	0,73	1,16	1,31	1,31	0,70	0,49
1985	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-0,56	-1,30	-1,34
1986	-1,49	-2,06	-2,19	-0,85	-0,01	0,07	0,20	0,39	0,10	-0,27	0,20	0,13
1987	0,16	-0,12	-0,31	0,39	0,23	0,48	1,13	1,20	1,38	0,93	0,36	0,40
1988	-0,96	-1,55	-2,12	-2,34	-2,46	-1,75	-1,69	-1,65	-1,02	-1,55	-1,58	-2,11
1989	-1,29	-0,94	-1,09	-0,70	-0,78	-1,23	-2,37	-2,53	-2,22	-2,40	-2,31	-1,79
1990	-0,78	-0,06	0,09	0,81	1,30	1,43	0,85	0,09	0,30	0,26	0,14	0,10
1991	0,23	0,29	-0,53	-0,96	-1,51	-1,68	-1,68	-99	-99	-99	-99	-99
1992	-99	-0,15	0,59	0,66	1,66	1,22	1,31	1,25	1,04	0,88	0,55	0,58
1993	0,61	0,65	0,88	0,95	0,57	0,66	0,72	0,27	-0,08	-0,06	0,22	0,58
1994	-0,30	0,88	0,84	1,29	0,83	0,68	1,21	0,33	0,47	0,60	0,53	0,61
1995	0,80	0,95	0,83	0,19	-0,23	-0,38	-1,02	-1,05	-0,90	-0,64	-0,51	-1,20
1996	-0,37	-0,14	-0,08	-0,34	-0,25	0,27	-0,58	-0,27	-0,35	-0,31	-0,26	-0,39
1997	-0,36	-0,74	-0,97	-1,15	-0,99	-0,90	-0,98	-0,42	-0,12	1,11	1,75	2,08
1998	2,50	2,82	3,24	3,02	2,44	2,03	1,79	1,51	1,27	0,42	-0,06	0,03
1999	-0,29	-0,93	-1,47	-0,81	-0,48	-0,49	-0,22	-0,59	-0,40	-0,71	-0,76	-0,69
2000	-0,97	-0,60	0,08	-0,06	-0,15	0,23	0,26	0,28	-0,21	0,42	0,66	0,49
2001	0,97	0,91	0,79	0,77	0,58	0,65	0,52	0,32	0,23	-0,08	-0,23	-0,34
2002	-1,19	-1,01	0,28	0,19	0,44	0,77	0,89	1,32	0,87	1,30	1,49	1,79
2003	1,97	2,10	1,94	1,42	1,03	0,49	0,22	-0,56	-0,96	-0,73	-0,58	0,24
2004	0,18	0,43	0,48	0,40	0,63	-0,28	-0,26	-0,54	0,09	0,01	-0,41	-0,75
2005	-0,81	-0,95	-1,52	-0,72	0,23	1,02	0,91	1,20	1,21	1,25	0,77	0,12
2006	0,24	0,15	0,39	-0,78	-1,16	-0,62	-0,47	-0,39	-0,73	-0,84	0,11	-0,17
2007	0,19	0,17	0,68	1,56	1,42	1,34	1,44	1,42	1,43	1,34	1,06	1,47
2008	0,76	0,85	0,54	0,86	0,54	0,66	0,56	0,60	0,34	0,28	0,67	0,11
2009	0,18	0,16	0,26	-1,04	-1,13	-0,98	-0,33	0,09	1,18	1,32	1,78	1,96
2010	1,79	1,33	0,00	0,63	-0,21	-0,11	0,15	-0,05	0,38	-0,09	-0,42	-0,29
2011	-0,53	0,15	0,26	0,41	0,72	0,89	1,39	1,46	0,82	0,85	0,67	0,19
2012	-0,83	-1,69	-1,17	-1,66	-1,70	-1,04	-0,47	-0,71	-0,72	-0,25	-0,30	-0,41
2013	-0,98	-0,37	-0,09	-0,51	-0,17	-0,27	-0,30	0,39	0,29	0,35	0,37	0,12
2014	0,48	-0,38	0,02	0,10	0,60	1,37	1,05	0,99	0,89	0,79	0,54	0,25
2015	0,99	0,97	0,37	0,56	0,65	0,60	0,54	0,35	0,68	0,80	0,92	1,41
2016	1,05	1,61	1,83	1,91	1,38	0,33	0,37	0,24	-0,39	0,00	-0,04	0,37
2017	0,38	0,31	0,96	1,00	1,88	2,07	1,43	1,41	0,94	0,67	0,03	-0,52
2018	0,11	-0,29	0,18	-0,39	-0,70	-0,08	-0,42	-0,20	0,17	0,69	1,04	0,79
2019	0,94	1,24	0,82	0,29	0,46	0,19	0,06	-0,47	-0,88	-0,26	-0,85	-0,85

LEGENDA		
2,00		Chuva extrema
1,99	1,50	Chuva severa
1,49	1,00	Chuva moderada
0,99	0,50	Chuva fraca
0,49	-0,49	Normal
-0,50	-0,99	Seca fraca
-1,00	-1,49	Seca moderada
-1,50	-1,99	Seca severa
-2,00		Seca extrema
-99		Erro
ANO		Predomina El-Niño
ANO		Predomina Nutro
ANO		Predomina La-Niña

Fonte: o Autor (2020)

Tabela 24 - SPI-12 Passo Fundo

SPI 12												
Ano/Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1961	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	0,95
1962	0,90	0,54	0,30	0,22	0,44	0,11	0,13	0,01	-0,78	-1,29	-1,50	-1,65
1963	-1,29	-1,33	-1,16	-1,35	-1,64	-1,49	-1,71	-1,27	-0,77	-0,18	0,34	0,67
1964	0,28	0,54	0,29	0,76	0,66	0,65	0,71	0,66	0,43	-0,06	-0,46	-0,75
1965	-0,82	-0,99	-1,03	-1,32	-1,26	-1,20	-1,14	-0,64	-0,19	-0,01	-0,08	0,27
1966	0,57	0,73	0,97	0,76	0,67	1,09	1,25	0,96	0,73	0,89	0,79	0,76
1967	0,49	0,40	0,34	0,36	0,54	0,16	0,27	0,14	0,28	-0,06	0,17	-0,25
1968	-0,14	-0,32	-0,34	-0,07	-0,22	-0,12	-0,52	-1,11	-1,41	-1,40	-1,60	-1,55
1969	-1,59	-1,25	-1,39	-1,47	-1,12	-0,97	-1,03	-0,94	-0,88	-1,02	-0,79	-0,78
1970	-1,07	-1,44	-1,21	-1,23	-1,06	-0,77	-0,44	-0,36	-0,65	-0,61	-1,03	-0,21
1971	-0,20	0,41	0,24	0,49	0,33	0,37	0,25	0,69	0,72	0,62	0,71	0,09
1972	0,21	0,23	0,37	0,42	0,38	0,84	0,92	1,15	1,49	1,59	1,96	1,87
1973	1,93	1,65	1,68	1,49	1,71	1,30	1,36	0,99	0,83	0,86	0,39	0,55
1974	0,57	0,73	0,93	0,85	0,41	0,24	-0,20	-0,53	-0,97	-1,17	-1,08	-1,11
1975	-1,39	-1,39	-1,48	-1,22	-1,00	-0,84	-0,74	-0,47	0,02	0,12	0,13	0,11
1976	0,16	-0,07	-0,21	-0,31	-0,14	-0,35	-0,30	-0,60	-0,85	-0,71	-0,52	-0,47
1977	-0,40	-0,07	-0,01	0,06	-0,21	0,12	0,47	0,68	0,70	0,47	0,41	0,23
1978	-0,03	-0,54	-0,40	-0,47	-0,46	-0,71	-0,92	-1,40	-1,41	-1,24	-1,35	-1,43
1979	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1980	-99	-99	-99	-99	-99	-1,71	-1,56	-1,45	-1,17	-1,16	-1,15	-1,44
1981	-1,47	-1,50	-1,90	-1,60	-1,94	-1,77	-1,81	-2,08	-2,54	-2,93	-2,79	-2,37
1982	-2,77	-3,10	-3,11	-3,22	-3,14	-2,83	-2,14	-2,05	-1,77	-1,28	-1,10	-1,45
1983	-1,22	-0,75	-0,58	-0,15	0,43	0,38	0,88	0,99	1,11	0,96	0,69	0,83
1984	0,95	0,60	0,49	0,39	0,59	0,76	0,31	0,48	0,56	0,57	0,68	0,59
1985	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1986	-99	-99	-99	-0,96	-0,91	-0,83	-0,71	-0,85	-1,06	-0,68	0,07	0,04
1987	0,13	0,11	-0,21	-0,02	0,23	0,35	0,85	0,74	0,82	0,82	0,31	0,45
1988	0,19	0,01	0,02	-0,36	-1,02	-0,68	-1,65	-2,05	-1,91	-2,36	-2,51	-2,46
1989	-1,96	-1,74	-1,55	-1,56	-1,60	-2,18	-2,24	-2,11	-2,07	-1,94	-1,96	-1,94
1990	-1,96	-1,54	-1,45	-0,98	-0,43	-0,03	0,14	-0,02	0,22	0,57	0,82	0,87
1991	0,61	0,15	-0,18	-0,36	-0,79	-0,89	-0,81	-99	-99	-99	-99	-99
1992	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	0,76	1,01	0,91	1,29	1,02
1993	1,15	1,18	1,23	1,13	0,67	0,75	0,82	0,52	0,41	0,44	0,42	0,67
1994	0,22	0,64	0,38	0,67	0,61	0,77	0,66	0,71	0,76	1,05	0,77	0,71
1995	1,19	0,72	0,78	0,50	0,20	0,17	-0,08	-0,04	-0,09	-0,37	-0,53	-1,05
1996	-0,96	-0,84	-0,80	-0,72	-0,56	-0,61	-0,62	-0,30	-0,32	-0,44	-0,38	-0,16
1997	-0,69	-0,72	-0,96	-0,92	-0,82	-0,84	-0,85	-0,76	-0,65	0,26	0,75	0,96
1998	1,10	1,59	2,07	2,53	2,67	2,60	2,66	2,66	2,69	1,97	1,47	1,24
1999	1,03	0,56	0,20	-0,15	-0,38	-0,31	-0,34	-0,99	-1,11	-0,96	-0,84	-0,81
2000	-0,82	-0,86	-0,34	-0,60	-0,67	-0,33	-0,40	-0,20	-0,14	0,22	0,31	0,36
2001	0,67	0,67	0,26	0,69	0,76	0,68	0,91	0,72	0,57	0,32	0,14	0,10
2002	-0,40	-0,44	0,25	-0,01	0,07	0,24	-0,04	0,40	0,72	1,00	1,22	1,54
2003	1,69	2,10	1,78	1,71	1,62	1,50	1,38	1,02	0,62	0,32	0,23	0,35
2004	0,15	-0,17	-0,45	-0,33	-0,03	-0,05	-0,07	-0,11	0,29	0,18	0,06	-0,72
2005	-0,76	-1,03	-0,91	-0,44	-0,19	0,18	0,17	0,33	0,15	0,56	0,60	0,61
2006	0,65	0,86	1,08	0,56	-0,10	-0,32	-0,16	-0,20	-0,28	-1,04	-0,61	-0,55
2007	-0,27	-0,23	-0,15	0,36	0,93	0,74	1,08	1,06	1,35	1,70	1,47	1,64
2008	1,32	1,42	1,36	1,43	1,02	1,37	0,80	0,86	0,49	0,60	0,70	0,38
2009	0,38	0,42	0,32	-0,38	-0,16	-0,52	-0,11	0,11	0,95	0,49	0,71	0,84
2010	0,89	0,82	0,85	1,30	1,18	1,32	1,22	0,76	0,22	0,23	-0,46	-0,33
2011	-0,31	-0,03	0,35	0,11	0,13	0,36	0,68	1,08	0,68	0,77	0,80	0,57
2012	0,46	0,18	-0,07	-0,17	-0,43	-0,50	-0,83	-1,51	-1,19	-1,05	-1,18	-0,94
2013	-1,00	-0,79	-0,68	-0,53	-0,37	-0,48	-0,81	0,01	0,11	-0,06	0,09	-0,16
2014	0,02	-0,04	0,13	0,26	0,57	0,93	0,96	0,44	0,61	0,57	0,65	0,92
2015	1,19	1,18	0,82	0,85	0,72	0,50	0,94	0,77	0,64	0,81	0,93	1,18
2016	0,89	1,17	1,57	1,63	1,43	1,13	0,86	1,12	0,84	1,04	0,77	0,34
2017	0,37	0,26	0,25	0,53	1,17	1,56	1,18	1,12	1,14	0,94	1,14	0,98
2018	0,96	0,79	0,75	0,25	-0,44	-0,43	-0,21	-0,35	0,18	0,26	0,31	0,39
2019	0,26	0,59	0,55	0,63	0,96	0,61	0,61	0,47	-0,09	-0,07	-0,31	-0,49

