



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS E DA INFORMAÇÃO - ICHI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – PPGGEO
ANÁLISE DE SISTEMAS NATURAIS E AMBIENTAIS

PRECIPITAÇÃO EM RIO GRANDE – RS (1913 – 2016):
ANÁLISE DESCRITIVA E DA VARIABILIDADE

TAMIRES DA ROSA SILVA

Rio Grande - RS

TAMIRES DA ROSA SILVA

PRECIPITAÇÃO EM RIO GRANDE – RS (1913 – 2016):

ANÁLISE DESCRITIVA E DA VARIABILIDADE

Dissertação de mestrado como requisito para obtenção de título de mestre em Geografia pela a Universidade Federal do Rio Grande, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Geografia, área de concentração em Análise de Sistemas Naturais e Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Éder Leandro Bayer Maier

Rio Grande, 27 de março de 2019.

Banca examinadora

Orientador

Dr. Éder Leandro Bayer Maier – Orientador

Universidade Federal do Rio Grande

Instituto de Ciências Exatas e Informação - ICHI

Banca

Dra. Eliana Veleda Klering

Universidade Federal do Rio Grande

Instituto de Oceanografia - IO

Dra. Débora de Souza Simões

Universidade Federal de Pelotas

Faculdade de Meteorologia- FMET

Portanto, não percam a coragem, pois ela traz uma grande recompensa.

Hebreus 10.35

Agradecimentos

Ao Deus que me criou e proporciona que todas as coisas contribuam para o bem dos que o amam, toda minha gratidão.

Aos meus pais Ediara Rosa e Cidemar Silva por todo o apoio e fomento aos meus estudos e educação, a minha mãe em especial por ser meu suporte de amor, carinho, dedicação, amizade e incentivo. Uma pela outra sempre, obrigada por ser minha mãe.

Ao meu amor Alisson Garcia, por ser meu melhor amigo, parceiro e confidente. Por aguentar meus momentos de ansiedade e chatices. Por fazer os meus dias mais alegres e doces. Obrigada por existir e ser quem você é. Te amo.

Aos meus amigos e colegas do PPGEIO (Maria Cristina, Thais, Giovanni e Luis) e aos colegas do LACCA por estar junto nesta caminhada que muitas vezes é solitária, foi uma alegria conhecer e estudar com vocês. Em especial a minha amiga Maria Cristina por ser uma mulher tão especial, inteligente, sincera e divertida foi um privilégio conhecer você. Levarei esta amizade para vida toda.

A minha amiga Bruna Barreto por ter me mostrado que eu podia ir além da graduação e superar as minhas inseguranças em uma seleção de mestrado. Obrigada por acreditar e torcer por mim.

A todos meus familiares, principalmente minha prima Kamila Rosa por toda paciência e disposição para ajudar e me ensinar às várias formas de utilizar as tecnologias, fostes essencial. A minha prima Katuscia Rosa por estar sempre disposta a me ajudar não importando a situação. Amo vocês. E não menos importante, ao grupo da família por serem as pessoas mais divertidas que existe. Que nossa família permaneça sempre nesta base sólida de amor e amizade.

Ao meu professor e orientador Éder Maier, por toda a dedicação e apoio durante este projeto. Obrigada por me ensinar a verdadeira beleza e complexidade da climatologia. Não consigo mensurar o quanto foi importante estes dois anos de aprendizado e construção do conhecimento científico. Obrigada por acreditar em mim. “No fim tudo dá certo, e se não deu certo é porque ainda não chegou ao fim”.

Agradeço a todas as pessoas que contribuíram de maneira direta ou indireta na formação e conclusão deste trabalho. Amo vocês.

Até aqui nos ajudou o Senhor Sl 7.12

Resumo

A precipitação é um importante fator que contribui nos fluxos de energia e massa, visto que influencia no balanço hídrico, térmico e conseqüentemente na dispersão da biosfera no planeta. Portanto a investigação da variabilidade das precipitações em diferentes escalas espaço-temporal irá auxiliar no planejamento ambiental. Nesse contexto, o trabalho tem por objetivo analisar a variabilidade temporal (1913 a 2016) da precipitação na cidade de Rio Grande e compreender os fatores remotos que controlam a ocorrência de secas ou chuvas acima da média. As análises da variabilidade temporal das precipitações utilizaram estatística descritiva e inferencial para mensurar as medidas de tendência central, de dispersão e identificar os ciclos temporais da variabilidade da precipitação associada a fatores remotos. Os dados são totais mensais da precipitação observada entre 1913 e 2016 na estação Rio Grande. Na análise descritiva foram mensurados os totais anuais, média mensal, desvio padrão e distribuição de frequência. Além disso, foram subtraídas as médias mensais das amostras, obtendo as anomalias da precipitação, as quais foram comparadas com os índices climáticos (SOI, PDO e SAM), usando a análise de dependência por regressão linear, com a TSM (grade global) e Pressão Atmosférica (grade global) a partir da mensuração dos índices de correlação. A análise espectral (*Wavetlet*) foi usada para identificar os ciclos temporais da precipitação. Os resultados das análises descritivas demonstram que a precipitação mensal em Rio Grande varia entre 0,3mm e 551,8 mm com uma média de 102,1 mm e desvio padrão de 66,1 mm; o total anual da precipitação indicou uma variação entre 625 mm (mínimo) e 2.261,9 mm (máximo), possuindo um acúmulo anual médio de 1.226 mm; a média mensal tem uma variação entre 71,2 mm e 126,7 mm, sendo referentes aos meses de dezembro e setembro, respectivamente; a mensuração do desvio padrão para os três períodos, entre 1920-1950, 1950-1980 e 1980-2010, identificou que o verão e outono foram as estações que apresentaram maior e menor desvio padrão, respectivamente. A variabilidade temporal da precipitação em Rio Grande ocorre nas escalas interanual e interdecenal e estão associadas ao fenômeno ENOS, PDO e SAM, sendo predominante a ocorrência de chuvas acima da média/secas concomitantes ao El Niño/La Niña, fase positiva/negativa da PDO e fase negativa/positiva do SAM. As anomalias superiores a |56,4 mm| foram considerados eventos extremos da precipitação, e foi identificado com a técnica dos quartis 219 meses de seca e 210 meses de chuvas excessivas no período entre 1913 e 2016. Entretanto, os impactos ambientais oriundos da variabilidade climática podem ser mitigados e compensados a partir de um planejamento ambiental proativo e eficiente, que integre as variações naturais da precipitação.

Palavras chaves: precipitação; variabilidade; Rio Grande.

Abstract

Rainfall is an important factor that contributes to the energy and mass flows, since it influences the hydric and thermal balance, and consequently in the dispersion of the biosphere on the planet. Therefore, the investigation of rainfall variability at different space-time scales will aid in environmental planning. In this context, the goal of this study is to analyze the temporal variability (1913 to 2016) of the rainfall in the city of Rio Grande and to understand the remote factors that control the occurrence of droughts or rains above the average. The analyses of the temporal variability of rainfalls used descriptive and inferential statistics to measure the central tendency and dispersion and to identify temporal cycles of the rainfall variability associated with remote factors. The data are the monthly totals of rainfall observed between 1913 and 2016 at Rio Grandestation. In the descriptive analysis were measured the annual totals, monthly average, standard deviation, and frequency distribution. In addition, monthly averages of the samples were subtracted, obtaining the rainfall anomalies, which were compared with the climatic indexes (SOI, PDO, and SAM), using the linear regression dependency analysis with the SST (global grid) and Atmospheric Pressure (global grid) from the measurement of correlation indexes. Spectral analysis (*Wavetel*) was used to identify the temporal cycles of rainfall. The results of the descriptive analysis show that the monthly rainfall in the city of Rio Grande varies between 0.3 mm and 551.8 mm with an average of 102.1 mm and a standard deviation of 66.1 mm; the annual total of rainfall indicated a variation between 625 mm (minimum) and 2,261.9 mm (maximum), with an annual buildup average of 1,226 mm; the monthly average has a variance between 71.2 mm and 126.7 mm, referring to the months of December and September, respectively; the measurement of the standard deviation for the three periods, between 1920-1950, 1950-1980, and 1980-2010, identified that summer and autumn were the seasons with the highest and lowest standard deviation, respectively. The temporal variability of the rainfall in the city of Rio Grande occurs in the interannual and interdecadal scales and are associated to the ENSO, PDO and SAM phenomena, being predominant the occurrence of rains above the average/droughts concomitant to El Niño/La Niña, positive/negative phase of the PDO and negative/positive phase of SAM. Anomalies greater than |56,4 mm| were considered extreme events of rainfall, and it was identified, with the use of the quartiles method, 219 months of drought and 210 months of excessive rains in the period between 1913 and 2016. However, the environmental effects from climate variability can be mitigated and compensated by a proactive and efficient environmental planning that integrates the natural variations of rainfall.

Keywords: precipitation; variability; Rio Grande.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa da Bacia Hidrográfica do sistema Patos-Mirim.....	16
Figura 2 – Hidrografia do município do Rio Grande.....	18
Figura 3 - Demonstração da Vila do Rio Grande.	19
Figura 4 - Unidades Geomorfológicas do Rio Grande do Sul.....	21
Figura 5 - Sistemas deposicionais da Planície Costeira do RS, adaptado de Tomazelli & Villvock (2002).....	23
Figura 6 - Sistemas atmosféricos que atuam na América do Sul em altos e baixos níveis.	24
Figura 7 - Regionalização dos diferentes ciclos anuais de precipitação na América do Sul. ..	25
Figura 8 - Regimes de precipitação do Sul	26
Figura 9 - Mapas sazonais de precipitação pluviométrica do Rio Grande do Sul. Estações A)Verão B)Outono C)Inverno D) Primavera	27
Figura 10 - Análise Sinótica/CPTEC. Quarta- feira (04/04/2018).	29
Figura 11 - Representação do sistema frontal.	30
Figura 12 - Análise Sinótica/CPETC. Domingo. (15/01/2017).	32
Figura 13 - Representação do ciclone e anticiclone	34
Figura 14 - Imagem do Satélite GOES 13 E GOES 13 T_Realce 21:00 (GTM)26/08/2014. ..	34
Figura 15 – Neutro, La Niña e El Niño.....	37
Figura 16 - Efeitos Globais ENOS.	38
Figura 17 - Índice de Oscilação Sul.....	41
Figura 18 - Área do Índice PDO.....	42
Figura 19 - Índice PDO 1900/2017.....	42
Figura 20 - Localização das 12 estações usadas para calcular o índice SAM baseado em observações.....	43
Figura 21 - Valores sazonais do índice SAM baseado em observações.	43
Figura 22 - Mapa das áreas de perigo á inundação no sítio urbano de Rio Grande.	49
Figura 23 - Vista para oeste na avenida paralela á margem que passa em frente ao Jóquei Clube, durante a inundação de 8 de outubro.	49
Figura 24 - Rua Saturnino de Brito a partir da margem.....	50
Figura 25 – Metodologia Científica.....	52
Figura 26 – Área de estudo: Rio Grande - RS.....	53
Figura 27 - Estação Meteorológica Automática nº A802	54

Figura 28 - Estação Convencional n°83995	54
Figura 29- Precipitação em Rio Grande - RS.....	60
Figura 30 - Total Anual de Precipitação em Rio Grande.....	61
Figura 31 - Média Mensal da Precipitação em Rio Grande – RS.....	62
Figura 32- Média, Máxima e Mínima em Rio Grande – RS.....	63
Figura 33- Médias da Precipitação em Rio Grande – RS.	65
Figura 34 - Desvio Padrão da Precipitação em Rio Grande – RS.	66
Figura 35 - Anomalia da Precipitação em Rio Grande – RS.....	69
Figura 36 - Distribuição de Frequência da Precipitação em Rio Grande.....	70
Figura 37 - Anomalia da Precipitação em Períodos de El Niño, La Niña e Neutro.	71
Figura 38 - Anomalia da Precipitação em Rio Grande – RS em Fases Positiva e Negativa da PDO.....	72
Figura 39 - Anomalia da Precipitação em Rio Grande – RS em Períodos de SAM positivo e Negativo.	74
Figura 40 - Diagramas de Dispersão entre a Precipitação em Rio Grande e os Índices Climáticos (SOI, PDO e SAM).	75
Figura 41 - Índice de Correlação entre a Anomalia da Precipitação em Rio Grande e a TSM Global. Estações Sazonais A) Verão B)Outono C)Inverno e D) Primavera.	80
Figura 42 - Índice de Correlação entre a Anomalia da Precipitação em Rio Grande e a Pressão Atmosférica. Estações Sazonais A) Verão B)Outono C)Inverno e D) Primavera.	81
Figura 43- Espectrograma	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Índices de variabilidade climática.....	55
Tabela 2 - Identifica os índices estatísticos da reta de regressão.....	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCM –Complexo Convectivo de Mesoescala

COBRADE –Codificação Brasileira de Desastres

ENOS –El Niño – Oscilação Sul

HN –Hemisfério Norte

HS–Hemisfério Sul

IPCC –Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas

LI –Linha de Instabilidade

NE–Nordeste

PDO – Oscilação Decadal do Pacífico

PNM– Pressão ao nível do Mar

PSA –*Pacific South American*

Q1 –Quartil 1

Q2 –Quartil 2

Q3 –Quartil 3

Q4 – Quartil 4

SAM – Modo Anular do Sul

SCM –Sistema Convectivo de Mesoescala

SOI – Índice de Oscilação Sul

TSM –Temperatura da Superfície do Mar

VC –*Vórtice Circum polar*

ZCAS –Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa.....	14
1.2	Objetivo.....	14
1.3	Objetivos específicos	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Aspectos Físicos da cidade de Rio Grande	15
2.2	História de Rio Grande - RS.....	18
2.3	Geologia e Geomorfologia	20
2.4	Caracterização do Clima	23
2.5	Precipitações no Rio Grande do Sul	26
2.6	Sistemas atmosféricos.....	27
2.6.1	Sistemas Frontais.....	28
2.6.2	Complexos Convectivos de Mesoescala e Linhas de Instabilidade	30
2.6.3	Ciclones extratropicais.....	32
2.6.4	Anticiclones.....	35
2.7	Variabilidade Climática	35
2.7.1	Bloqueios Atmosféricos.....	35
2.7.2	El Niño e La Niña	36
2.7.3	Influências Austrais	39
2.8	Índices Climáticos.....	40
2.9	Eventos Extremos	44
2.10	Cenários Futuros e Gestão dos Recursos.....	50
3	METODOLOGIA	51
3.1	Caracterização da área de estudo.....	52
3.2	Dados	53
3.3	Estatística Descritiva.....	56
3.4	Estatística Inferencial.....	57
3.5	Wavelet	58
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
4.1	Análise descritiva.....	59
4.2	Análise da variabilidade.....	67
4.3	Análise dos fatores que controlam a variabilidade da precipitação.....	77
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
6	REFERÊNCIAS.....	85

1 INTRODUÇÃO

O estudo do clima terrestre abrange complexos processos dos sistemas oceano-atmosfera-litosfera, nesse contexto, a chuva é um importante fator que contribui nos fluxos de energia e massa. Bem como, as precipitações influenciam no balanço hídrico, térmico e na dispersão da biosfera no planeta.

A variabilidade da precipitação ocorre em diferentes escalas espaço-temporal como, por exemplo, entre a escala global e a local ou entre as escalas geológica e a humana. Entretanto, são as mudanças climáticas dos últimos séculos que tem causado impactos nos recursos ambientais, na distribuição das chuvas e na variabilidade da temperatura. A associação entre o aquecimento global e a ineficiência do planejamento ambiental tem aumentado a vulnerabilidade ambiental frente à variabilidade da precipitação (IPCC, 2014).

As observações históricas do clima evidenciam um acréscimo na frequência de ocorrência de eventos extremos de precipitações elevadas no Sul e Sudeste do Brasil, nos últimos 30 anos, bem como neste período também aconteceram as grandes secas que atingiram a região da Amazônia no ano de 2005 e 2010, predominando ciclos temporais nas escalas interanual e interdecadal (MARENGO, 2014).

A variabilidade climática exerce influência sobre as populações ao longo do tempo, uma vez que suas variações podem comprometer o desenvolvimento da vida, através das alterações no regime de chuvas, que poderá impactar as populações com períodos de chuvas excessivas e secas intensas e prolongadas. Além disso, os eventos climáticos extremos de chuvas, marés meteorológicas, vendavais e ciclones aumentam a necessidade de estudos científicos sobre as mudanças climáticas devido à possibilidade de prever esses fenômenos e criar medidas mitigadoras e compensatórias (MARENGO, 2009).

Segundo o Relatório do IPCC (2014), eventos extremos abarcam chuvas excessivas, secas, ondas de calor, inundações costeiras, entre outros. E com o aquecimento global há projeções de aumento da frequência e intensidade dos eventos extremos. Sendo que isso é um dos fatores que pode causar riscos ambientais nos sistemas ambientais costeiros, especialmente os eventos extremos de precipitação, porque há uma elevada densidade demográfica, relevo com baixa declividade, foz de rios/lagunas, ressacas, etc.

Nesse contexto, Rio Grande, RS é uma cidade costeira que sofre impactos dos ciclos temporais de chuvas excessivas ou secas. As inundações, alagamentos e enchentes causam

impactos na área urbana e rural e geralmente estão associados ao evento El Niño, já em períodos de seca ocorrem prejuízos na agricultura com a alteração de ciclos de germinação, crescimento, floração e colheita, bem como podem causar impactos na fauna e flora e causar maior concentração de gases e sólidos contaminantes ou poluentes na atmosfera que contribuem para a proliferação de doenças respiratórias.

Cabe salientar, que a compreensão da variabilidade da precipitação pode ser uma valiosa ferramenta para um planejamento ambiental eficiente dos sistemas ambientais costeiros. Visto que parte dos impactos ambientais ocasionados pela variação da precipitação podem ser minimizados, pois um planejamento ambiental proativo e eficiente pode aumentar a resiliência ambiental, assim como novas ações podem mitigar e compensar os impactos ambientais deflagrados por eventos meteorológicos, especialmente os extremos.

1.1 Justificativa

A combinação da variabilidade das precipitações, as características físicas do ambiente costeiro, as transformações da cidade de Rio Grande, RS e especialmente as práticas de aterramento de áreas de alagamento ou inundação para urbanização, refletem na atuação dos eventos extremos de precipitação, causadores de fortes impactos socioambientais na cidade de Rio Grande, RS.

Neste contexto a investigação da variabilidade da precipitação pode diminuir a vulnerabilidade e aumentar a resiliência a partir da identificação das medidas de tendência centrais e modelos estatísticos, pois o conhecimento científico pode servir de subsídio teórico para o tomador de decisão na projeção de ações futuras, que mitiguem os impactos ambientais causados pela variabilidade da precipitação, com ênfase nas populações da cidade que se encontra em situação de risco ambiental.

1.2 Objetivo

O objetivo é analisar a variabilidade temporal (1913 a 2016) da precipitação em Rio Grande - RS e compreender os fatores remotos que controlam a ocorrência de secas ou chuvas acima da média.

1.3 Objetivos específicos

- Realizar análise descritiva da variabilidade temporal da precipitação em Rio Grande, RS;
- Realizar análises inferenciais da variação da precipitação em Rio Grande, RS;
- Identificar os fatores remotos que controlam a variabilidade temporal da precipitação em Rio Grande, RS.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir será exposta uma contextualização histórica que apresenta a história da colonização e expansão da cidade de Rio Grande, RS, além de uma descrição das principais características físicas e da variabilidade climática da cidade, a partir das contribuições científicas de autores que tem por finalidade o estudo do clima e sistemas meteorológicos.

2.1 Aspectos Físicos da cidade de Rio Grande

Os ecossistemas costeiros do Atlântico Sul ocidental na maioria das vezes sofrem influência das interações que ocorrem entre características oceanográficas, condições climáticas e descargas continentais, que imprimem na região costeira características de uma zona biogeográfica temperada-quente (SEELIGER, 2010). O clima da região é subtropical, condições climáticas que variam com a sazonalidade (temperatura) e com os fatores remotos (precipitação), sendo a influência oceânica forte, tanto do oceano Atlântico quando do Pacífico (VIEIRA, 1983).

A cidade de Rio Grande está localizada na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, nas coordenadas 31°47'02'' S/ 32°39'45'' S e 52°03'10'' W/ 52°44'10''W, sobre terrenos sedimentares pleistocênicos e holocênicos. Possui uma série de feições morfológicas próprias de uma costa em regressão, com notáveis cordões regressivos litorâneos quase paralelos entre si e depósitos com marcas de fundo raso.

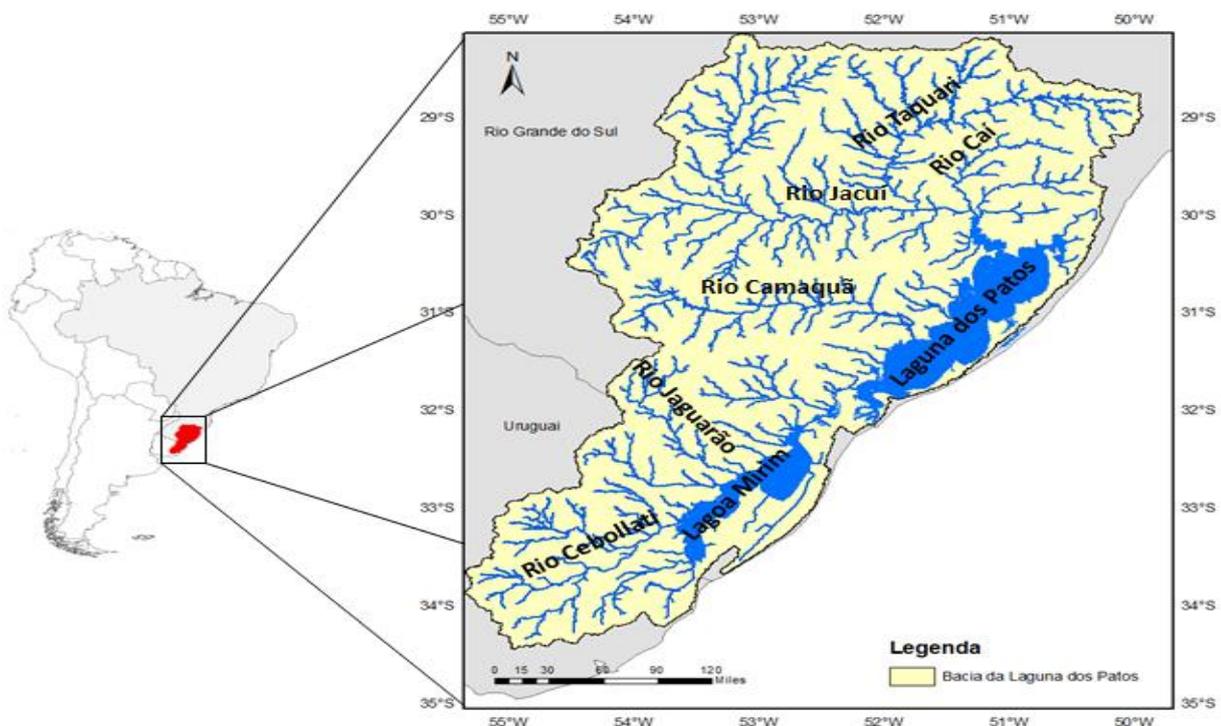
Os cordões regressivos litorâneos são uma estreita faixa arenosa, situada entre a praia atual e os sedimentos pleistocênicos. Os feixes de restinga apresentam em sua morfologia uma estreita faixa arenosa, localizada em meio à praia atual e os sedimentos pleistocênicos, ordenados por cristas paralelas com espaçamento de 5 a 30 metros sendo 16.750 metros ao norte e 11.490 metros ao sul.

Os banhados derivados da colmotação das lagoas e dos sulcos os quais fazem parte dessa feição aparecem com frequência nesses terrenos. Eles são alongados e limitados por duas cristas, permanecendo normalmente durante o ano inteiro com lâminas de água das chuvas, a tendência é que esses banhados sejam colmotados e seus fundos cobertos por sedimentos.

Ainda como importantes feições lagunares estão os Pontais, derivados dos prolongamentos dos feixes de restinga que estão situados junto a Barra de Rio Grande. São eles o Pontal de Rio Grande, o Pontal da Mangueira e o Pontal do Sul, porém o Pontal de Rio Grande é o maior entre os três, com 12 km de comprimento e 2.000 metros de largura, situado na cidade de Rio Grande.

Rio Grande está inserido na Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo (Figura 1), ela possui uma área de 25.666 km² que abrange 21 municípios. O município de Rio Grande ocupa uma área de 10% da bacia hidrográfica e seus principais cursos d'água são os canais do sistema Patos - Mirim e arroios da planície costeira (FAGUNDES, 2013).

Figura 1 - Mapa da Bacia Hidrográfica do sistema Patos-Mirim.



Fonte: LOPES *et al.*, 2015.

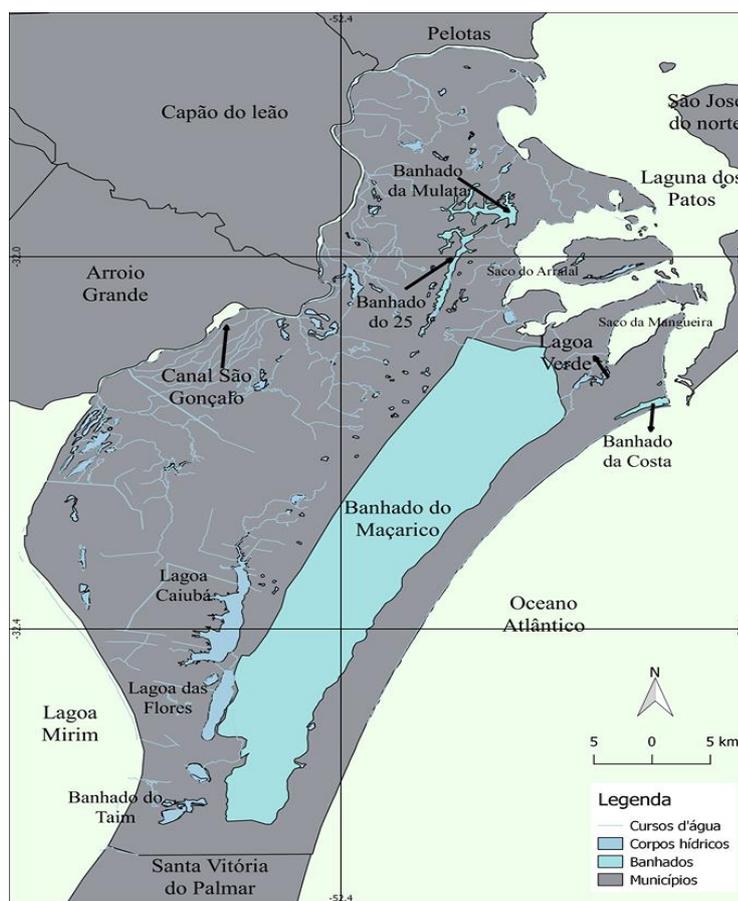
A mesma é banhada pelo oceano Atlântico em 65 km de litoral e sua ligação com a Lagoa dos Patos é realizada através do estuário com aproximadamente 1.000 km², situado entre a Barra do Rio Grande e a Feitoria. O estuário possui uma série de ambientes e um regime hidrodinâmico associados à maré meteorológica, maré lunar, direção e intensidade dos ventos e precipitação na bacia hidrográfica (FAGUNDES, 2013).