LEGENDA		
2,00		Chuva extrema
1,99	1,50	Chuva severa
1,49	1,00	Chuva moderada
0,99	0,50	Chuva fraca
0,49	-0,49	Normal
-0,50	-0,99	Seca fraca
-1,00	-1,49	Seca moderada
-1,50	-1,99	Seca severa
-2,00		Seca extrema
-99		Erro
ANO		Predomina El-Niño
ANO		Predomina Nutro
ANO		Predomina La-Niña

Fonte: o Autor (2020)

Tabela 25 - SPI-24 Passo Fundo

SPI 24												
Ano/Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1961	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1962	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-0,32
1963	-0,14	-0,45	-0,53	-0,73	-0,74	-0,91	-1,03	-0,86	-1,09	-0,99	-0,72	-0,55
1964	-0,60	-0,45	-0,54	-0,33	-0,57	-0,50	-0,57	-0,37	-0,26	-0,22	-0,13	-0,05
1965	-0,33	-0,26	-0,46	-0,31	-0,36	-0,34	-0,27	-0,01	0,09	-0,11	-0,41	-0,33
1966	-0,12	-0,12	0,02	-0,31	-0,35	-0,01	0,14	0,20	0,29	0,52	0,42	0,65
1967	0,68	0,71	0,80	0,68	0,74	0,77	0,96	0,67	0,59	0,49	0,57	0,32
1968	0,22	0,04	-0,03	0,14	0,17	-0,04	-0,22	-0,67	-0,74	-0,98	-0,90	-1,20
1969	-1,08	-1,02	-1,10	-1,01	-0,93	-0,76	-1,09	-1,42	-1,57	-1,64	-1,60	-1,58
1970	-1,73	-1,77	-1,66	-1,82	-1,52	-1,21	-1,04	-0,92	-1,08	-1,13	-1,25	-0,70
1971	-0,81	-0,61	-0,59	-0,46	-0,50	-0,30	-0,18	0,17	0,01	-0,03	-0,19	-0,12
1972	0,00	0,39	0,34	0,54	0,41	0,73	0,71	1,14	1,38	1,38	1,71	1,34
1973	1,45	1,24	1,28	1,22	1,36	1,35	1,44	1,34	1,45	1,53	1,53	1,61
1974	1,66	1,53	1,62	1,48	1,38	0,97	0,76	0,29	-0,08	-0,17	-0,45	-0,34
1975	-0,45	-0,34	-0,24	-0,20	-0,40	-0,43	-0,69	-0,73	-0,67	-0,71	-0,64	-0,67
1976	-0,75	-0,92	-1,06	-1,04	-0,80	-0,85	-0,76	-0,78	-0,60	-0,44	-0,31	-0,28
1977	-0,16	-0,12	-0,17	-0,22	-0,29	-0,22	0,06	0,03	-0,12	-0,19	-0,11	-0,19
1978	-0,29	-0,42	-0,29	-0,32	-0,50	-0,44	-0,32	-0,42	-0,43	-0,49	-0,59	-0,77
1979	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1980	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1981	-99	-99	-99	-99	-99	-2,37	-2,31	-2,39	-2,44	-2,63	-2,54	-2,55
1982	-2,73	-2,92	-3,15	-3,13	-3,39	-3,07	-2,70	-2,79	-2,88	-2,72	-2,51	-2,56
1983	-2,54	-2,36	-2,19	-1,99	-1,50	-1,39	-0,66	-0,52	-0,29	-0,15	-0,24	-0,32
1984	-0,07	-0,08	-0,07	0,11	0,61	0,69	0,72	0,90	1,02	0,92	0,84	0,90
1985	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1986	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1987	-99	-99	-99	-0,67	-0,48	-0,35	0,08	-0,08	-0,14	0,08	0,19	0,29
1988	0,20	0,05	-0,16	-0,30	-0,54	-0,26	-0,44	-0,72	-0,59	-0,79	-1,26	-1,13
1989	-1,03	-1,07	-0,93	-1,28	-1,79	-1,89	-2,65	-2,81	-2,68	-2,86	-2,96	-2,97
1990	-2,56	-2,15	-1,92	-1,71	-1,38	-1,39	-1,31	-1,35	-1,14	-0,79	-0,59	-0,54
1991	-0,71	-0,85	-1,02	-0,92	-0,87	-0,65	-0,50	-99	-99	-99	-99	-99
1992	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1993	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	0,78	0,86	0,81	1,07	1,08
1994	0,91	1,15	0,99	1,13	0,79	0,93	0,91	0,74	0,69	0,90	0,72	0,88
1995	0,93	0,86	0,69	0,71	0,48	0,56	0,32	0,38	0,37	0,42	0,14	-0,19
1996	0,25	-0,04	0,01	-0,16	-0,29	-0,34	-0,54	-0,29	-0,35	-0,60	-0,65	-0,83
1997	-1,09	-1,04	-1,14	-1,13	-0,98	-1,02	-1,05	-0,77	-0,72	-0,17	0,21	0,52
1998	0,33	0,66	0,86	1,26	1,44	1,36	1,42	1,45	1,52	1,44	1,40	1,42
1999	1,38	1,39	1,46	1,65	1,66	1,63	1,67	1,34	1,30	0,79	0,48	0,35
2000	0,21	-0,17	-0,12	-0,54	-0,76	-0,49	-0,57	-0,84	-0,87	-0,52	-0,37	-0,31
2001	-0,05	-0,09	-0,08	0,05	0,05	0,19	0,30	0,29	0,22	0,28	0,23	0,27
2002	0,19	0,15	0,29	0,40	0,50	0,54	0,52	0,67	0,77	0,79	0,85	1,10
2003	0,93	1,19	1,29	1,12	1,12	1,11	0,86	0,87	0,80	0,79	0,91	1,25
2004	1,24	1,33	0,90	0,94	1,06	0,95	0,84	0,56	0,52	0,25	0,13	-0,26
2005	-0,38	-0,79	-0,88	-0,56	-0,21	0,02	-0,01	0,08	0,21	0,41	0,37	-0,07
2006	-0,03	-0,05	0,16	0,05	-0,25	-0,15	-0,07	0,02	-0,16	-0,32	-0,03	0,03
2007	0,26	0,41	0,58	0,55	0,52	0,23	0,58	0,54	0,69	0,54	0,60	0,81
2008	0,73	0,80	0,77	1,14	1,24	1,33	1,18	1,20	1,14	1,45	1,37	1,34
2009	1,12	1,18	1,04	0,70	0,54	0,57	0,40	0,58	0,87	0,64	0,86	0,77
2010	0,83	0,78	0,70	0,61	0,65	0,54	0,70	0,51	0,70	0,39	0,14	0,33
2011	0,40	0,50	0,72	0,90	0,83	1,06	1,19	1,15	0,52	0,58	0,20	0,14
2012	0,10	0,07	0,14	-0,09	-0,26	-0,14	-0,12	-0,18	-0,32	-0,16	-0,21	-0,23
2013	-0,31	-0,40	-0,50	-0,51	-0,60	-0,71	-1,16	-1,00	-0,74	-0,76	-0,72	-0,76
2014	-0,63	-0,55	-0,37	-0,22	0,09	0,28	0,11	0,23	0,40	0,27	0,43	0,49
2015	0,81	0,74	0,57	0,68	0,80	0,88	1,19	0,73	0,74	0,82	0,97	1,36
2016	1,35	1,49	1,48	1,58	1,38	1,02	1,12	1,17	0,89	1,13	1,05	0,99
2017	0,82	0,91	1,15	1,38	1,66	1,71	1,28	1,40	1,22	1,22	1,19	0,85
2018	0,86	0,66	0,60	0,46	0,48	0,77	0,61	0,49	0,81	0,72	0,90	0,88
2019	0,79	0,86	0,78	0,52	0,33	0,08	0,20	0,02	-0,02	0,05	-0,04	-0,09

Fonte: o Autor (2020)

LEGENDA		
2,00		Chuva extrema
1,99	1,50	Chuva severa
1,49	1,00	Chuva moderada
0,99	0,50	Chuva fraca
0,49	-0,49	Normal
-0,50	-0,99	Seca fraca
-1,00	-1,49	Seca moderada
-1,50	-1,99	Seca severa
-2,00		Seca extrema
-99		Erro
ANO		Predomina El-Niño
ANO		Predomina Nutro
ANO		Predomina La-Niña

5.2.4 Relação entre as três cidades

A Tabela 26 mostra as características (início, fim, duração e SPI médio) do período seco mais intenso, em relação ao SPI médio nos três municípios em estudo para as escalas temporais de 3, 6, 12 e 24 meses utilizando o SPI. Nos três municípios foram observados eventos de estiagem de intensidade extrema para o SPI-3, porém, a principal similaridade foi observada com o SPI-12, em que Bento Gonçalves, Caxias do Sul e Passo Fundo registraram seu pior período seco durante os anos de 1978/1980 e 1983. Este período chama atenção por não apresentar o evento *La-Niña*, conforme Figuras 16 e 17, que explicaria uma eventual estiagem na região, logo, esta discrepância entre os valores de SPI e os eventos ENOS revela que não é possível considerar as ocorrências dos fenômenos no Pacífico como determinantes para definir um período como chuvoso ou seco. Esta mesma constatação foi apresentada por Júlio (2015), que mostrou que os totais pluviométricos entre 1982 e 2012 nem sempre estão relacionadas ao fenômeno ENOS.