A Lagoa dos Patos (Figura 2) possui uma área de 10.000 km² e drenagem de 200.000 km² aproximadamente e incluem algumas bacias hidrográficas do Estado, como as bacias dos rios Jacuí, Taquari, Camaquã, Gravataí, Caí, Sinos além da bacia de drenagem da lagoa mirim que se estende até o território Uruguaio. Possui uma média anual de 2.000 m³/s de vazão dos complexos hidrográficos Patos-Mirim, porém podem ocorrer algumas variações sazonais e interanuais em anos de La Niña e El Niño. Em anos de La Niña essa variação pode chegar a 500 m³/s no verão e em anos de El Niño exceder os 10.000 m³/s no inverno e primavera.

Outro significativo curso d'água que faz parte do município de Rio Grande é a Lagoa Mirim, a qual apresenta área de 3.749 km², sua bacia de drenagem ocupa uma área total de 62.250 km², sendo 47% no território brasileiro e 53% no território Uruguai, a mesma possui ligação com a Lagoa dos Patos por meio do Canal São Gonçalo e tem suas águas utilizadas principalmente nas atividades de irrigação de arroz. O canal São Gonçalo também faz parte dos cursos de d'água do município, o mesmo faz divisa com a cidade de Pelotas, Arroio do Padre e Capão do Leão, apresenta 76 km de extensão, 200m/300m de largura e 6m de profundidade em média, a direção do seu fluxo de água vai do desnível das lagoas Mirim e dos Patos e também da ação dos ventos.

Ainda faz parte dos recursos hídricos do município, o sistema hidrológico do Taim, caracterizado por banhados e lagoas associados de água doce. Ressaltasse também os arroios das Cabeças e arroio Martins, distribuídos ao norte da área urbana do município. Ao sul da área urbana destacasse os arroios Bolaxa, Senandes e Vieira. Bem como o Saco da Mangueira, caracterizado como uma enseada marginal, semi-fechada e rasa que está ligada ao estuário da Lagoa dos Patos, sua área é composta por 27 km² por águas do estuário e por uma pequena contribuição de água doce dos arroios Viera e Simão, o mesmo está inserido na área onde são realizadas as atividades do parque industrial, atividades econômicas e para o lazer (FAGUNDES, 2013).

Figura 2 – Hidrografia do município do Rio Grande.



Fonte: Elaborado por Karla Mendes; Ítalo Seilhe, organizado por Giovane.

2.2 História de Rio Grande - RS

Os primeiros grupos caçadores, pescadores e coletores que se instalaram nas paisagens do Rio Grande do Sul sofreram com as constantes variações da paisagem e do clima. Essas populações pré-históricas passaram por processos de adaptação devido às modificações e transformações do ambiente desde a última glaciação (KERN *et al.*, 1997).

Após o século XVI os colonizadores europeus passaram a explorar e colonizar o território americano. Isso gerou diversas disputas entre Portugal e Espanha pelas terras colonizadas na América do Sul, especialmente na região sul (hoje Uruguai, Argentina e Brasil). Nesse contexto, foram criados a povoação de Rio Grande de São Pedro (Figura 3) e a Fundação do Presídio (atualmente Cidade do Rio Grande, RS) como estratégia para o processo de dominação portuguesa na região sul e no porto de Rio Grande, RS (TAGLIANI *et al.*, 2000).

Com a chegada da expedição do Brigadeiro José de Silva Paes em 1737 foi realizado a ocupação oficial da área da cidade de Rio Grande. Posterior a esta ocupação, a cidade desencadeou um lento processo de expansão urbana a partir do forte Jesus-Maria-José. Esta expansão foi gradual e lenta, rodeada de percalços devido às condições fisiográficas do ambiente (MARTINS, 2016).

Fazendo referência ao espaço-território e aos processos físicos que atuavam na região, é de grande relevância a descrição feita pelo observador francês, o naturalista *Auguste Saint-Hilaire*. O mesmo menciona as dificuldades encontradas para realizar o percurso de Porto Alegre, RS até Rio Grande, RS devido ao seu isolamento e a ação dos fortes ventos que soterravam as habitações. Segundo *Saint-Hilaire* – “Rio Grande, situada em terreno estéril, no meio de pântanos e areias, ameaçadas constantemente de ser aterrada pelas areias”.

Figura 3 - Demonstração da Vila do Rio Grande.



Fonte: Arquivo Distrital de Évora (1777).

A área urbana da cidade de Rio Grande sofreu inúmeros processos de aterramento e expansão para habitação, atividades comerciais, portuárias e etc. Relatos de observadores pretéritos demonstraram que desde o princípio havia dificuldades imposta pela fisiografia do

sistema ambiental, as quais fomentaram as ações de aterramento em áreas inundáveis entre o porto novo e o centro histórico, áreas no extremo leste da cidade.

Sendo práticas corriqueiras a deposição das areias dragadas em terrenos pantanosos, com o intuito de exterminar os banhados. Esses terrenos atualmente são urbanos, contendo favelas, atividades portuárias e industriais, em área outrora ocupada pela hidrosfera (MARTINS, 2016). Porém em períodos de enchente são essas áreas as mais impactadas.

A oeste do centro histórico também ocorreram ocupações relevantes, a expansão urbana fomentada pela construção da fábrica Rheingantz gerou a construção do bairro Cidade Nova, alterando o território de 175 hectares em 1878 para 458 hectares. As enchentes recorrentes nesse período alimentaram a projeção e construção da canalização do *boulevard* Major Carlos Pinto, no ano de 1927, este liga o canal do Rio Grande ao saco da Mangueira e visa o fluxo da água represada pelos ventos.

Em mapas históricos são registradas diversas áreas inundáveis e do sistema de dunas, os quais foram ocupados de maneira rápida e sem um planejamento urbano eficiente, corroborando para que essas as áreas ainda hoje sofram com recorrentes inundações (MARTINS, 2016). Mesmo com tecnologia, legislação avançada, recursos humanos e financeiros abundantes, as cidades possuem obras de engenharia que não foram planejadas para a ocorrência de eventos extremos, gerando diversos impactos socioambientais.

2.3 Geologia e Geomorfologia

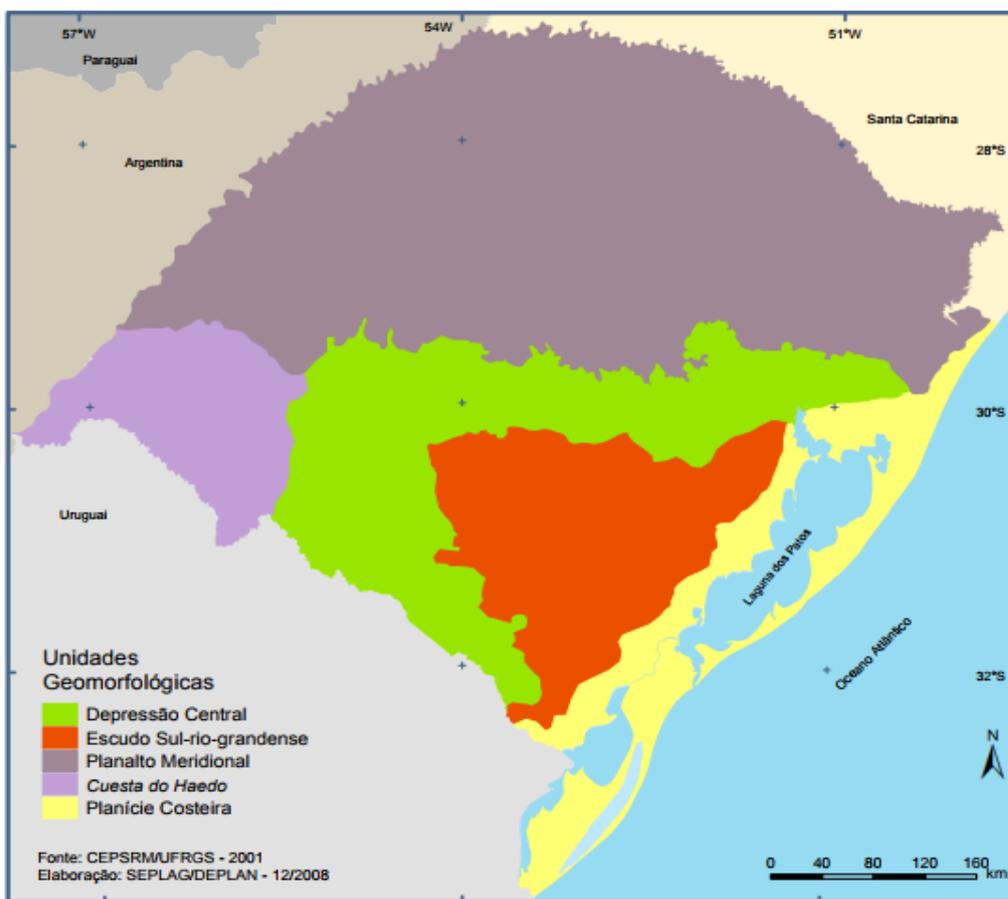
A Planície Costeira do Rio Grande do Sul ocupa uma faixa adjacente ao Oceano Atlântico, com extensão de 650 km e largura média de 70 km. A Bacia sedimentar de Pelotas é um segmento meridional que constitui a margem continental e submersão da planície costeira. Sua formação teve início com os movimentos divergentes das placas tectônicas, que ocorreu desde o cretáceo (VILWOCK e TOMAZELLI, 1995).

As regiões costeiras estão relacionadas com a dinâmica global costeira, sendo esta constituída por dois elementos geológicos, o Embasamento e a Bacia Sedimentar. Em sua formação geológica o Embasamento é fonte de sedimentos e local de deposição da Bacia Sedimentar. As rochas que constituem maior parte do Escudo Sul-Rio Grandense e Uruguiaio são ígneas, mas encontrasse algumas sequências sedimentares e vulcânicas (VILWOCK E TOMAZELLI, 1995).

Segundo Vilwock e Tomazelli (1995), a primeira denominação para a Bacia Sedimentar de Pelotas foi utilizada na década de 1950, definindo a mesma como uma ampla bacia preenchida por sedimentos terciários e quaternários onde estão inseridas em sua superfície o complexo Lagunar (Laguna dos Patos e Mirim), que ocupam a região costeira do Rio Grande do Sul (Figura 4).

A Bacia Sedimentar de Pelotas é considerada uma bacia marginal aberta, que abrange o segmento meridional da margem continental do Brasil até o Sul da Plataforma de Florianópolis. Sua origem está ligada com os acontecimentos geotectônicos a partir do Jurássico.

Figura 4 - Unidades Geomorfológicas do Rio Grande do Sul.



Fonte: Atlas Sócio econômico do Rio Grande do Sul (2002).

O Sistema Depositional de Leques Aluviais desenvolvido a oeste faz uma junção a partir do conjunto de fácies sedimentares que está associada aos ambientes de encostas de terras altas. Este ainda pode ser considerado como parcialmente ativo, visto que suas

atribuições nos processos de transporte até hoje podem ser observadas, mesmo com menor frequência. Foi implantado na parte rasa da Bacia de Pelotas, sofrendo algumas variações climáticas devido a fatores como precipitação, tendo essas variações do clima influenciado no desenvolvimento do sistema deposicional (VILWOCK E TOMAZELLI, 1995).

Segundo Vilwock e Tomazelli (1995), a província costeira evoluiu a leste através de quatro sistemas deposicionais sendo estes:

Sistema Depositional Laguna Barreira I: é considerado o sistema mais antigo, seu desenvolvimento ocorreu como resultado de um primeiro evento regressivo pleistocênico, de acordo com estudos mais detalhados sua idade absoluta é estimada em 400ka.

Sistema Depositional Laguna Barreira II: é uma evolução como resultado de um segundo evento transgressivo-regressivo pleistocênico, sua idade absoluta é estimada em 345ka. Corresponde ao primeiro estágio na evolução “Barreira Múltipla Complexa”, é representado pelas Lagoas dos Patos e Mirim, suas faceias mais preservadas estão compreendidas ao norte.

Sistema Depositional Laguna Barreira III: foi associado a um terceiro evento transgressivo-regressivo pleistocênico, é representado pelo Sistema Lagunar Patos-Mirim, possuindo uma importância significativa na evolução geológica da Província Costeira do Rio Grande do sul. Seus depósitos se estendem ao longo de toda a Planície Costeira, na porção setentrional da planície, os depósitos se encontram na base de escarpa da Serra Geral, já na porção média entre Osório e Rio Grande os depósitos ocorreram como uma barreira, isolando do continente um importante sistema lagunar, que hoje é ocupado pela Lagoa dos Patos.

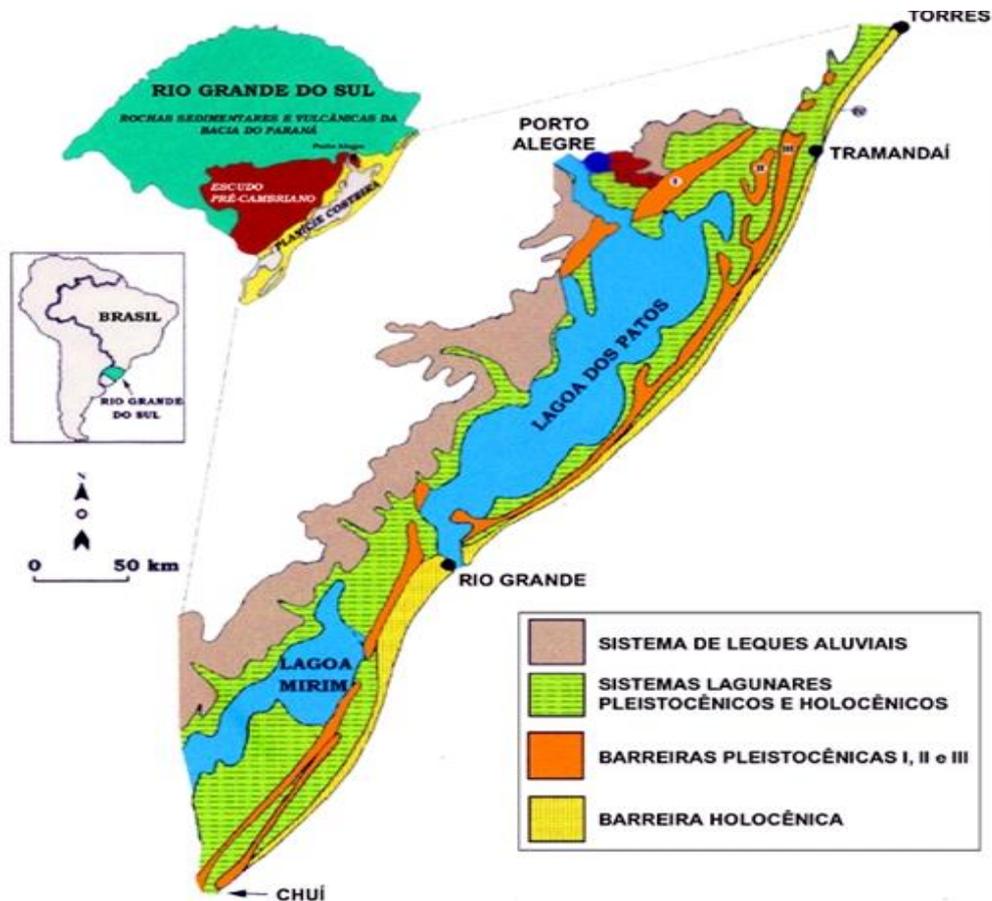
Na porção meridional entre Rio Grande, RS e Chuí (Uruguai) se estendem de maneira contínua ancorados na Barreira II e mais ao Sul isolando um estreito lagunar que nasce e corre o arroio Chuí.

Sistema Depositional Laguna Barreira IV: é considerado o mais recente sistema deposicional, se desenvolveu no Holoceno após uma última grande transgressão pós-glacial. Seu campo de dunas é bem desenvolvido, se estendendo praticamente por toda a linha de costa, seus sedimentos praias compõem areias quartzosas de granulação fina a muito fina e em determinados locais apresenta elevadas concentrações de minerais pesados.

O espaço situado entre a Barreira IV e a Barreira III, denominado de retro barreira evoluiu após ser ocupado por grandes corpos lagunares, para um complexo de ambientes deposicionais, dentre os quais são destacados a Lago Mangueira, Lagoa do Peixe entre outros

que fazem parte desse conjunto. A parte norte do sistema possui inúmeras particularidades mostrando que o ambiente é constituído por um conjunto complexo de ambientes e subambientes deposicionais (Figura 5).

Figura 5 - Sistemas deposicionais da Planície Costeira do RS, adaptado de Tomazelli & Villvock (2002).



Fonte: Atlas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo da Bacia Marítima de Pelotas (2016).

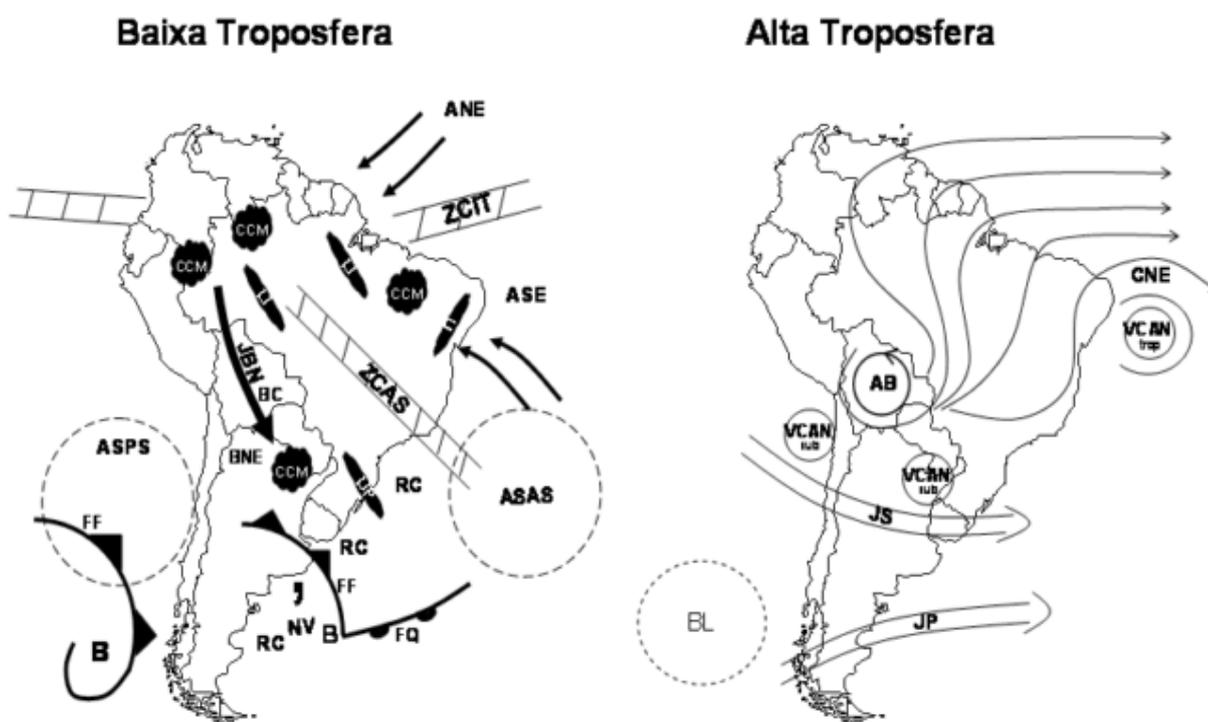
2.4 Caracterização do Clima

O clima da região Sul do Brasil apresenta características de temperatura e precipitação que sofrem influência da localização geográfica (latitude) e a configuração da circulação atmosférica subtropical. O clima é marcado por grandes contrastes no ciclo sazonal de temperatura, com temperaturas médias de -3°C e 18°C no inverno e superior a 22°C no verão. Fatores que influenciam a temperatura são a radiação solar, a topografia, a advecção do ar e as correntes marítimas, visto que contribuem para que o calor e a umidade se desloquem dos trópicos em direção ao sul (CAVALCANTI *et al.*, 2009). A precipitação média ao sul varia

entre 1.299 mm e 1500mm e ao norte 1500 mm a 1800 mm com maior intensidade de chuvas ao nordeste do estado.

Grimm (2009) destaca que o clima no Sul do Brasil abrange diferentes características, e faz uma associação entre os sistemas atmosféricos (Figura 6), como pressão atmosférica, umidade e ventos. O anticiclone semi-estacionário do Atlântico Sul e do Pacífico Sul, compõe os sistemas de alta pressão atmosférica que estão associados à circulação atmosférica. No entanto a alta do Atlântico Sul tem significativa contribuição no regime de ventos de superfície, bem como o centro de baixa pressão que está intermitente no noroeste da Argentina, Paraguai e Sul da Bolívia.

Figura 6 - Sistemas atmosféricos que atuam na América do Sul em altos e baixos níveis.



Fonte: REBOITA *et al.*, 2010 adaptado de Satyamurty *et al.*, 1998.

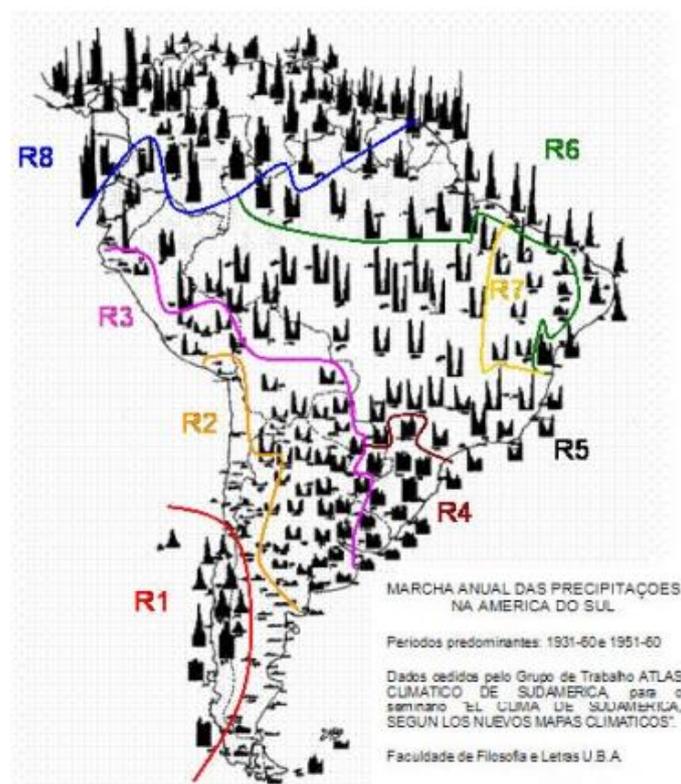
Este sistema de baixa pressão atmosférica forma-se a partir da junção de ventos de oeste em altos níveis, da região dos Andes e do aquecimento da superfície. No verão este centro tende a ficar maior e mais profundo, sendo reconhecido como Baixa do Chaco. Este irá

atuar no fortalecimento do gradiente zonal subtropical de pressão e a partir dele o componente meridional do vento, contribuindo com ventos de noroeste em baixos níveis (GRIMM, 2009).

Além disso, a climatologia da Região Sul é afetada por sistemas sinóticos e sub-sinóticos que estão associados à circulação global e circulações da América do Sul. Entre as circulações atmosféricas de grande escala estão inseridos os bloqueios atmosféricos, os quais refletem as interrupções e irregularidade da propagação dos sistemas sinóticos que possibilitam algumas alterações no clima com períodos de estiagem, chuvas excessivas e até enchentes (KRUSCHE *et al.*, 2002).

Os sistemas frontais têm sua formação em latitude de 60° sul, onde atuam os cinturões de baixa pressão atmosférica. Seu deslocamento para latitudes menores causam o contato entre massas de ar frio e quente, ocasionando a subida do ar quente e úmido, formando as chuvas frontais. O deslocamento das massas de ar quente está associado à circulação da célula de Hadley e aos jatos de baixos níveis, sendo que o ar quente é o que contém mais umidade e alimenta com água as convergências frontais e térmicas (MELO *et al.*, 2009). Abaixo a representação dos ciclos anuais da precipitação na América do Sul (Figura 7).

Figura 7 - Regionalização dos diferentes ciclos anuais de precipitação na América do Sul.



Fonte: REBOITA *et al.*, 2010.

2.5 Precipitações no Rio Grande do Sul

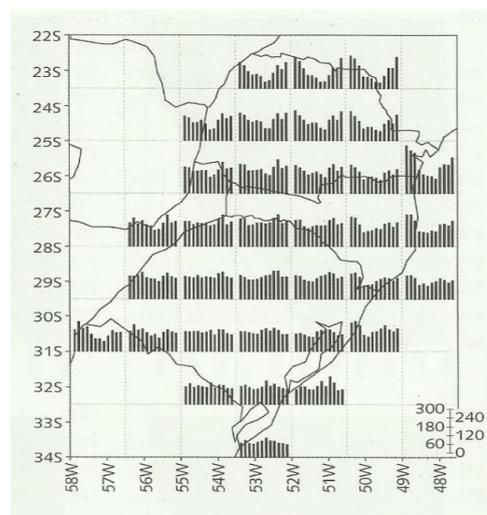
Os principais fatores associados às precipitações no Rio Grande do Sul são os sistemas frontais, ciclones e frentes frias, CCMs, sistemas ciclônicos em níveis médios, bloqueios atmosféricos e ainda sistemas de circulação local como brisas marítimas e terrestres (REBOITA *et al*, 2010).

As frentes frias ganham destaque porque contribuem na formação das precipitações durante todo ano através da convergência frontal, ou mesmo quando estão afastados, pois favorecem a formação de linhas de instabilidade pré-frontais. Além disso, existem duas regiões ciclogênicas, compostas pela costa do Uruguai e pelo extremo sul do Brasil, formados pelos sistemas ciclônicos de superfície após a passagem das frentes (REBOITA *etal*, 2010).

Segundo Grimm (2009), na maior parte do Rio Grande do Sul os regimes de precipitação (Figura 8), são considerados bimodais ou trimodais, estes regimes são característicos da região de transição entre climas tropicais e subtropicais. No sudeste do Rio Grande do Sul, as chuvas são mais intensas no inverno, configurando um regime de latitudes médias, onde as precipitações geralmente ocorrem pela passagem de sistemas frontais e associados a ciclones extratropicais migratórios.