Tabela 26 - Início, fim, duração e SPI médio para valores negativos (estiagem) de SPI em Bento Gonçalves, Caxias do Sul e Passo Fundo

Localidade	Escala de Tempo	Inicial	Final	Duração (meses)	SPI médio
Bento Gonçalves	SPI-3	jan/82	dez/82	12	-2,09
	SPI-6	jun/80	fev/83	33	-2,11
	SPI-12	mar/78	mai/83	63	-1,88
	SPI-24	dez/78	dez/83	61	-2,05
Caxias do Sul	SPI-3	jan/91	jun/91	6	-2,13
	SPI-6	jun/81	nov/82	18	-2,4
	SPI-12	abr/78	mar/83	60	-2,01
	SPI-24	fev/78	jul/83	66	-2,16
Passo Fundo	SPI-3	jan/88	mai/88	5	-2,17
	SPI-6	jan/88	jan/90	25	-1,64
	SPI-12	jun/80	mar/83	34	-1,9
	SPI-24	jun/81	ago/83	27	-2,4

Fonte: o Autor (2020)

A Tabela 27 exibe as características dos períodos úmidos com SPI médio mais intenso em Bento Gonçalves, Caxias do Sul e Passo Fundo. Foi possível notar que Bento Gonçalves e Caxias do Sul registraram o mesmo período chuvoso para o SPI-6 entre os anos de 2009 e 2010 que, conforme Figuras 16 e 17 foram anos em que a

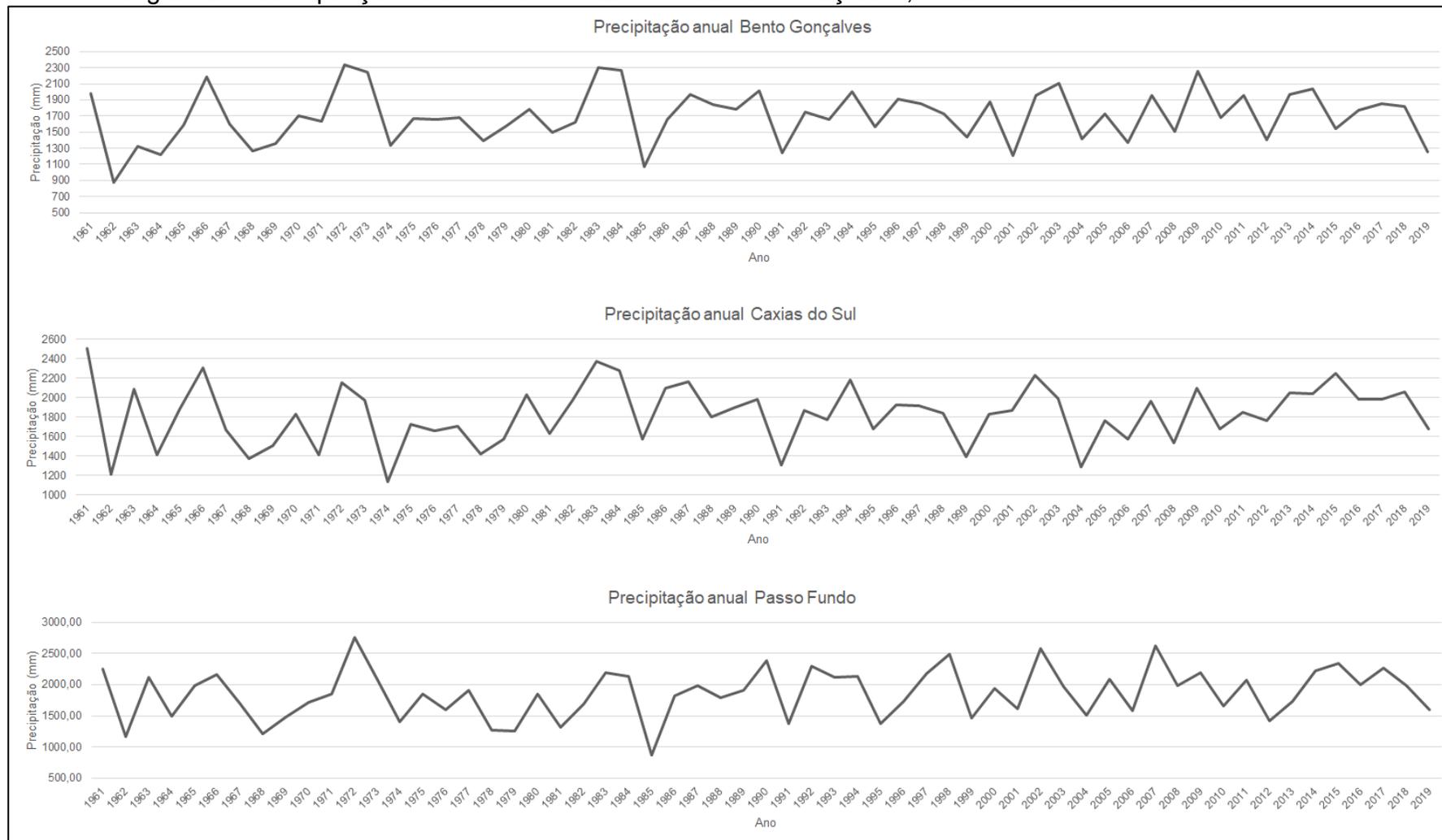
temperatura da superfície do oceano Pacífico estava acima da média. Já para Passo Fundo chama a atenção que todos eventos mais intensos de SPI médio, para todas escalas de tempo foram registrados durante o intenso *El-Niño* de 1997-1998. Kane (1999), mostra que o *El-Niño* ocorrido entre 1997-1998 foi o mais forte já registrado, superando o evento de 1982-1983 que havia sido o mais forte até aquele momento.

Tabela 27 - Início, fim, duração e SPI médio para valores negativos (chuvas intensas) de SPI em Bento Gonçalves, Caxias do Sul e Passo Fundo

Localidade	Escala de Tempo	Inicial	Final	Duração (meses)	SPI médio
Bento Gonçalves	SPI-3	set/09	mar/10	7	1,85
	SPI-6	set/09	jun/10	10	1,66
	SPI-12	ago/72	jan/74	18	1,5
	SPI-24	ago/72	ago/74	25	1,24
Caxias do Sul	SPI-3	set/63	dez/63	4	1,65
	SPI-6	set/09	jun/10	10	1,33
	SPI-12	jun/83	mai/85	24	1,35
	SPI-24	fev/84	jan/86	24	1,3
Passo Fundo	SPI-3	out/97	jun/98	9	2,11
	SPI-6	out/97	set/98	12	2,13
	SPI-12	nov/97	fev/99	16	1,78
	SPI-24	fev/98	out/99	21	1,35

Fonte: o Autor (2020)

Figura 20 - Precipitação anual de 1961 a 2019 em Bento Gonçalves, Caxias do Sul e Passo Fundo



Fonte: o Autor (2020).

5.3 ANÁLISE RÍTMICA

Neste item será apresentada uma análise rítmica do evento extremo do dia 07 de julho de 2020 no município de Bento Gonçalves em que foram registrados 92,4 mm de precipitação naquele dia.

Na Figura 21 é possível ver como os elementos climáticos se comportaram durante o período entre 03/07/2020 e 10/07/2020. Através da análise sinótica disponibilizada pelo INPE para 03/07/2020 que afirma que o Rio Grande do Sul estava sob influência de um centro de alta pressão, portanto, tempo seco com amplitude térmica que em Bento Gonçalves variou de -0,1 °C pela manhã até 10,1 °C a tarde.

No dia 04/07/2020, foi possível observar uma temperatura mínima mais alta (4,3 °C) e uma temperatura máxima mais elevada (17,8 °C) que o dia anterior. Além disso, a pressão atmosférica passa a diminuir durante todo período do dia. Na Figura 22, que traz uma série de imagens do satélite meteorológico geoestacionário GOES 16 – Canal13 é notável a aproximação de uma frente fria no Rio Grande do Sul.

Durante o dia 05/07/2020 verificou-se, através da Figura 21, que a temperatura não baixou durante a madrugada e que os ventos aumentaram consideravelmente em relação ao dia anterior. Isto pode ser um indicativo da atuação de jatos de baixos níveis (JBN) trazendo calor da região mais tropical do Brasil antes da chegada do sistema frontal e, conforme descrito por Beal *et. al* (2019), os JBN tornam o ambiente suscetível a formação de nuvens de convecção intensas. Ainda, a radiação solar apresentou uma clara diminuição e a umidade aumentou durante o dia. Todos estes fatores indicam a chegada de uma frente fria, em que é possível visualiza-la na Figura 23, que mostra as cartas sinóticas da América do Sul para o período entre 05 e 08/07/2020. No dia 05/07/2020 Bento Gonçalves acumulou 52,2 mm de chuva.

A umidade se manteve em 100% durante o dia 06/07/2020, conforme Figura 21. A precipitação neste dia no município foi baixa, com apenas 1 mm, porém a baixa radiação solar detectada indicava a presença de nuvens. A análise sinótica disponibilizada pelo INPE para este dia indicava a presença da frente estacionária entre o norte do Rio grande do Sul e o sul do Paraná, conforme Figura 23. Neste dia também foi observado que a temperatura cai aproximadamente 5 °C e a pressão aumenta conforme a frente fria avança para norte.

No dia 07/07/2020, a Figura 22 indica a presença de nuvens às 06:00 sobre o Rio Grande do Sul, a umidade se mantém em 100% durante todo dia e a temperatura

apresenta leve elevação, novamente a presença dos JBN explicam este aquecimento em que é possível notar o aumento da velocidade do vento junto a este aquecimento. No decorrer do dia a pressão atmosférica cai consideravelmente e a precipitação, causada pela frente estacionária ocorre de forma constante e intensa invadindo o dia 08/07/2020. O total acumulado neste evento de precipitação intensa entre os dias 07 e 08 foi de 128,8 mm. Neste dia, a análise sinótica do INPE mostrava a presença de um sistema de baixa pressão sobre o Rio Grande do Sul e associado a este sistema está a frente estacionária entre o norte do estado e o Paraguai. A Figura 23 mostra este centro de baixa pressão representado pela letra B.