No Rio Grande do Sul a maior concentração de chuvas (Figura 8), ocorre no trimestre de agosto, setembro e outubro, com exceção do sudeste, que ocorre o maior índice de precipitação nos meses de julho, agosto e setembro.

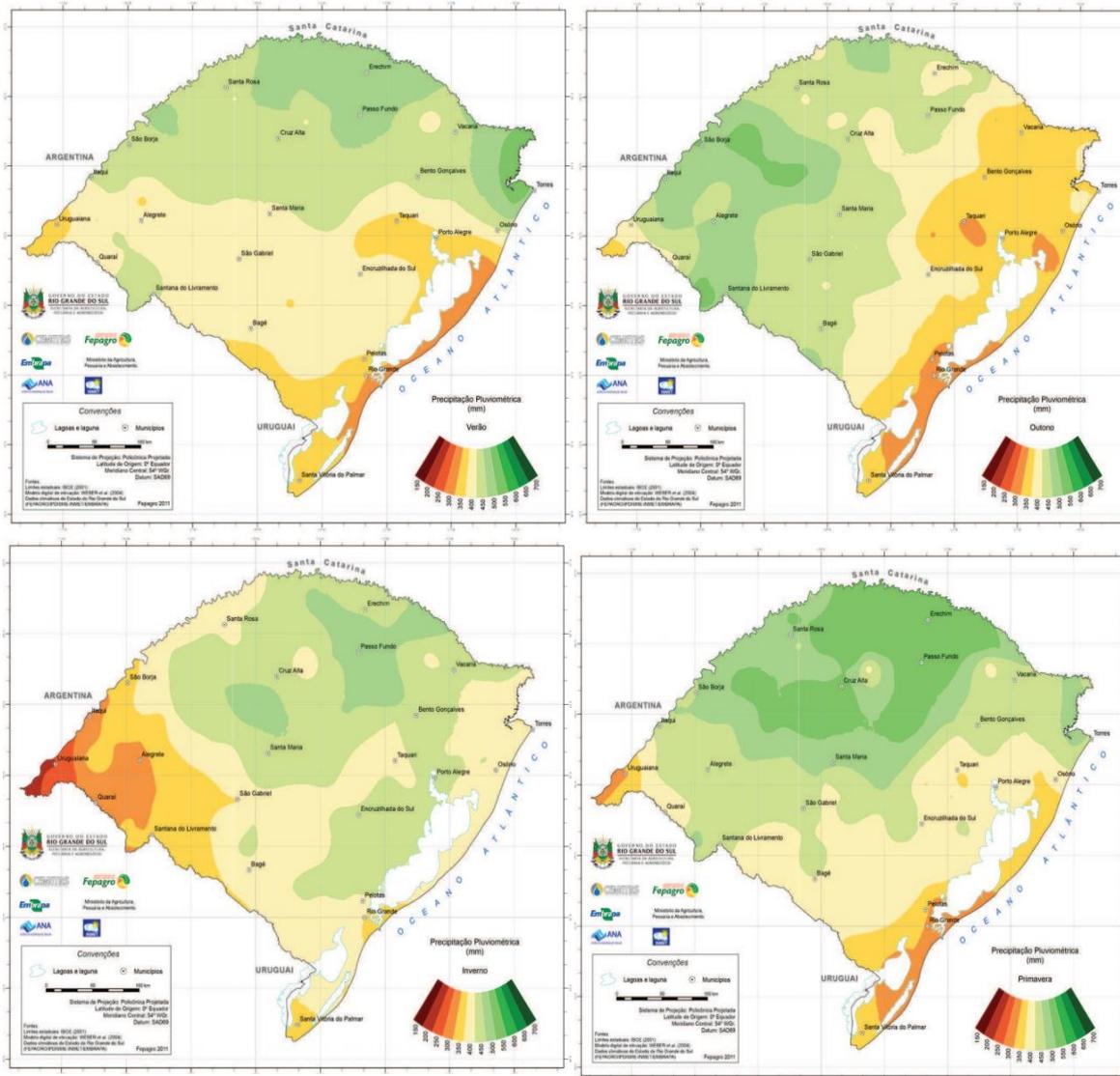
Figura 8 - Regimes de precipitação do Sul.



Fonte: Modificado de GRIMM, 2009.

A seguir são apresentados os principais mecanismos atmosféricos que configuram o clima no Rio Grande do Sul (Figura 9).

Figura 9 - Mapas sazonais de precipitação pluviométrica do Rio Grande do Sul. Estações A)Verão B)Outono C)Inverno D) Primavera



Fonte: MATZENAUER (2011).

2.6 Sistemas atmosféricos

Serão apresentados os principais sistemas atmosféricos que geram as precipitações em latitudes médias.

2.6.1 Sistemas Frontais

As variações e modificações do tempo em latitudes médias estão associadas a sistemas frontais (Figura 10), porque são mecanismos de equilíbrio térmico e de massa entre massas de ar quentes e úmidas e frias e secas (BARRY e CHORLEY, 2013).

O termo “frente” foi proposto durante a segunda Guerra Mundial por Vilhem Bjerknes, meteorologista que trabalhava na Noruega (BARRY e CHORLEY, 2013). Denomina-se de frontogênese o processo de origem das frentes e frontólise o processo de dissipação, sendo que no modelo clássico Norueguês, as frentes podem ser classificadas como: frente fria, frente quente, frente estacionária e frente oclusa (ANDRADE, K. M, 2005).

Frente fria ocorre quando uma massa de ar frio encontra uma massa de ar quente, a massa de ar quente é menos densa e vai ascender na atmosfera. Elas podem ser mais reconhecidas durante o inverno, na baixa troposfera e pelo contraste das massas de ar, bem como é possível observar a passagem da frente na média e na alta troposfera. Quando ocorre a passagem do sistema frontal são perceptíveis às mudanças atmosféricas através da queda da temperatura e da umidade, o aumento da pressão atmosférica e a mudança da direção do vento (ANDRADE, K. M, 2005).

Denomina-se frente quente o processo em que, uma massa de ar quente avança sobre uma massa de ar frio, sendo marcada pela formação de nuvens extensas. Frente oclusa ocorre, quando a frente fria encontra-se com a frente quente, este processo acontece devido ao avanço mais rápido da frente fria, com relação à frente quente. Na frente estacionária o sistema frontal tende a ser bloqueado pela orografia ou por um padrão específico de tempo, esse processo irá retardar a passagem da frente fria ou quente.

Estes sistemas em geral se deslocam de sudeste para nordeste, no inverno as massas de ar de altas latitudes que podem causar friagens em latitudes tropicais, bem como no verão as frentes frias podem avançar para norte e causam intensas precipitações ao interagir com o ar úmido da região tropical. Desta maneira os sistemas frontais se estabelecem na costa brasileira favorecendo períodos de chuvas intensas e prolongadas nos estados entre São Paulo e Bahia (CAVALCANTI e KOUSKY, 2009).

A zona de máxima gradiente horizontal é usada para identificação das frentes frias, fazendo uso da Pressão ao Nível do Mar (PNM), temperatura e ventos. Na cidade de Porto Alegre - RS, as passagens de frentes frias obtiveram boa correspondência com a observação

de temperaturas menores, aumento do PNM, ventos Sul e ocorrência de precipitação (CAVALCANTI e KOUSKY, 2009).

Figura 10 - Análise Sinótica/CPTEC. Quarta- feira (04/04/2018).



Fonte: Modificado de CPETC/INPE.

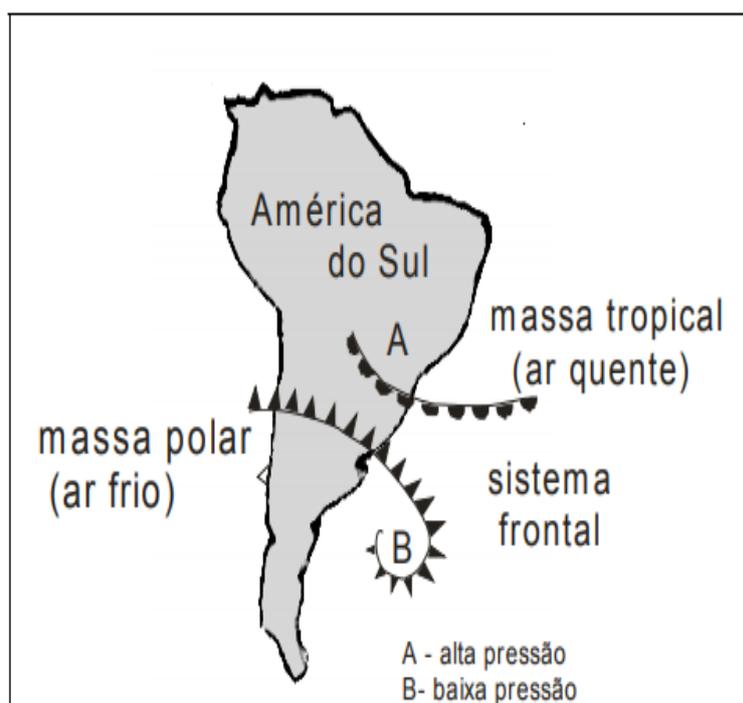
Segundo Cavalcanti e Kousky (2009), as frentes frias são mais frequentes e mais numerosas no Hemisfério Sul (HS) nos meses de maio a outubro, entre 25°S e 30°S. Porém no verão as mesmas ocorrem com menor periodicidade nos meses de dezembro a fevereiro, sendo considerada rara a passagem desses sistemas no verão a norte de 20°S.

De acordo com dados observacionais da variabilidade interanual do número de frentes frias que passaram pelo HS no período de 1980 a 2002, foram identificados no Sul do Brasil e Uruguai, a passagem de 60 à 70 frentes por ano, na região Sudeste o valor variou entre 50 e 60 frentes em grande parte dos anos, já no centro-oeste a passagem das frentes ficou entre 35 e 45 na maioria dos anos. Esses sistemas (frentes frias) são significativos para a distribuição da precipitação na América do Sul, sendo apontados em observações realizadas na região Sudeste do Brasil que as precipitações são mais volumosas ao longo e atrás da frente, essas observações foram efetuadas em período de três meses (CAVALCANTI e KOUSKY, 2009).

O Regime de chuvas na região Sul do Brasil está em sua maioria associado à passagem de frentes frias, estas são reguladoras das precipitações e temperatura, sendo que no inverno é intensificada a passagem desses sistemas. As frentes frias são frequentes durante todo ano na região Sul, porém sua atuação é mais significativa de junho a setembro, sendo assim a passagem de sistemas frontais (Figura 11) em conjunto com sua frequente associação com os ciclones extratropicais, caracterizam um regime de precipitação de latitudes médias (GONÇALVES, 2015).

De acordo com Krusche *et al.*, (2002), a região Sul chega a ser atingida por cerca de 6 a 7 sistemas frontais por mês, sendo no inverno o período mais frequente das frentes frias. Já a cidade de Rio Grande, RS demonstra entrada de 16 sistemas frontais por estação, com precipitação frontal. No período que compreende os anos de 1993 a 1996 detectou se a passagem de 194 frentes frias pela cidade.

Figura 11 - Representação do sistema frontal.



Fonte: KOBAYAMA *et al.*, (2006).

2.6.2 Complexos Convectivos de Mesoescala e Linhas de Instabilidade

Os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) são definidos “como um aglomerado de nuvens convectivas de formas variadas, podendo ser parcialmente estratiforme e parcialmente convectiva, apresentando área de precipitação contínua”, já os Complexos

Convectivos de Mesoescala (CCM) fazem parte do grupo dos Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) que integram as Linhas de Instabilidade (LI). As LI possuem formato de linhas, os CCMs possuem formato circular e com formato irregular estão os SCM (MORAES, 2014).

Os Complexos Convectivos de Mesoescala são reconhecidos por ter sua formação em um intervalo de tempo entre 6 h e 12h, a partir de nuvens Cumulonimbus que apresentam formato circular e crescimento vertical, além de serem espessas e frias. Os mesmos tem formação na baixa troposfera que irão promover a convergência de umidade e ar, o qual propiciará convecções profundas e precipitações intensas (MORAES, 2016).

O modelo de evolução do sistema está dividido em seis etapas: estágio pré CCM, estágio inicial do CCM, estágio decréscimo do CCM, estágio maduro do CCM, estágio de decaimento do CCM, dissipação e estágio pós CCM (MORAES, 2014).

Na América do Sul esses sistemas costumam ser mais duradouros, com intervalo de tempo entre 10 h e 20h, a região de maior atuação no HS está ligada ao norte da Argentina, Paraguai e Sul do Brasil, ocorrendo o fenômeno com maior frequência nas estações sazonais primavera-verão. Diversos autores identificaram as estações de transição (primavera e outono) como a principal época para o desenvolvimento do sistema (MORAES, 2016).

No Rio Grande do Sul este sistema está normalmente associado a períodos quentes (primavera, verão e outono) onde o calor é fator que geralmente causa a instabilidade. Ascensão do ar por aquecimento do solo é o fator que contribui para a formação dos complexos convectivos de mesoescala, esses complexos podem ocorrer em forma de precipitações intensas de curta duração, principalmente na estação sazonal (verão), como também podem ocorrer complexos convectivos maiores no interior da Argentina e no Oeste e Norte do Rio Grande do Sul (MORAES, 2014).