No início do dia 08/07/2020 a precipitação ainda ocorre e a pressão ainda está a níveis baixos. Neste dia ocorre a formação de um ciclone extratropical sobre o Rio Grande do Sul e o Uruguai, a sua trajetória mostra que durante o dia este sistema tende a se afastar para o Oceano Atlântico, conforme indica as Figura 22 e 24. No decorrer do dia a temperatura entrou em declínio e a pressão aumenta com a chega de uma massa de ar polar atlântica.

Durante os dias 09 e 10 de julho, a radiação solar voltou a apresentar valores que indicam céu aberto e a temperatura apresenta amplitude que corrobora com esta afirmação. A umidade diminui e varia entre 100% durante a noite e menos de 40% durante o dia.

Este evento extremo em Bento Gonçalves está em consonância com o observado por Sanches *et al.* (2014), em que a análise de dois eventos de precipitação intensa no Rio Grande do Sul, mostrou que estes eventos foram consequência de sistemas frontais estacionários acoplado um ramo frontal quente a um ramo frontal frio. Além disso, Prieto e Teixeira (2016) observaram que um processo de ciclogênese, associado a uma frente semiestacionária foram responsáveis por um evento de precipitação com acumulado superior a 200 mm no Rio Grande do Sul com 6 dias de duração em 2004. No evento de 2020 foi observado a provável influência dos JBN trazendo umidade e aquecimento das regiões tropicais do país que intensificaram a frente fria estacionária na região e também, foi observado a formação de um ciclone na região durante este evento que resultou em precipitação de 182 mm entre os dias 05 e 08/07/2020.

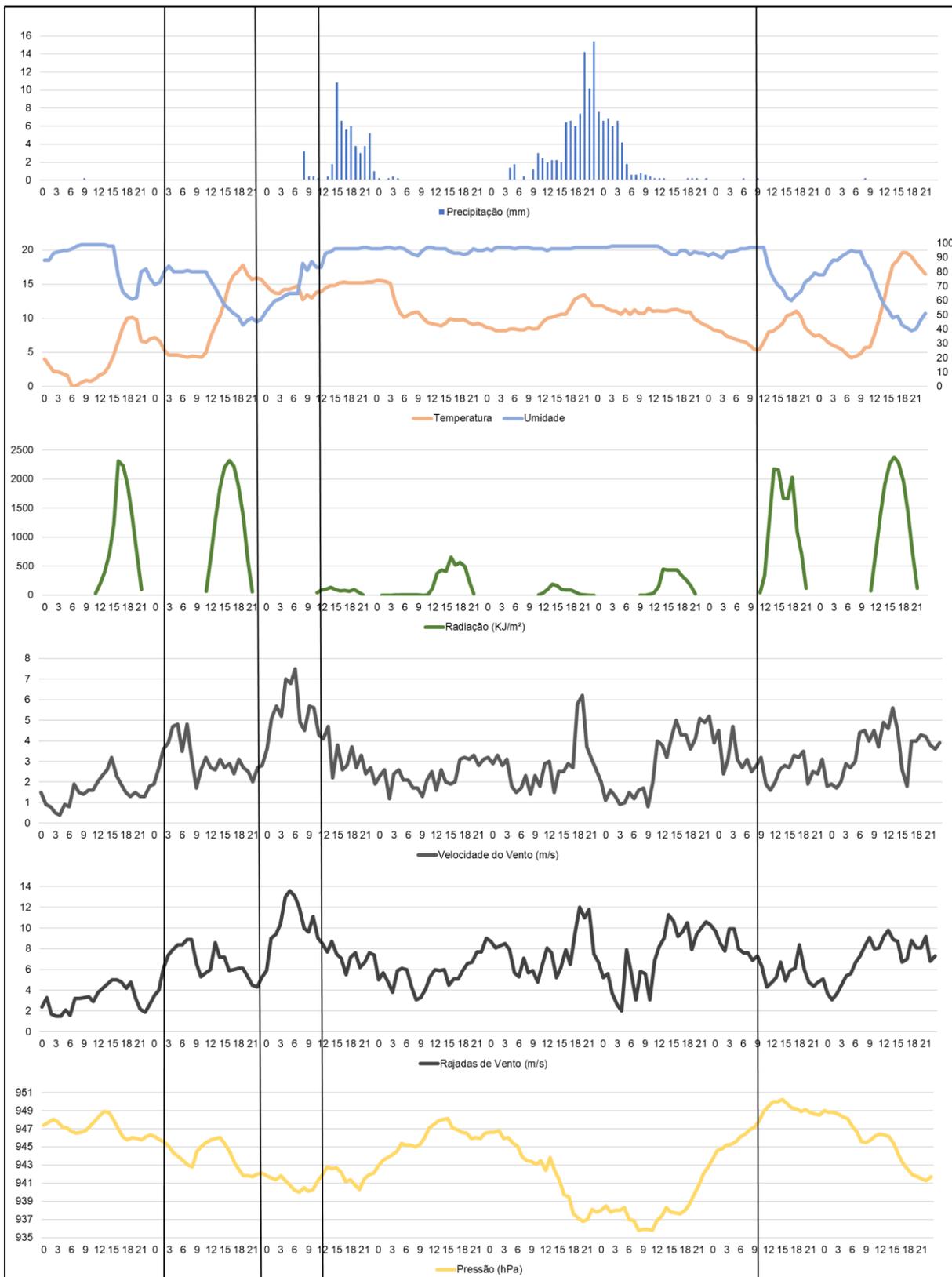
Em relação ao evento diário de maior acumulado de precipitação ocorrido no dia 07/07/2020 (92,4 mm) e de acordo com os resultados discutidos no item 5.5.1 deste trabalho, o tempo de retorno para um evento similar a este ($75\text{mm} \geq P > 100\text{mm}$)

é de aproximadamente 1 ano em Bento Gonçalves. Porém, se considerado o total acumulado entre os dias 07 e 08/07/2020 (128,8mm) este tempo de retorno foi estimado em 9 anos para $P \geq 125\text{mm}$, de acordo com o exposto no item 5.5.1 deste trabalho.

Quando analisada a possível influência de um episódio de *El-Niño* ou *La-Niña* durante o período deste evento extremos de precipitação, é possível notar, através do Apêndice 1, que o índice MEI.v2 indica um período de neutralidade para 2020, com um evento de *La-Niña* confirmado por NOAA (2020b) a partir de Setembro de 2020. Portanto, não é possível afirmar que existe a influência do fenômeno ENOS neste evento de precipitação intensa.

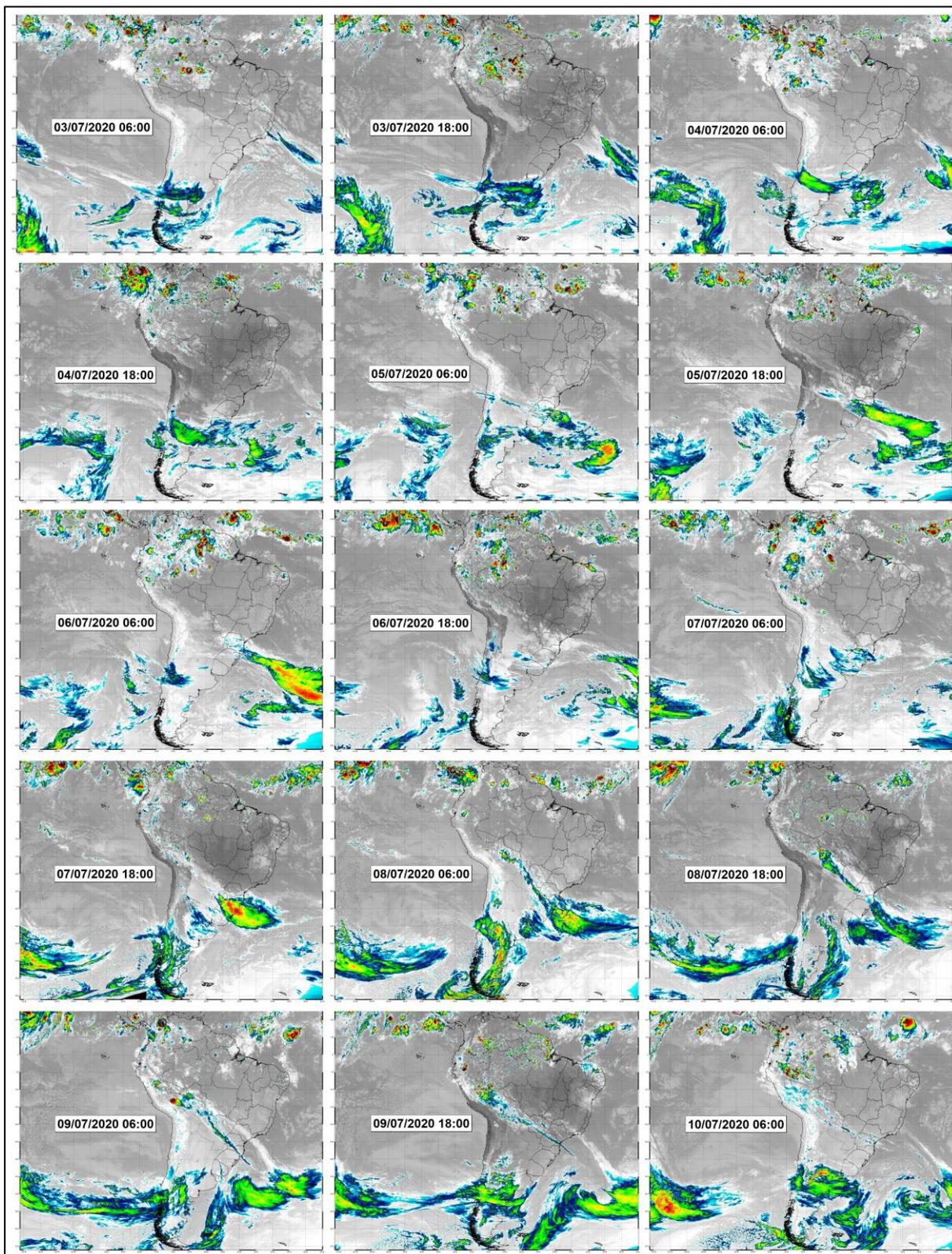
Esta análise rítmica é apenas um, de diversos exemplos que poderiam ter sido expostos para comprovar que a ocorrência de eventos extremos não está necessariamente ligada a presença de *El-Niño* ou *La-Niña*. E que outros fatores mais pontuais, como uma frente estacionária ou a ciclogênese podem ser causadores de eventos extremos.

Figura 21 - Análise rítmica para evento extremo do dia 07/07/2020



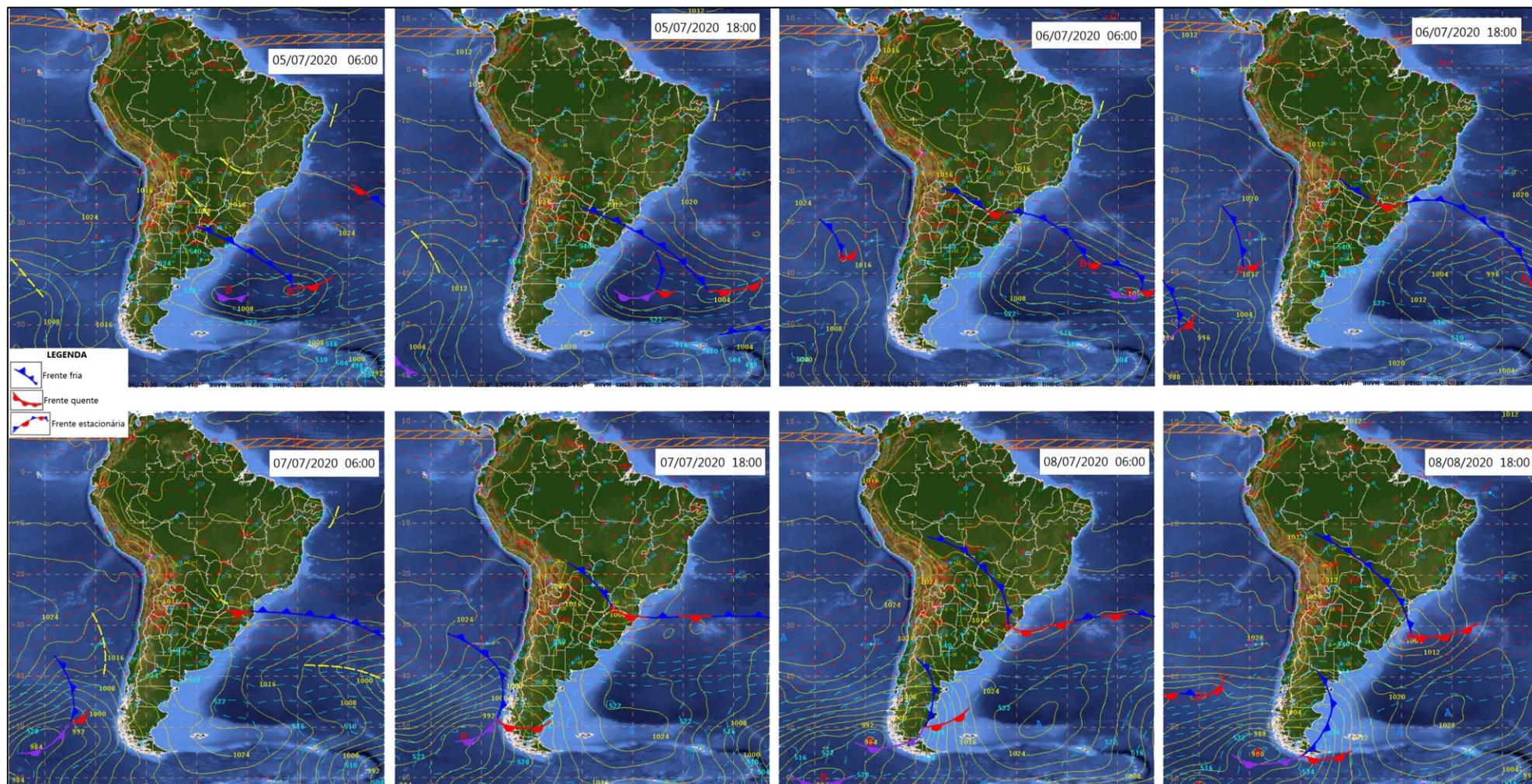
Fonte: o Autor (2020)

Figura 22 - Imagens do satélite GOES 16 canal 13 entre os dias 03 e 10/07/2020



Fonte: o Autor, adaptado de CPTEC-INPE (2020d)

Figura 23 – Cartas sinóticas entre os dias 05 e 08/07/2020



Fonte: o Autor, adaptado de CPTEC-INPE (2020f)

6 CONCLUSÕES

Este trabalho analisou os dados de precipitação de três municípios do Rio Grande do Sul: Bento Gonçalves, Caxias do Sul e Passo Fundo no período entre 1961 e 2020. Com estes dados foi possível identificar, através do histórico diário, os dias em que ocorreram precipitação intensa para volumes maiores que 50 mm e a frequência destes eventos extremos de precipitação. Além disso foi feita a aplicação do índice padronizado de precipitação (SPI) que, através do histórico mensal, indicou os períodos úmidos e secos relevantes para os três municípios e, como isso, foi feita uma relação destes períodos de eventos extremos com a atuação do fenômeno ENOS. E, por fim, foi realizado um estudo de caso de um evento extremo de precipitação, em que uma análise rítmica mostrou o comportamento dos fenômenos atmosféricos antes, durante e após este evento.

Através dos resultados obtidos utilizando o SPI e relacionando-os com a incidência do fenômenos ENOS é possível concluir que apesar de influenciar alguns eventos, a ocorrência dos fenômenos no Pacífico não é determinante para definir um período como seco ou chuvoso na região em estudo.

Por fim, o estudo de caso de Bento Gonçalves referente ao evento de precipitação intensa mostrou que os jatos de baixos níveis atuantes na região associados a uma frente estacionária foram os sistemas meteorológicos que causaram o acumulado de 92,4 mm no dia 07 de julho de 2020. Além disso, foi observado um processo de ciclogênese entre os dias 07 e 08, em que o acumulado de ambos os dias chegou a 128,8 mm. Em termos de frequência relativa, casos similares ($75 \text{ mm} \geq P > 100 \text{ mm}$) ocorrer cerca de 1 vez ao ano em Bento Gonçalves. Ademais, a análise rítmica mostrou que a ocorrência de eventos extremos não está obrigatoriamente ligada a presença de *El-Niño* ou *La-Niña*.

Finalmente, algumas sugestões para trabalhos futuros são: a análise de outros fatores climáticos de longo prazo que podem ter influência nos resultados obtidos utilizando o SPI, como a Oscilação Decadal do Pacífico; a realização de estudos sinóticos dos diversos eventos extremos identificados neste estudo; a identificação das massas de ar atuantes na região durante os eventos extremos; e a identificação de tendências relevantes da ocorrência de eventos extremos e sua relação com as mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

AMBRIZZI, Tércio et al. **An objective criterion for determining the South Atlantic Convergence Zone.** 2015. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2015.00023/full>. Acesso em: 28 maio 2020.

ARAÚJO, Argemiro L. et al. **Análise de eventos extremos diários de precipitação pluvial na localidade de João Pessoa – PB.** 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/312027297_ANALISE_DE_EVENTOS_EX_TREMOS_DIARIOS_DE_PRECIPITACAO_PLUVIAL_NA_LOCALIDADE_DE_JOAO_PESSOA_-_PB. Acesso em: 16 jun. 2020.

ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL. **Meio Ambiente.** 2019. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/inicial>. Acesso em: 22 jun. 2020.

BARRY, Roger G.; CHORLEY, Richard J.. **Atmosfera, Tempo e Clima.** 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BEAL, Alexandra et al. **Climatology of hail in the triple border Paran a, Santa Catarina (Brazil) and Argentina.** 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809519308932>. Acesso em: 27 maio 2020.

BERCHIN, Issa Ibrahim et. al. **Climate change and forced migrations: An effort towards recognizing climate refugees.** 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016718517301732>. Acesso em: 18 maio 2020.

BERLATO, Moacir A.; FONTANA, Denise Cybis. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do rio grande do sul.** Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003.

BLAIN, Gabriel C. *et al.* **Índice padronizado de precipitação aplicado às condições de seca no Estado do Espírito Santo.** 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n10/v14n10a07.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2020.

BLAIN, Gabriel C. BRUNINI, Orivaldo. **Comparing the standardized precipitation index, the palmer drought severity index and the palmer adapted index on the**

state of São Paulo-Brazil. 2007. Disponível em:

[https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-77862007000100011&script=sci_abstract)

[77862007000100011&script=sci_abstract](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-77862007000100011&script=sci_abstract). Acesso em: 27 nov. 2020.

BOM, Bureau Of Meteorology. **Southern Oscillation Index.** Disponível em:

<http://www.bom.gov.au/climate/glossary/soi.shtml>. Acesso em: 29 maio 2020.

BORSATO, Victor da A.; SOUZA, Edvard E. de. **O Ritmo Climático e Episódios Pluviométricos no Ano de 1980 na Vertente Ocidental da Bacia do Alto Rio Paraná Brasil.** 2008. Disponível em:

<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/5459>. Acesso em: 13 nov. 2020.

BOTTINO, Marcus Jorge. NETO, Sylvio Villas Boas. **Estimativa de Radiação Solar por Satélite: Processamento da Série Temporal de Janeiro de 1996 a Setembro de 2002 e Abril e Maio de 2003.** Disponível em:

http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/Artigo_Estimativa_1206.pdf.

Acesso em: 24 nov. 2020.

BRITTO, Fabiane Pereira et al. **Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no rio grande do sul: influência do fenômeno el niño oscilação sul.** 2008.

Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25408>. Acesso em: 12 jun. 2020.

BUETI, Cristina. **Urban drought challenge to 2030 sustainable development goals.** 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719334552#f0015>.

Acesso em: 21 abr. 2020.

CAVALCANTI, Iracema Fonseca Albuquerque. **Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21st century.** 2012. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809512001871>. Acesso em: 27 maio 2020.

COMDEMA CRUZEIRO. **Tipos de Chuva: orografias, convectivas e frontais.** 2019.

Disponível em: <http://comdemacruzairo.blogspot.com/2019/01/tipos-de-chuvasorograficasconvectivas-e.html>. Acesso em: 15 maio 2020

CPTEC/INPE, Centro de Previsão de tempo e Estudos Climáticos. LÍVIA TEIXEIRA. (org.). **Desenvolvimento de material de estudo dos princípios de meteorologia e meio ambiente para estudantes, professores e meios de comunicações**. 2020a. Disponível em: <https://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml#12>. Acesso em: 20 abr. 2020.

CPTEC/INPE, Centro de Previsão de tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Monitoramento do El Niño Durante NDJ-2019/2020**. 2020b. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 12 maio 2020.