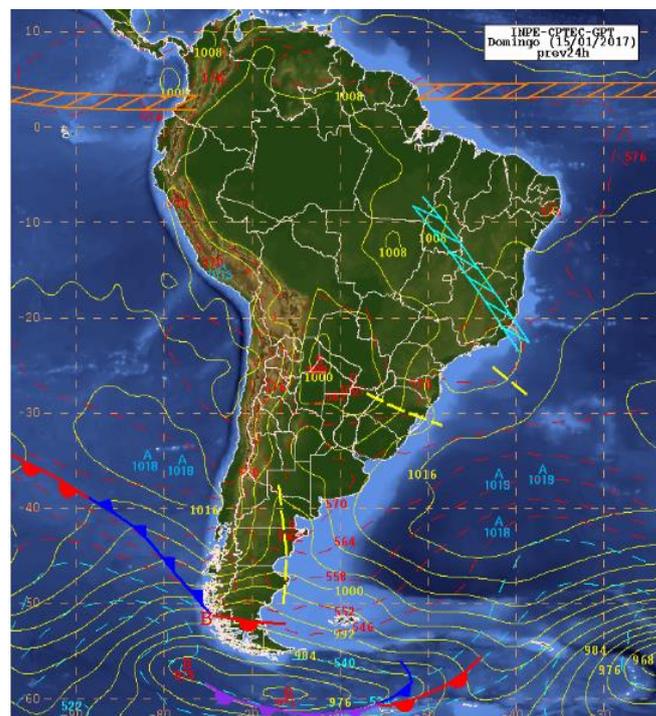
As Linhas de Instabilidade (Figura 12) são células convectivas contínuas ou aproximadamente contínuas com aproximadamente de 50 km de extensão e 10 km de largura e ocorrem em latitudes subtropicais e médias. As LIs se desenvolvem na América do Sul com maior regularidade na costa norte-nordeste, porém as mesmas também podem ocorrer no interior do continente e provocar chuvas intensas (COHEN *et al.*, 2009).

A formação das LIs consiste basicamente de nuvens Cumulonimbus em conjunto com uma nuvem do tipo bigorna que normalmente produz grandes níveis de precipitações e movimentos descendentes. Esses sistemas foram associados à brisa marítima e ao

aquecimento do continente visto que ocorrem em função da variabilidade diurna, onde a partir de observações realizadas foi possível identificar sua máxima intensidade convectiva no final da tarde, sendo assim as LIs constituem um dos mais significativos sistemas atmosféricos de transporte de calor para a alta troposfera (COHEN *et al.*, 2009).

As linhas de instabilidade são associação com os fortes ventos em altos níveis, sendo que nos centros divergentes (cavado), o ar e a umidade da superfície tendem a subir para suprir essa carência de ar, formando as LIs.

Figura 12 - Análise Sinótica/CPETC. Domingo. (15/01/2017).



Fonte: CPTEC/ INPE.

2.6.3 Ciclones extratropicais

O desenvolvimento e formação de ciclones, na atmosfera são denominados de ciclogênese, estes sistemas atuam no transporte de calor e umidade. Ciclones extratropicais são considerados circulações atmosféricas de baixa pressão, formadas a partir da convergência de massas de ar, propagando-se em conjunto com as frentes polares, essas perturbações ocorrem em geral no oceano Atlântico próximo à costa catarinense, o ciclone extratropical pode causar, ressacas, chuvas e ventos fortes (KOBAYAMA, 2006).

Segundo Reis *et. al.*, (2014) várias forças atuam no sistema durante o ciclo de vida de um ciclone, entre elas destaca-se a força de Coriolis que promove a circulação horária no HS para o deslocamento do sistema e da força friccional, a qual se destina a força do gradiente de pressão, já a força friccional guarda energia e diminui a intensidade dos ventos.

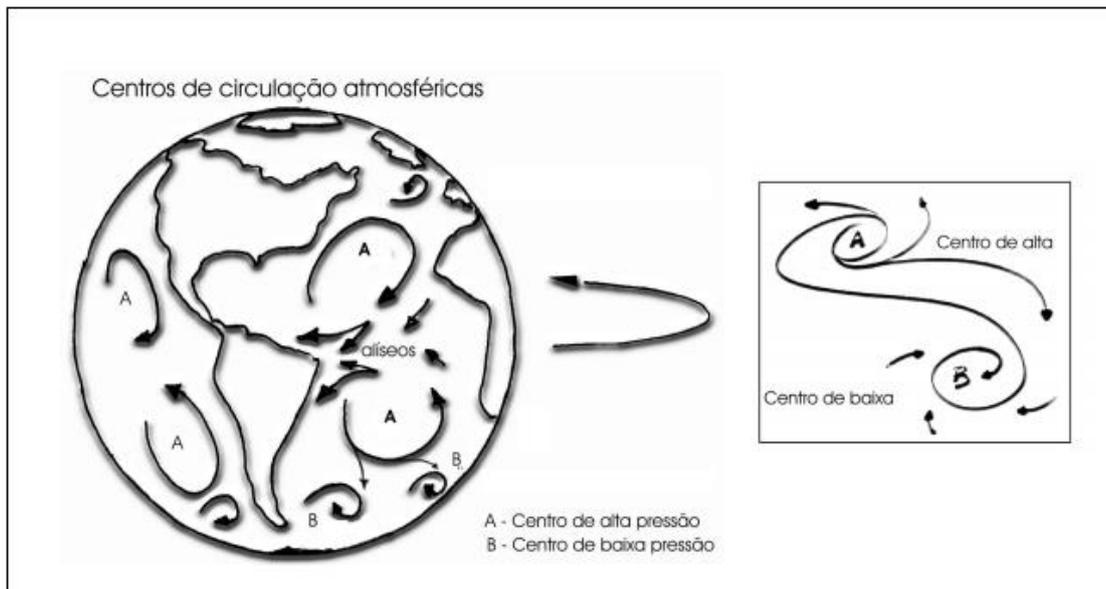
Gan e Seluchi (2009) a partir de considerações de autores como Charney (1947) e Eady (1949) entendem que a instabilidade baroclínica de uma corrente com cisalhamento vertical do vento, serve para explicar a variabilidade atmosférica na região extratropical durante alguns dias, possibilitando o desenvolvimento e deslocamento de ciclones e anticiclones os quais denotam essa variabilidade (Figura 13).

Segundo Reboita, (2004) os ciclones na América do Sul tendem a se desenvolver mais no inverno e menos no verão, estando compreendidos na região 25°S e 40°S, bem como os anticiclones aparecem em maior quantidade no verão na região 36°S, no inverno 32°S e nas estações de transição 34°S. Ressaltando que a ciclogênese apresenta maior frequência no inverno, sendo o mês de maio com maior ocorrência do fenômeno e dezembro com menor frequência.

Segundo Krusche, *et. al.*, (2002) ciclones (Figura 14) são fenômenos que causam ventos intensos, por decorrência de vórtices ciclônicos que se propagam desde o Oceano Pacífico, de modo que os mesmos acabam levando a ciclogênese em superfície e podem influenciar o tempo na região costeira. A ação dos ciclones sobre o oceano associada com os anticiclones sobre o continente sul-americano irá criar uma pista de ventos de grande extensão, com ventos do componente Sul. Porém a ciclogênese que ocorre entre 15°S e 30°S e entre 90°W e 30°W acontece devido a influência de diferentes fatores, pois além dos vórtices ciclônicos a instabilidade do jato subtropical é recorrente na intensificação destes sistemas, em conjunto com instabilização induzidos pelo calor latente liberado nos sistemas convectivos.

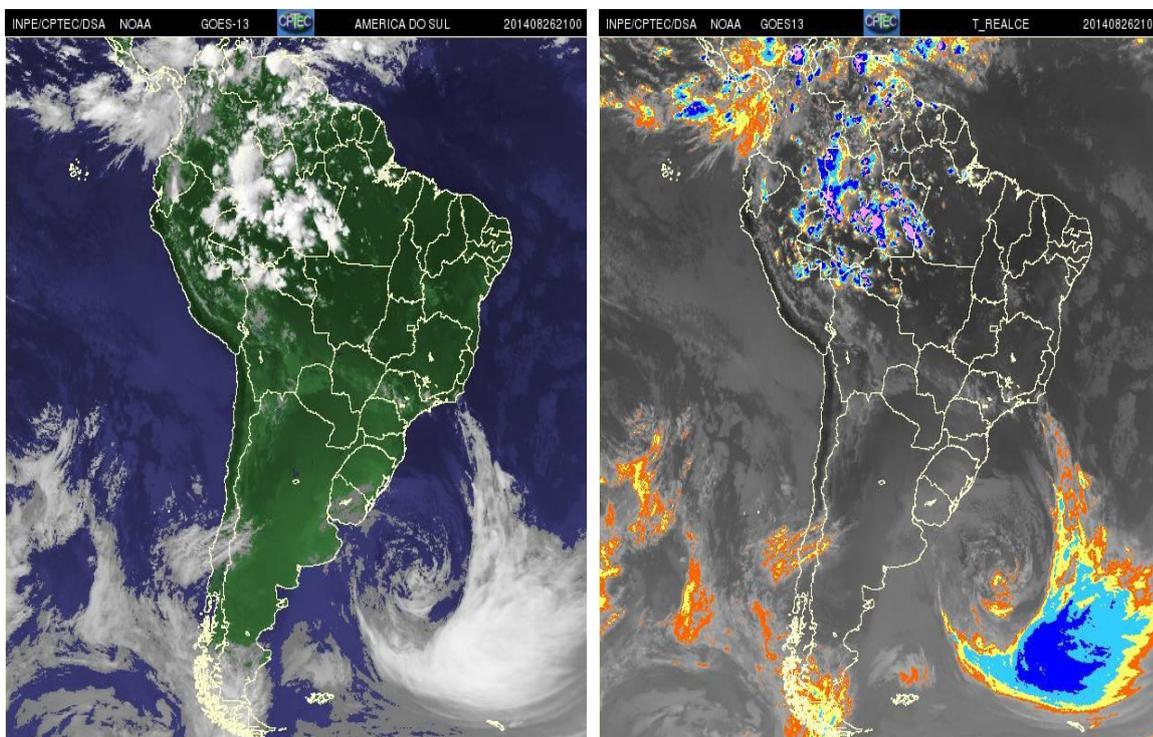
A costa sul do Brasil apresenta grandes chances de ocorrência de ciclogênese visto que durante o ano há possibilidade de passagem de até 30 ciclogênese no outono e inverno, indicando a passagem da ordem de 2 por semana no inverno. Destaca-se que os ciclones extratropicais marítimos que ocorrem no sul do Brasil, que em geral são seguidos por fortes ventos, dependendo do tempo e da força dos ventos sobre o oceano adjacente, podem gerar um aumento no nível do mar, este fenômeno é denominado de maré meteorológica (KRUSCHE, *et. al.*, 2002).

Figura 13 - Representação do ciclone e anticiclone.



Fonte: KOBAYAMA *et al.*, (2006).

Figura 14 - Imagem do Satélite GOES 13 E GOES 13 T_Realce 21:00 (GTM)26/08/2014.



Fonte: CPTEC/INPE.

2.6.4 Anticiclones

O anticiclone apresenta variações sazonais, no verão o centro de alta pressão é mais forte, e no inverno é mais fraco por se deslocar para menores latitudes. Este centro de divergência é constituído principalmente por fontes de massas tropicais marítimas e estão associadas às temperaturas elevadas e ar úmido, pois a intensa evaporação marítima e a circulação atmosférica do Sul do Brasil distribuem espacialmente a energia e umidade proveniente de latitudes tropicais.

Já os sistemas anticiclônicos que tem origem subpolar propagam das altas para as baixas latitudes. Apresentam grande mobilidade e transportam massas de ar de origem subpolar, que no início de seu deslocamento, são estáveis e geralmente apresentam baixas temperaturas e baixa umidade (KRUSCHE *et al.*, 2002).

2.7 Variabilidade Climática

Variabilidade climática pode ser definida como uma variação das condições climáticas em torno da média climatológica. A observação de longos períodos permite uma melhor interpretação sobre a variabilidade do clima, que resulta das flutuações das condições meteorológicas e por extensão das condições climáticas em torno da média climatológica.

A variabilidade climática está associada a diferentes escalas temporais, sendo que as variações das precipitações no Brasil ocorrem predominantemente na escala interanual. Esta variabilidade climática é representada pelo ENOS, suas fases de oscilação são denominadas de El Niño (fase quente) e La Niña (fase fria). O modo de variabilidade de baixa frequência é reconhecido como variabilidade decenal, a qual tem sua ocorrência em latitudes médias e tropicais do Pacífico (KAYANO *et al.*, 2009).

2.7.1 Bloqueios Atmosféricos

Bloqueios atmosféricos são caracterizados por sistemas de alta pressão quase estacionários. Uma situação de bloqueio atmosférico ocorre em latitudes médias estando associado ao escoamento zonal atmosférico em altos níveis, que é caracterizado por ser de oeste e deslocar os sistemas sinóticos para leste. Quando ocorrem condições de bloqueio terá a presença de um anticiclone quase estacionário em torno de 45°S que interrompe este escoamento, nesta situação a Corrente de Jato é dividida em dois ramos ocorrendo quebra do

padrão zonal que irá impedir o deslocamento de oeste dos sistemas sinóticos, forçando um escoamento meridional (AMBRIZZI *et al.*, 2009).