CPTEC/INPE, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Índice de Precipitação Padronizado (SPI)**. 2020c. Disponível em: <http://clima1.cptec.inpe.br/spi/pt>. Acesso em: 18 jun. 2020.

CPTEC/INPE, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Satélite**. 2020d. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/home/index.jsp>. Acesso em: 09 nov. 2020.

CPTEC/INPE, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Boletim técnico**. 2020e. Disponível em: <http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico/pt>. Acesso em: 09 nov. 2020.

CPTEC/INPE, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Cartas sinóticas**. 2020f. Disponível em: <http://tempo.cptec.inpe.br/cartas.php?data=20200708&hora=18&tipo=Superficie>. Acesso em: 28 nov. 2020.

DRUMOND, Anita Rodrigues de Moraes et al. **The role of SST on the South American atmospheric circulation during January, February and March 2001**. 2005. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2005CIDy...24..781D/abstract>. Acesso em: 28 maio 2020.

ECKHARDT, Rafael Rodrigo *et al.* **Impactos econômicos das inundações no vale do taquari**. 2013. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/fc1fd7ecf4ba09f8e9b7c49997c609db_cb2bb4588ebc51708b404bb1c7666033.pdf. Acesso em: 23 jun. 2020.

EICHHOLZ, Cristiano Wickboldt. **Evento Extremo de Precipitação Observado no Norte do Rio Grande do Sul.** 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Cristiano_Eichholz/publication/281615827_Extreme_Rainfall_Event_Observed_in_Northern_of_Rio_Grande_do_Sul/links/597c9f7ca6fdcc1a9ab0b639/Extreme-Rainfall-Event-Observed-in-Northern-of-Rio-Grande-do-Sul.pdf. Acesso em: 27 maio 2020.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Atlas Climático da Região Sul do Brasil.** 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-convivencia-com-a-seca/perguntas-e-respostas>. Acesso em: 31 out. 2020.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Convivência com a Seca.** 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-convivencia-com-a-seca/perguntas-e-respostas>. Acesso em: 21 abr. 2020.

GAO, Xichao et al. **Temperature Dependence of Extreme Precipitation over Mainland China.** 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002216942030055X>. Acesso em: 20 maio 2020.

GRIGOLETTO, Jamyle Calencio *et al.* **Gestão das ações do setor saúde em situações de seca e estiagem.** 2016. Disponível em: <https://www.scielo.org/article/csc/2016.v21n3/709-718/>. Acesso em: 25 maio 2020.

GRIMM, A. M.; SAMPAIO, G.. **Base científica das mudanças climáticas: volume 1 - primeiro relatório de avaliação nacional.** 2012. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Disponível em: http://www.incline.iag.usp.br/data/arquivos_download/1436903443.pdf. Acesso em: 27 maio 2020.

GRIMM, A. M. et al. **Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events.** 2000. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/jcli/article/13/1/35/29189/Climate-Variability-in-Southern-South-America>. Acesso em: 27 nov. 2020.

GROSS, Joceli Augusto. **Índice de anomalia de chuva (IAC) dos municípios do rio grande do sul afetados pelas estiagens no período de 1991 a 2012.** 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/9434>. Acesso em: 11 jun. 2020.

GOULART, Adriano Ávila; FOGAÇA, Thiago Kich. **Introdução à Climatologia: conceitos, pesquisas e ensino**. Curitiba: Intersaberes, 2018.

HAYES, Michael J. et al. **Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index**. 1999. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/bams/article/80/3/429/56584/Monitoring-the-1996-Drought-Using-the-Standardized>. Acesso em: 27 nov. 2020.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Glossário**. 2020a. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=glossario#F>. Acesso em: 22 abr. 2020.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Tempo e Clima**. 2020b. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=tempo_clima. Acesso em: 18 maio 2020.

IBGE, Instituto Nacional de Geografia e Estatísticas. **Cidades@**. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 22 jun. 2020.

JAMES, I. N.; ANDERSON, D. L. T.. **The seasonal mean flow and distribution of large-scale weather systems in the southern hemisphere: The effects of moisture transports**. 1984. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/qj.49711046609>. Acesso em: 28 maio 2020.

JÚLIO, Wesley S. **Identificação de Períodos Secos e Chuvosos e a Influência na Produção de Café de Montanha nas Matas de Minas**. 2015. Disponível em: <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/climatologia/article/view/9403>. Acesso em: 30 out. 2020.

JUSTO, Leonardo Abreu Jorge; FRANÇA, José Ricardo de Almeida. **Estudos dos Processos Sinóticos e Microfísicos Associados a um Sistema Frontal que Atingiu o Extremo Sul do Brasil (Rio Grande do Sul) e Uruguai**. 2011. Disponível em: <https://doaj.org/article/3accce22342e437c93e82a9850c91460>. Acesso em: 27 maio 2020.

KANE, R. P. **Some characteristics and precipitation effects of the El-Niño of 1997-1998**. 1999. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364682699000875>. Acesso em: 28 nov. 2020

KONRAD, Charles E. **Synoptic-Scale Features Associated with Warm Season Heavy Rainfall over the Interior Southeastern United States**. 1997. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/waf/article/12/3/557/38080/Synoptic-Scale-Features-Associated-with-Warm>. Acesso em 24 nov. 2020.

KRON, W. et al. **How to deal properly with a natural catastrophe database – analysis of flood losses**, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2012 Disponível em: <<https://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/12/535/2012/>>. Acesso em 15 abr. 2020.

KULMAN, Denilson et al. **Ocorrência de Estiagem no Rio Grande do Sul no Período de 1981 à 2011**. 2014. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4675/467546174020.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2020.

MADDOX, Robert A.. **Mesoscale Convective Complexes**. 1980. Disponível em: http://twister.ou.edu/MM2005/Maddox_1980.pdf. Acesso em: 27 maio 2020.

MATA-LIMA, Herlander *et al.* **Impactos dos desastres naturais nos sistemas ambiental e socioeconômico: o que faz a diferença?** 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1414-753X2013000300004&script=sci_arttext. Acesso em: 25 maio 2020.

MARENGO, Jose A. et al. **Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from the NCEP–NCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability**. 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/37679598_Climatology_of_the_Low-Level_Jet_East_of_the_Andes_as_Derived_from_the_NCEP-NCAR_Reanalyses_Characteristics_and_Temporal_Variability. Acesso em: 27 maio 2020.

MARENGO, Jose A. et al. **Boletim do Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas -GPMC**. 2009. Disponível em: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/newsletters/Boletim_No8_Port.pdf. Acesso em: 8 abr. 2020.

MARENGO, Jose A. et al. **The South American low-level jet east of the Andes during the 1999 LBA-TRMM and LBA-WET AMC campaign**. 2002. Disponível em:

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2001JD001188>. Acesso em: 28 maio 2020.

MCKEE, Thomas B. et al. **The Relationship Of Drought Frequency And Duration To Time Scales**. 1993. Disponível em: https://www.droughtmanagement.info/literature/AMS_Relationship_Drought_Frequency_Duration_Time_Scales_1993.pdf. Acesso em: 28 maio 2020.

MELLO, Yara Rúbia de. *et al.* **Características climáticas e análise rítmica aplicada a episódios extremos de precipitação e temperatura no município de Paranaguá, PR**. 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/48594>. Acesso em: 24 nov. 2020

MENDES, David et al. **On precursors of South American cyclogenesis**. 2007. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1600-0870.2006.00215.x>. Acesso em: 29 maio 2020.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia Noções Básicas e Climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

METSUL. Meteorologia. **Chuva do Ciclone foi histórica e teve Recordes para Julho**. 2020. Disponível em: <https://metsul.com/chuva-do-ciclone-foi-historica-e-teve-recordes-para-julho/>. Acesso em: 22 nov. 2020.

MINUZZI, Rosandro B.; LOPEZ, Fábio Z. **Variabilidade de índices de chuva nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. 2014. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/18061/13929>. Acesso em: 08 nov. 2020.

MONTEIRO, C. A. F. **Clima e Excepcionalismo (Conjecturas sobre o Desempenho da Atmosfera como Fenômeno Geográfico)**. Florianópolis: UFSC, 1991.

MUELLER, Valerie et. al. **Temporary migration and climate variation in eastern Africa**. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305750X19303523>. Acesso em: 18 maio 2020.

NDMC, National Drought Mitigation Center. **SPI Program**. 2018. Disponível em: <https://drought.unl.edu/droughtmonitoring/SPI/SPIProgram.aspx>. Acesso em: 30 set. 2020.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **Multivariate ENSO Index Version 2 (MEI.v2)**. 2020a. Disponível em: <https://www.psl.noaa.gov/enso/mei/index.html>. Acesso em: 29 maio 2020.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion**. 2020b. Disponível em: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/ensodisc.shtml. Acesso em: 29 nov. 2020.

NOBRE, C. A. *et al.* **Vulnerabilidades das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo**. 2010. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/2010/05/13/vulnerabilidades-das-megacidades-brasileiras-as-mudancas-climaticas-regiao-metropolitana-de-sao-paulo/>. Acesso em: 11 jun. 2020.

NOVELLO, V. F. *et al.* **Two Millennia of South Atlantic Convergence Zone Variability Reconstructed From Isotopic Proxies**. 2018. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2017GL076838>. Acesso em: 28 maio 2020.

OGASHAWARA, Igor. **Análise Rítmica e a Climatologia Geográfica Brasileira**. 2012. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/article/view/4814/3224>. Acesso em: 13 nov. 2020.

NUNES, André B. DA SILVA, Gilson Carlos. **Climatology of extreme rainfall events in eastern and northern Santa Catarina state, Brazil: present and future climate**. 2013. Disponível em: <https://sbgf.org.br/revista/index.php/rbgf/article/view/314>. Acesso em: 27 nov. 2020.

PEZZI, Luciano Ponzi *et al.* **Uma Revisão dos Processos de Interação Oceano-Atmosfera em Regiões de Intenso Gradiente Termal do Oceano Atlântico Sul Baseada em Dados Observacionais**. 2015. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-77862016000800428&script=sci_arttext. Acesso em: 11 jun. 2020.

PINHEIRO, Adilson; GRACIANO, Regina Luiza Gouvêa; SEVERO, Dirceu Luís. **Tendência das séries temporais de precipitação da região sul do Brasil**. 2013.

Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-77862013000300005&script=sci_arttext. Acesso em: 27 maio 2020.

PRIETO, Raidel B.; Teixeira, Mateus da Silva. **Análisis Sinóptico de un Evento Extremo y Persistente de Lluvia Sobre el Estado de Río Grande do Sul, Brasil, dn Mayo de 2004.** 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/304663972_ANALISIS_SINOPTICO_DE_UN_EVENTO_EXTREMO_Y_PERSISTENTE_DE_LLUVIA_SOBRE_EL_ESTADO_DE_E_RIO_GRANDE_DO_SUL_BRASIL_EN_MAYO_DE_2004. Acesso em: 12 nov. 2020.

PRUSKI, Fernando Falco *et al.* **Comparação de produtos de radiação solar incidente à superfície para a América do Sul.** 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010277862010000400006&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 24 nov. 2020.

PSCHEIDT, Ieda. **Frequency of extreme rainfall events in Southern Brazil modulated by interannual and interdecadal variability.** 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/230235937_Frequency_of_extreme_rainfall_events_in_Southern_Brazil_modulated_by_interannual_and_interdecadal_variability. Acesso em: 07 nov. 2020.

RAMOS, Andrea M.; ALVES, Lincoln; DINIZ, Assis F.; MARENGO, José A. **Anuário Climático do Brasil - 2018.** 2018. Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/anuarioClima2018_Final.pdf Acesso em: 19 mar. 2020.

RIBEIRO, Antonio Giacomini. **As Escalas do Clima.** 1993. Disponível em: http://lcb.fflch.usp.br/sites/lcb.fflch.usp.br/files/upload/paginas/RIBEIRO_Antonio_Giacomini_As_escalas_do_clima.pdf. Acesso em 24 nov. 2020.

RIBEIRO, Felipe Garcia *et al.* **O Impacto Econômico dos Desastres Naturais: O Caso das Chuvas de 2008 em Santa Catarina.** 2014. Disponível em: <http://ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/article/view/470>. Acesso em: 25 maio 2020.

ROCHA, Paulo Cesar. SANT'ANNA, João Lima. **Ritmo climático e dinâmico limnológico da planície fluvial do alto rio Paraná, centro-sul do Brasil.** 2010.

Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25592>. Acesso em: 24 nov. 2020.

ROSSI, G. *et al.* **Drought forecasting using the Standardized Precipitation Index.** 2006. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-006-9062-y>. Acesso em: 27 nov. 2020

ROSSO, Flávia Venturini *et al.* **Influence of the Antarctic Oscillation on the South Atlantic Convergence Zone.** 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4433/9/11/431>. Acesso em: 28 maio 2020.

SANCHES, Fabio de Oliveira. **Os Areais do Sudoeste do Rio Grande do Sul: Um Estudo sobre as Chuvas no Século XX e um Possível Cenário para o Século XXI.** 2013. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/88108>. Acesso em: 13 maio 2020.

SANCHES, Fabio de Oliveira; BALEN, Darline Simoni; SILVA, Roberto Valmir da; ROSAA, Katia Kellem da; RADÜNZ, André. **Chuvas no Rio Grande do Sul: Um Estudo sobre as Precipitações Acumuladas Intensas no Alto Uruguai Gaúcho.** 2014. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/38074>. Acesso em: 12 maio 2020.

SANTOS, Diego Felipe dos; REBOITA, Michelle Simões. **Jatos de baixos níveis a leste dos andes: comparação entre duas reanálises.** 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/47595>. Acesso em: 28 maio 2020.

SANTOS, José Guilherme Martins dos *et al.* **Análise de jatos de baixos n´níveis associados a um sistema convectivo de mesoescala na américa do sul: um estudo de caso.** 2008. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-261X2008000400006. Acesso em: 28 maio 2020.

SANTOS, Thalyta Soares dos *et al.* **Análise de Eventos Extremos na Região Amazônica.** 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233109/27025>. Acesso em: 19 jun. 2020

SARTORI, Maria da Graça Barros. **A Dinâmica do Clima do Rio Grande do Sul: Indução Empírica e Conhecimento Científico.** 2003. Disponível em:

<http://www.agb.org.br/publicacoes/index.php/terralivre/article/view/187/171>. Acesso em: 20 mar. 2020.

SILVA, Gilson Carlos da. **Análise quantitativa de eventos extremos de precipitação da região Leste e Norte de Santa Catarina**. 2011. Disponível em: <http://guaiaca.ufpel.edu.br/handle/123456789/2207>. Acesso em: 29 maio 2020.

SILVA, Richarde Marques da. **Análise da variabilidade espaço-temporal e identificação do padrão da precipitação na bacia do rio tapacurá, pernambuco**. 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1982-45132010000200010&script=sci_arttext. Acesso em: 17 jun. 2020.

SNIRH, Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. **Portal HidroWeb**. 2020. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em: 10 out. 2020.

SLEIMAN, Jorge; SILVA, Maria Elisa Siqueira. **Padrões Atmosféricos Associados a Eventos Extremos de Precipitação Sobre a Região Sul do Brasil**. 2010. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47244/50980>. Acesso em: 14 mar. 2020.

STENSRUD, David J. **Importance of Low-Level Jets to Climate: A Review**. 1996. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/1520-0442%281996%29009%3C1698%3AIOILLJT%3E2.0.CO%3B2>. Acesso em: 28 maio 2020.

TEIXEIRA, Mateus da Silva; SATYAMURTY, Prakki. **Dynamical and Synoptic Characteristics of Heavy Rainfall Episodes in Southern Brazil**. 2007. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/mwr/article/135/2/598/67725/Dynamical-and-Synoptic-Characteristics-of-Heavy>. Acesso em: 24 nov. 2020.

TEIXEIRA, Mateus da Silva; SATYAMURTY, Prakki. **Trends in the Frequency of Intense Precipitation Events in Southern and Southeastern Brazil during 1960–2004**. 2011. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/2011JCLI3511.1>. Acesso em: 27 maio 2020.

TEIXEIRA, Mateus Da Silva. PRIETO, Raidel Bàez. **Eventos Extremos de Chuva no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, entre 2004 e 2013. Parte 1: Definição dos**

Eventos e Estatísticas. 2020. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-77862020000100045&script=sci_arttext. Acesso em: 12 jun. 2020.

THIEDE, Brian et al. **Climate variability and inter-provincial migration in South America, 1970–2011.** 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378016303909>. Acesso em: 06 jun. 2020.

THORNTHWAITE, C. W. **An Approach toward a Rational Classification of Climate.** 1948. Disponível em: http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=16964. Acesso em: 22 jun. 2020.

TORRES, Felipe Tamiozzo Pereira; MACHADO, Pedro José de Oliveira. **Introdução à Climatologia.** Geographica, 2008.

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira; MACHADO, Pedro José de Oliveira. **Introdução à Climatologia.** São Paulo: Cengage Learning, 2012.

UFBA, Universidade Federal Da Bahia. **El Niño e La Niña: seus efeitos. 2017.** Disponível em: <https://ufbaconquista.wordpress.com/2017/12/19/el-nino-e-la-nina-seus-efeitos/>. Acesso em 24 nov. 2020.

UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas brasileiro de desastres naturais.** 2013. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/#>. Acesso em: 13 mar. 2020.

VIANA, Denilson Ribeiro et al. **Mesoscale convective complexes in rio grande do sul between october and december of 2003 and associated precipitation.** 2009. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-77862009000300003&script=sci_arttext. Acesso em: 27 maio 2020.

WANG, Guiling. **The peak structure and future changes of the relationships between extreme precipitation and temperature.** 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925838806020482>. Acesso em: 20 maio 2020.

WMO, World Meteorological Organization. **The Global Climate in 2015–2019.** 2019. Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9936. Acesso em: 13 mar. 2020.

WMO, World Meteorological Organization. **WMO Confirms 2019 as Second Hottest Year on Record.** 2020. Disponível em: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-confirms-2019-second-hottest-year-record>. Acesso em: 19 mar. 2020.

Apêndice 1 – Valores do Índice Multivariado ENSO (MEI) de acordo com NOAA (2020a)

YEAR	DJ	JF	FM	MA	AM	MJ	JJ	JA	AS	SO	ON	ND
1979	0.5	0.3	-0.1	0.2	0.3	-0.1	-0.1	0.4	0.4	0.2	0.5	0.7
1980	0.4	0.2	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.2	0.2	0.1	0	-0.1
1981	-0.3	-0.2	0.3	0.4	-0.3	-0.6	-0.5	-0.3	0	-0.1	-0.2	-0.2
1982	-0.4	-0.5	-0.3	-0.3	0	0.8	1.8	2	1.8	1.9	2.3	2.5
1983	2.6	2.7	2.7	2.8	2.9	2	0.8	-0.1	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
1984	-0.5	-0.5	-0.1	0.1	-0.5	-0.7	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.6	-0.3
1985	-0.2	-0.6	-0.6	-0.8	-1.2	-0.6	0	-0.4	-0.4	0	0	-0.3
1986	-0.4	-0.3	-0.4	-0.5	-0.2	0.1	0.6	1.1	1.3	0.6	0.7	1.1
1987	1	1.1	1.5	1.7	1.9	2	1.9	1.5	1.2	1.1	0.9	0.8
1988	0.6	0.3	0.2	0	-0.4	-1.2	-1.8	-1.8	-1.8	-1.5	-1.6	-1.5
1989	-1.1	-1.1	-1.2	-1.1	-1	-1	-1.1	-0.7	-0.6	-0.6	-0.3	0
YEAR	DJ	JF	FM	MA	AM	MJ	JJ	JA	AS	SO	ON	ND
1990	0.1	0.4	0.6	0.2	0	0	0.2	0.1	0.2	-0.1	0.1	0.3
1991	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.9	0.9	0.4	0.6	1.1	1.2	1.3
1992	1.7	1.6	1.7	2	1.7	1.6	0.8	0.1	0.5	0.8	0.7	0.8
1993	0.8	0.9	0.8	1	1.5	1.5	0.9	0.6	0.6	1	0.7	0.3
1994	0	-0.2	-0.2	0	0	0.3	0.9	0.8	1.1	1.5	1	0.9
1995	0.8	0.5	0.1	0.2	0.2	0	-0.2	-0.6	-0.9	-0.6	-0.7	-0.8
1996	-0.8	-0.8	-0.6	-0.7	-0.8	-0.9	-0.8	-0.6	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4
1997	-0.7	-0.7	-0.3	0.2	0.7	2.3	2.1	2.2	2.2	2	2.1	2
1998	2.2	2.4	2.3	2.5	2.3	0.4	-1.4	-1.7	-1.3	-1.2	-1.3	-1.2
1999	-1.3	-1.2	-1.1	-1.2	-1.4	-1.3	-1.2	-1.1	-1.2	-1.3	-1.3	-1.4
YEAR	DJ	JF	FM	MA	AM	MJ	JJ	JA	AS	SO	ON	ND
2000	-1.3	-1.3	-1.4	-0.9	-1	-1.1	-0.6	-0.1	-0.4	-0.6	-0.9	-0.8
2001	-0.8	-0.9	-0.8	-0.6	-0.6	-0.7	0	0.3	-0.1	-0.2	-0.3	0
2002	0.1	-0.3	-0.2	-0.4	-0.1	0.4	0.4	1	0.8	0.8	0.8	0.9
2003	0.8	0.6	0.5	-0.1	-0.6	-0.1	0	0	0.1	0.3	0.3	0.1
2004	0.2	0	-0.4	-0.2	-0.4	-0.3	0.4	0.7	0.5	0.3	0.5	0.5
2005	0.1	0.6	0.8	0.1	0.2	0.2	0	0	0	-0.7	-0.7	-0.7
2006	-0.7	-0.5	-0.6	-0.8	-0.4	-0.2	0.1	0.6	0.6	0.7	0.9	0.6
2007	0.6	0.4	-0.2	-0.4	-0.4	-0.9	-0.8	-0.9	-1.1	-1.1	-1.1	-1.2
2008	-1.1	-1.3	-1.5	-1.1	-1	-0.9	-0.9	-1.1	-1.1	-1.1	-1	-1
2009	-1	-0.8	-0.9	-0.8	-0.7	-0.1	0.5	0.5	0.4	0.6	1.1	1
YEAR	DJ	JF	FM	MA	AM	MJ	JJ	JA	AS	SO	ON	ND
2010	0.9	1.3	1.3	0.5	-0.2	-1.3	-2.4	-2.4	-2.3	-2.2	-2	-1.9
2011	-1.8	-1.6	-1.8	-1.7	-1.3	-1.1	-0.9	-0.9	-1.2	-1.4	-1.2	-1.2
2012	-1.1	-0.7	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	0.3	-0.1	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
2013	0	-0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-1.2	-0.8	-0.5	-0.4	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.5	-0.4	-0.1	-0.2	-0.2	0	0.3	0.2	-0.1	0.1	0.3	0.3
2015	0.2	0.1	0.1	0.4	1	1.9	1.7	1.9	2.2	2.1	1.9	1.9
2016	1.9	1.8	1.3	1.3	1.3	0.4	-0.5	-0.3	-0.3	-0.6	-0.5	-0.3
2017	-0.4	-0.4	-0.6	-0.2	0.2	-0.3	-0.7	-0.8	-0.8	-0.6	-0.6	-0.7
2018	-0.8	-0.7	-0.8	-1.3	-0.9	-0.5	-0.2	0.4	0.5	0.4	0.3	0.1
2019	0.1	0.5	0.8	0.3	0.3	0.4	0.2	0.3	0.2	0.3	0.5	0.4
YEAR	DJ	JF	FM	MA	AM	MJ	JJ	JA	AS	SO	ON	ND
2020	0.3	0.3	0.2	-0.1	-0.2	-0.7	-1	-1	-1.2	-1.2		