O Escoamento bloqueado está associado a um padrão de circulação, que em algumas condições caracterizam o bloqueio por um anticiclone do escoamento de oeste em latitudes médias, o bloqueio além de satisfazer os critérios que representam em escoamento bloqueado apresentam um caráter persistente. No HS a duração dos bloqueios atmosféricos é menor que no HN e estão localizados em latitudes mais baixas e sua orografia é reduzida (AMBRIZZI *et al.*, 2009).

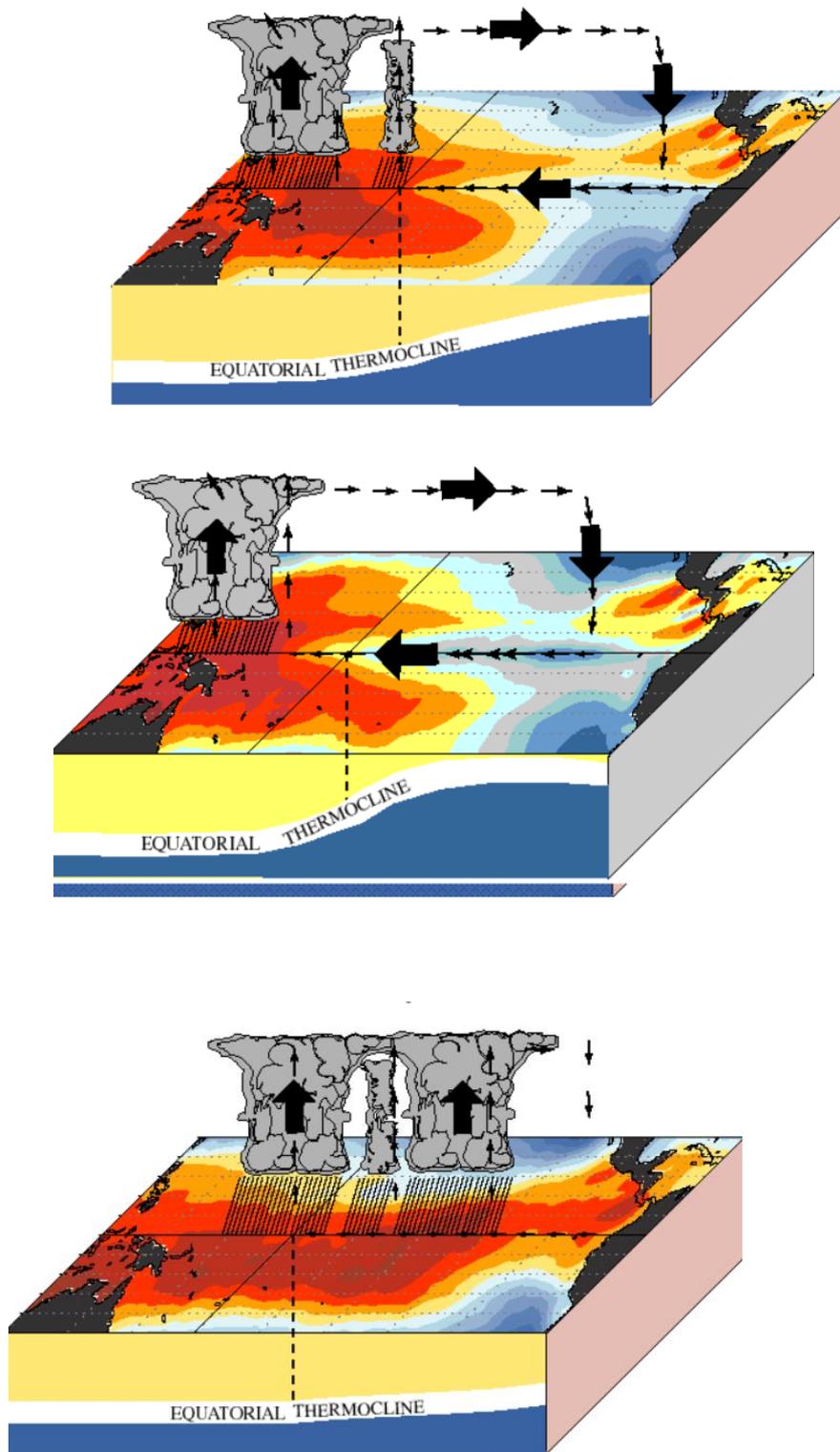
2.7.2 El Niño e La Niña

O Fenômeno El Niño – Oscilação Sul (ENOS) é conhecido pela combinação de dois mecanismos, a interação oceano-atmosfera. O componente oceânico é representado pelo El Niño já o componente atmosférico é representado pela Oscilação Sul. Este fenômeno tende a influenciar a variabilidade do tempo ou clima em diversas regiões do mundo, pois os mesmos afetam a circulação atmosférica regional e global, corroborando para a formação de anomalias climáticas em várias partes do mundo (BERLATO e FONTANA, 2003).

Em condição de El Niño (Figura 15) é verificado um extremo de variação, a partir do aquecimento das águas em paralelo com a diminuição da pressão atmosférica no Pacífico Leste. Os ventos alísios (leste) diminuem, podendo até inverter seu sentido, soprando de oeste, acarretando um enfraquecimento da Célula de Circulação Equatorial, ou seja, no El Niño o IOS é considerado negativo e a anomalia de TSM do Pacífico equatorial é positiva (quente) (BERLATO e FONTANA, 2003).

Em condição de La Niña (Figura 15) verifica-se um resfriamento das águas e uma elevação na pressão atmosférica na região leste do Pacífico, esta fase é intitulada de fase fria. A uma intensificação da Célula de Circulação Equatorial, e um fortalecimento das condições normais do oceano e da atmosfera. Os alísios irão soprar com maior força, ocasionando aumento da condução de águas quentes para oeste e elevação de águas frias no Pacífico Leste. Na La Niña o IOS é positivo e a anomalia de TSM é negativa (frio) (BERLATO e FONTANA, 2003).

Figura 15 – Neutro, La Niña e El Niño.



Fonte: <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/enso-tech.php>.

O componente atmosférico denominado de Oscilação Sul, ocorre devido à relação inversa que existe entre a pressão atmosférica de leste e oeste no Oceano Pacífico, se no leste a pressão é a alta, no oeste a pressão será baixa. A partir das conexões realizadas pelo meteorologista Vilhelm Bjerknes, foi estabelecida a relação entre o El Niño e a Oscilação Sul, Esta relação deve-se ao fato da atmosfera atuar de maneira mecânica sobre a superfície do oceano, alterando a temperatura do mesmo e causando mudanças nos campos de pressão e ventos (BERLATO e FONTANA, 2003).

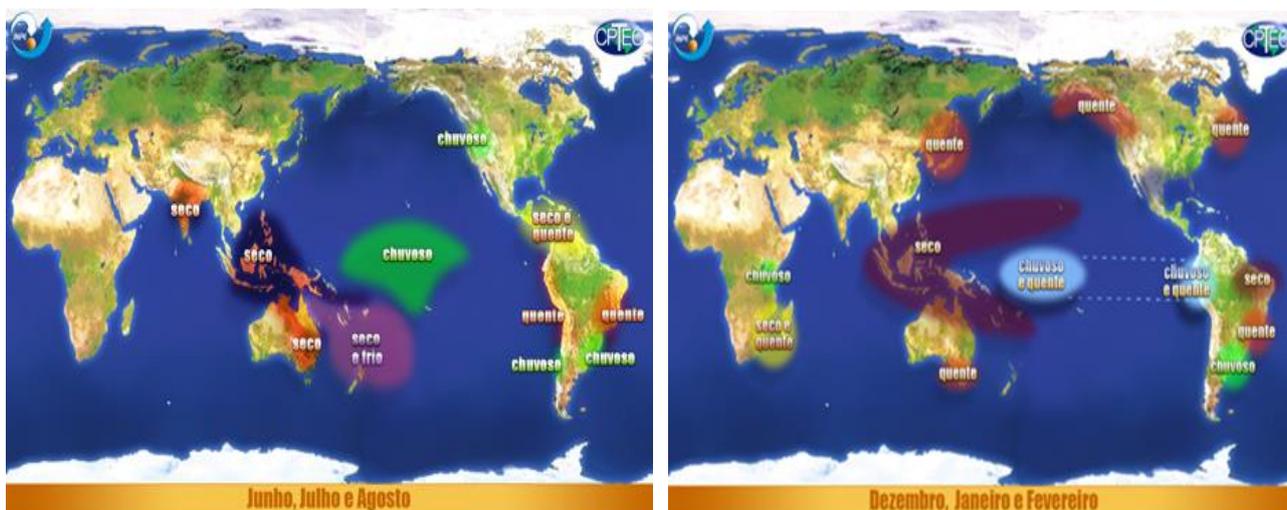
Na análise entre as precipitações no Sul e no Sudeste do Brasil e a temperatura do Oceano Pacífico e do Oceano Atlântico, foi identificado que o fenômeno ENOS tem fundamental importância na variabilidade interanual das chuvas, já relativo à sua influência na variabilidade das precipitações sazonais, os oceanos tem maior influência no verão, sendo que o Oceano Pacífico atua mais no outono e no inverno e o Oceano Atlântico na primavera (BERLATO e FONTANA, 2003).

Segundo Flach e Grimm (2010) o fenômeno ENOS influencia o clima na América do Sul, agindo como agente principal da variabilidade interanual. Os autores ainda destacam a influência do fenômeno na precipitação do continente, visto que o impacto na precipitação ocorre através das perturbações na célula de Walker em conjunto com a propagação anômala de ondas de Rossby do Pacífico Leste para o sudeste da América do Sul, a frequência de eventos extremos de precipitação e vazão dos rios também são impactadas pelos ENOS.

Episódios relacionados aos El Niño e La Niña podem acarretar perturbações no clima global, gerando flutuações na temperatura e precipitações em regiões tropicais e extratropicais do globo (Figura 16).

Figura 16 - Efeitos Globais ENOS.





Fonte: CPTEC/INPE.

O Rio Grande do Sul pertence a uma região que apresenta influência do El Niño e da La Niña. Com base nas pesquisas realizadas por Fontana e Berlato (1997), identificou-se que em anos de El Niño as precipitações são superiores à média mensal em quase todos os meses do ano, porém há um destaque para as estações da primavera e verão, principalmente nos meses de outubro e novembro. Em anos de La Niña foram observados chuvas abaixo da média em grande parte dos meses, com o maior registro de anomalia negativa também nas estações da primavera e verão, com destaque para os meses de outubro e novembro (BERLATO E FONTANA, 2003).

De acordo com as considerações de Berlato e Fontana (2003), novembro é o mês de maior impacto do fenômeno El Niño e La Niña na precipitação do Estado, as observações apontaram ainda que o El Niño de 1941 provocou grandes enchentes, devido às intensas precipitações acima de 700 mm que ocorreram nos meses de abril e maio, o El Niño de 1982/1983 também registrou grandes enchentes por toda região Sul, bem como o El Niño de 1997/1998 foi considerado um evento de grande intensidade, estando associado a uma das maiores anomalias meteorológicas que aconteceram no globo.

2.7.3 Influências Austrais

O Hemisfério Sul destaca-se no cenário atual de mudanças e variabilidade climática, por possuir um papel importante na circulação atmosférica (altas e médias latitudes) em

resposta a presença do vórtice circumpolar antártico (VC), que possui a maior massa de gelo da atualidade. Associação realizada entre vórtice circumpolar, o SAM (*Southern Annular Mode*), realizam o controle da variação da extensão do gelo marinho, seguido pela elevação da cobertura de gelo marinho na área leste da Antártica (AQUINO, 2012).

A Onda Circumpolar Antártica tem atuação direta na propagação de anomalias do clima global, levando em consideração também seu importante papel no controle da variabilidade interanual da temperatura e aumento do gelo marinho, onde foi observado pelos autores a anomalia da retração do gelo marinho e diminuição do mesmo ao longo do período de 1988- 1991(AQUINO, 2012).

Aquino (2012), ainda ressalta que existem poucos estudos relacionados às teleconexões da Antártica com Rio Grande de Sul, mas aponta alguns resultados obtidos a partir de análises realizadas em 2004 e 2005. O autor destaca no ano de 2004 os desvios negativos de temperatura média mensal, já o ano de 2005 destacou-se por temperaturas com + 0,5 C ° acima da climatologia, apresentando sete meses com temperaturas acima da média e cinco meses com temperatura abaixo da média.

2.8 Índices Climáticos

O Índice de Oscilação Sul (SOI), é o indicador mais antigo que caracteriza o estado ENOS, o mesmo é utilizado para definir a diferença de pressão atmosférica ao nível do mar no Taiti (18°S) e em Darwin (12°S), localizados um pouco ao Sul do Equador.