Apêndice 2 – Valores mensais do Índice Padronizado de Oscilação Sul (SOI), adaptado de BOM (2020)

Ano	JAN	FEV	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1961	-2,5	6,3	-20,9	9,4	1,3	-3,1	2,2	0,1	0,8	-5	7,2	13,8
1962	17	5,3	-1,4	1,2	12,3	5	-0,4	4,6	5,1	10,3	5,2	0,6
1963	9,4	3	7,3	6,1	2,8	-9,6	-1	-2,4	-5,2	-12,9	-9,3	-11,6
1964	-4	-0,3	8,4	13,5	2,8	7,4	6,8	14,3	14,1	12,8	2,6	-3
1965	-4	1,6	2,9	-12,9	-0,3	-12,8	-22,6	-11,4	-14,2	-11,1	-17,9	1,6
1966	-12	-4,1	-13,9	-7,1	-9	1	-1	4	-2,2	-2,5	-0,1	-4
1967	14,6	12,9	7,8	-3	-3,5	6,6	1,6	5,9	5,1	-0,1	-4	-5,5
1968	4,1	9,6	-3	-3	14,7	12,3	7,4	0,1	-2,8	-1,9	-3,4	2,1
1969	-13,5	-6,9	1,8	-8,8	-6,6	-0,6	-6,9	-4,4	-10,6	-11,7	-0,1	3,7
1970	-10,1	-10,7	1,8	-4,6	2,1	9,9	-5,6	4	12,9	10,3	19,7	17,4
1971	2,7	15,7	19,2	22,6	9,2	2,6	1,6	14,9	15,9	17,7	7,2	2,1
1972	3,7	8,2	2,4	-5,5	-16,1	-12	-18,6	-8,9	-14,8	-11,1	-3,4	-12,1
1973	-3	-13,5	0,8	-2,1	2,8	12,3	6,1	12,3	13,5	9,7	31,6	16,9
1974	20,8	16,2	20,3	11,1	10,7	2,6	12	6,6	12,3	8,5	-1,4	-0,9
1975	-4,9	5,3	11,6	14,4	6	15,5	21,1	20,7	22,5	17,7	13,8	19,5
1976	11,8	12,9	13,2	1,2	2,1	0,2	-12,8	-12,1	-13	3	9,8	-3
1977	-4	7,7	-9,5	-9,6	-11,4	-17,7	-14,7	-12,1	-9,4	-12,9	-14,6	-10,6
1978	-3	-24,4	-5,8	-7,9	16,3	5,8	6,1	1,4	0,8	-6,2	-2	-0,9
1979	-4	6,7	-3	-5,5	3,6	5,8	-8,2	-5	1,4	-2,5	-4,7	-7,5
1980	3,2	1,1	-8,5	-12,9	-3,5	-4,7	-1,7	1,4	-5,2	-1,9	-3,4	-0,9
1981	2,7	-3,2	-16,6	-5,5	7,6	11,5	9,4	5,9	7,5	-5	2,6	4,7
1982	9,4	0,6	2,4	-3,8	-8,2	-20,1	-19,3	-23,6	-21,4	-20,2	-31,1	-21,3
1983	-30,6	-33,3	-28	-17	6	-3,1	-7,6	0,1	9,9	4,2	-0,7	0,1
1984	1,3	5,8	-5,8	2	-0,3	-8,7	2,2	2,7	2	-5	3,9	-1,4
1985	-3,5	6,7	-2	14,4	2,8	-9,6	-2,3	8,5	0,2	-5,6	-1,4	2,1
1986	8	-10,7	0,8	1,2	-6,6	10,7	2,2	-7,6	-5,2	6,1	-13,9	-13,6
1987	-6,3	-12,6	-16,6	-24,4	-21,6	-20,1	-18,6	-14	-11,2	-5,6	-1,4	-4,5
1988	-1,1	-5	2,4	-1,3	10	-3,9	11,3	14,9	20,1	14,6	21	10,8
1989	13,2	9,1	6,7	21	14,7	7,4	9,4	-6,3	5,7	7,3	-2	-5
1990	-1,1	-17,3	-8,5	-0,5	13,1	1	5,5	-5	-7,6	1,8	-5,3	-2,4
1991	5,1	0,6	-10,6	-12,9	-19,3	-5,5	-1,7	-7,6	-16,6	-12,9	-7,3	-16,7
1992	-25,4	-9,3	-24,2	-18,7	0,5	-12,8	-6,9	1,4	0,8	-17,2	-7,3	-5,5
1993	-8,2	-7,9	-8,5	-21,1	-8,2	-16	-10,8	-14	-7,6	-13,5	0,6	1,6
1994	-1,6	0,6	-10,6	-22,8	-13	-10,4	-18	-17,2	-17,2	-14,1	-7,3	-11,6
1995	-4	-2,7	3,5	-16,2	-9	-1,5	4,2	0,8	3,2	-1,3	1,3	-5,5
1996	8,4	1,1	6,2	7,8	1,3	13,9	6,8	4,6	6,9	4,2	-0,1	7,2
1997	4,1	13,3	-8,5	-16,2	-22,4	-24,1	-9,5	-19,8	-14,8	-17,8	-15,2	-9,1
1998	-23,5	-19,2	-28,5	-24,4	0,5	9,9	14,6	9,8	11,1	10,9	12,5	13,3
1999	15,6	8,6	8,9	18,5	1,3	1	4,8	2,1	-0,4	9,1	13,1	12,8
2000	5,1	12,9	9,4	16,8	3,6	-5,5	-3,7	5,3	9,9	9,7	22,4	7,7
2001	8,4	11,9	6,7	0,3	-9	1,8	-3,7	-8,2	1,4	-1,9	7,2	-9,1
2002	2,7	7,7	-5,2	-3,8	-14,5	-6,3	-7,6	-14,6	-8,2	-7,4	-6	-10,6
2003	-2	-7,4	-6,8	-5,5	-7,4	-12	2,9	-1,8	-2,2	-1,9	-3,4	9,3
2004	-11,6	9,1	0,2	-15,4	13,1	-15,2	-6,9	-7,6	-2,8	-3,7	-8,6	-8
2005	1,8	-28,6	0,2	-11,2	-14,5	2,6	0,9	-6,9	3,9	10,9	-2	0,1
2006	12,7	0,1	13,8	14,4	-9,8	-6,3	-7,6	-15,9	-5,8	-16	-1,4	-3,5
2007	-7,8	-2,7	-1,4	-3	-2,7	5	-5	2,7	1,4	5,4	9,2	14,4
2008	14,1	21,3	12,2	4,5	-3,5	4,2	2,2	9,1	13,5	13,4	17,1	13,3
2009	9,4	14,8	0,2	8,6	-7,4	-2,3	1,6	-5	3,9	-14,7	-6	-7
2010	-10,1	-14,5	-10,6	15,2	10	1,8	20,5	18,8	24,9	18,3	16,4	27,1
2011	19,9	22,3	21,4	25,1	2,1	0,2	10,7	2,1	11,7	7,3	13,8	23
2012	9,4	2,5	2,9	-7,1	-2,7	-10,4	-1,7	-5	2,6	2,4	3,9	-6
2013	-1,1	-3,6	10,5	0,3	8,4	13,9	8,1	-0,5	3,9	-1,9	9,2	0,6
2014	12,2	-1,3	-13,3	8,6	4,4	-1,5	-3	-11,4	-7,6	-8	-10	-5,5
2015	-7,8	0,6	-11,2	-3,8	-13,7	-12	-14,7	-19,8	-17,8	-20,2	-5,3	-9,1
2016	-19,7	-19,7	-4,7	-22	2,8	5,8	4,2	5,3	13,5	-4,3	-0,7	2,6
2017	1,3	-2,2	5,1	-6,3	0,5	-10,4	8,1	3,3	6,9	9,1	11,8	-1,4
2018	8,9	-6	10,5	4,5	2,1	-5,5	1,6	-6,9	-10	3	-0,1	9,3
2019	-0,6	-13,5	-6,8	-1,3	-9	-10,4	-5,6	-4,4	-12,4	-5,6	-9,3	-5,5
2020	1,3	-2,2	-5,2	-0,5	2,8	-9,6	4,2					