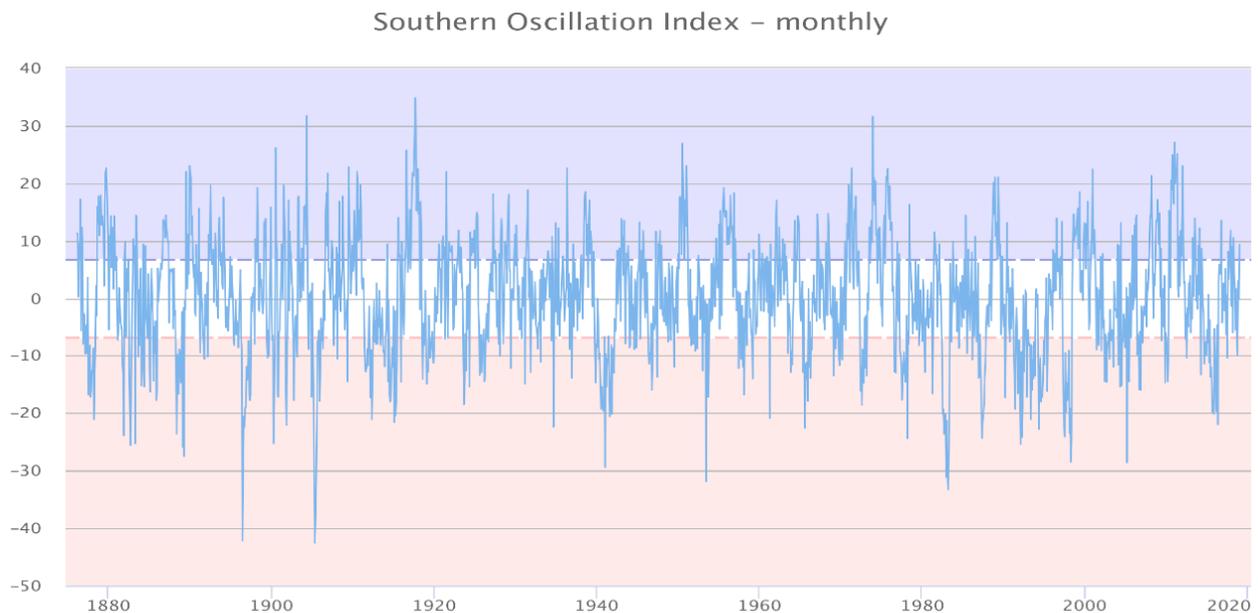
O cálculo do SOI¹é realizado a partir da diferença das médias mensais da pressão média padronizada do nível do mar em cada estação. Valores negativos (-) que sejam sustentados pelo SOI abaixo de - 7 indicam episódios de El Niño e valores positivos (+) que sejam também sustentados pelo SOI acima de + 7 indicam La Niña. O SOI (Figura 17), pode ser calculado de diferentes formas, o método utilizado pelo Departamento Australiano de Meteorologia para calcular o SOI de Troup (anomalia padronizada) da diferença do Taiti e Darwin (BUREAU of METEOROLOGY, 2002). O SOI em geral é calculado mensalmente e seus valores são calculados em períodos mais longos. Calculado a partir da equação:

¹Para mais informações consultar:<http://www.bom.gov.au/climate/glossary/soi.shtml>.

$$SOI = 10 \frac{Pdiff - Pdiffav}{SD(Pdiff)} \quad \text{Eq. 1}$$

onde, Pdiff é a média do Taiti, Pdiffav é a média de longo prazo de Pdiff e SD é o desvio padrão de Pdiff.

Figura 17 - Índice de Oscilação Sul.



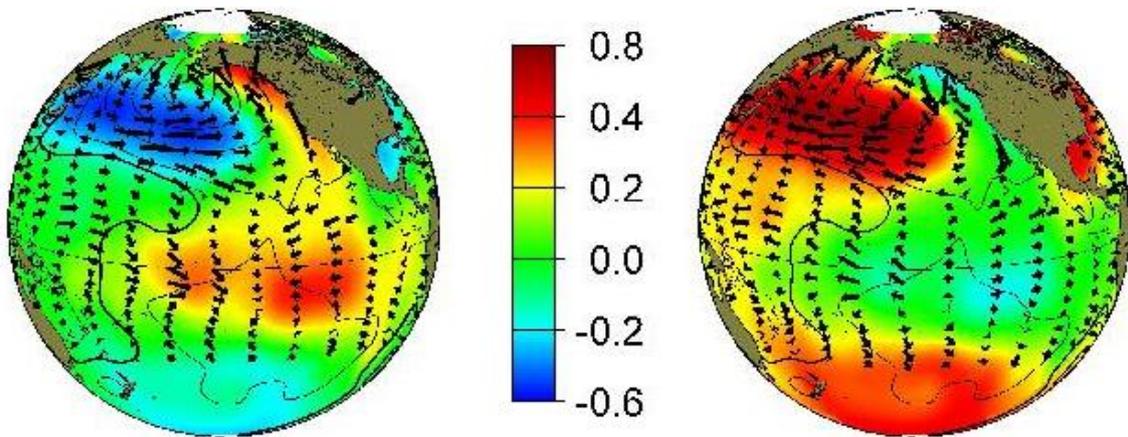
© Copyright Commonwealth of Australia 2019, Bureau of Meteorology

Fonte: <http://www.bom.gov.au/climate/current/soi2.shtml>.

A origem do nome Oscilação Decadal do Pacífico (Figura 18 e 19) é oriunda do biólogo Stave Hare da Universidade de Washington (1996) e um conjunto com outros pesquisadores, ao quais descobriram que a variação de peixes no Pacífico Norte tinha um padrão decadal (REBELLO, 2005).

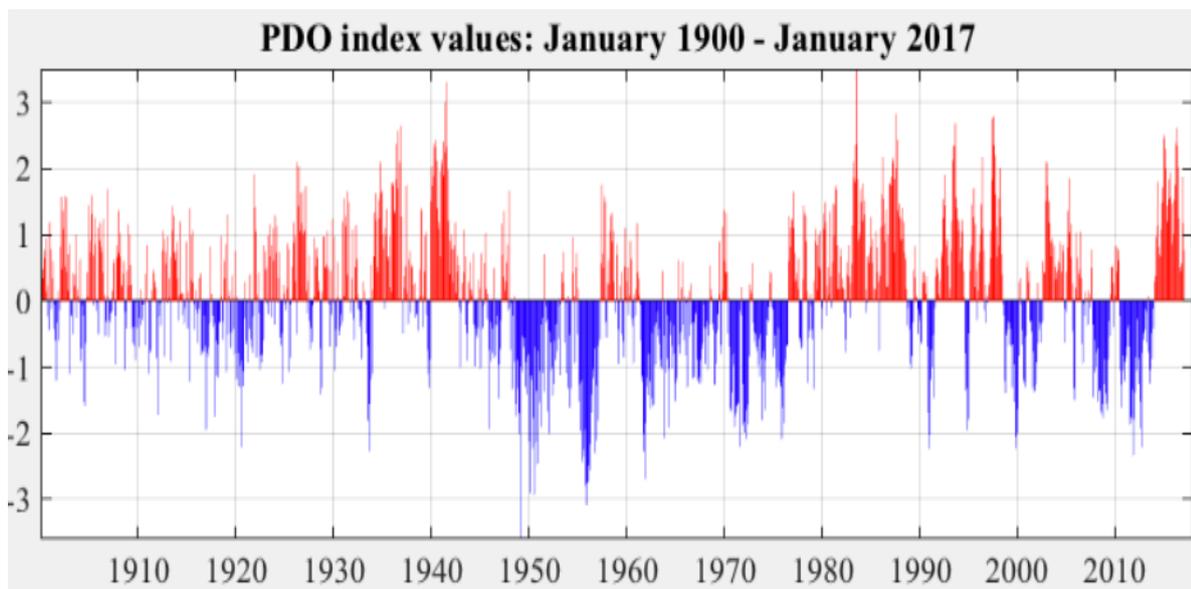
A Oscilação Decadal do Pacífico (PDO) é descrita como um padrão de longa duração semelhante ao El Niño sendo marcada por variações generalizadas que ocorrem na Bacia do Pacífico Tropical. A fase quente configura-se, quando a região tropical do Oceano Pacífico encontra-se com uma anomalia positiva de TSM e ao mesmo tempo fora dos trópicos ocorre anomalia negativa. Na fase fria é verificada uma anomalia negativa da TSM na região dos trópicos do Oceano Pacífico e anomalia de TSM positiva fora dos trópicos (OMENA, 2010).

Figura 18 - Área do Índice PDO



Fonte: <http://research.jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest.txt>.

Figura 19 - Índice PDO 1900/2017.



Fonte: <http://research.jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest.txt>.

O modo anular do Sul (Figura 20), conhecido como índice (SAM), ocorre devido à diferença de pressão zonal entre as latitudes de 40°S e 65°S. O qual representa o modelo em “gangorra” atmosférica entre as latitudes média e alta do hemisfério Sul e é considerado como o principal modo de variabilidade da circulação atmosférica do hemisfério sul em escalas de

tempo mensais e interanuais (<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/marshall-southern-annular-mode-sam-index-station-based>).

A variabilidade do SAM (Figura 21) pode acarretar impactos nas temperaturas da Antártida, na circulação oceânica austral. O índice é baseado em observações em estações meteorológicas, que remonta de 1957, usando registros de seis estações em aproximadamente 65°S e seis estações em 45°S. (<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/marshall-southern-annular-mode-sam-index-station-based>).

Figura 20 - Localização das 12 estações usadas para calcular o índice SAM baseado em observações.

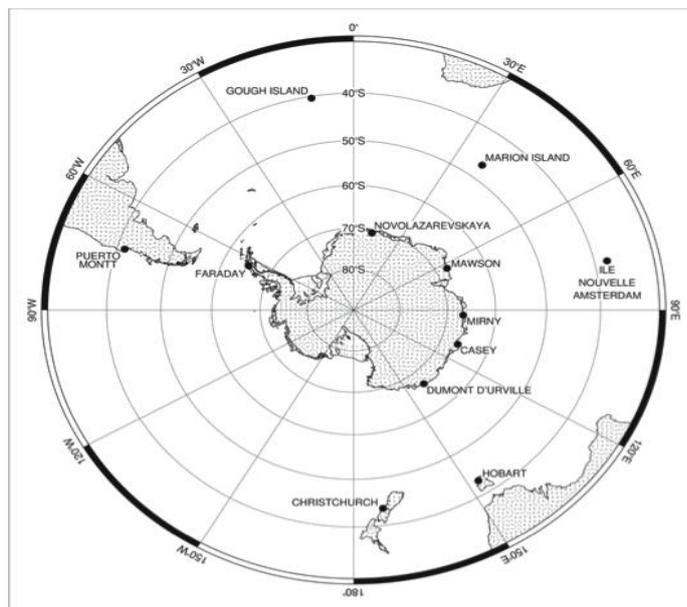
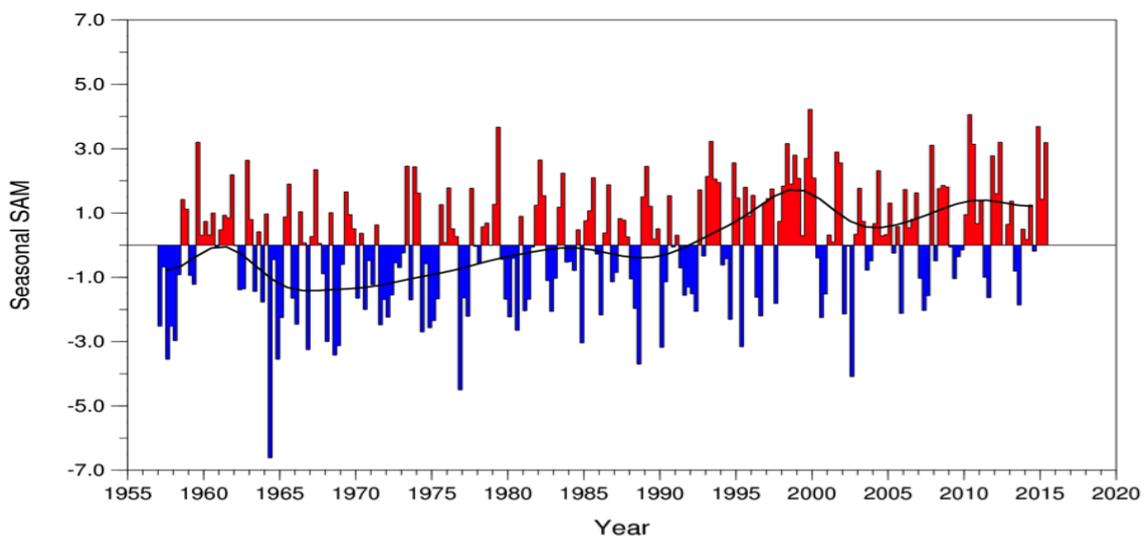


Figura 21 - Valores sazonais do índice SAM baseado em observações.



Fonte: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/marshall-southern-annular-mode-sam-index-station-based>.

2.9 Eventos Extremos

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), evento extremo é definido como um “evento raro que ocorre em determinado lugar e período do ano”.

A definição da palavra “raro” possui variações, mas um evento extremo normalmente é considerado raro quanto a ocorrência for menor que o percentil 10 ou 90 em função da probabilidade de ocorrência. Por definição, as características do conceito eventos extremos podem variar muito de lugar para lugar em um sentido absoluto. Eventos extremos simples não podem ser atribuídos diretamente às mudanças climáticas antropogênicas, por que o esse evento pode ocorrer por causas naturais. Quando um padrão de condições extremas persiste ao longo do tempo como, por exemplo, durante uma estação sazonal, essas condições podem ser classificadas como evento extremo, especialmente quando os valores médios ou totais compõem ou totalizam o extremo por exemplo, secas ou precipitações excessivas durante uma estação sazonal (IPCC, 2014).

Segundo MARENGO (2009), trabalhar com mudanças climáticas é trabalhar com o inesperado, porém notou-se que a partir da segunda metade do século XX, como resultado das mudanças climáticas, ocorreu um aumento na intensificação e frequência desses eventos climáticos extremos. As projeções para os próximos anos, indicam mais umidade e maior número de processos dinâmicos acontecendo na atmosfera, ventos extremos, bem como outros fenômenos tendem a aumentar sua frequência e intensidade.

Os eventos extremos podem ser referidos como amplos desvios de um estado climático moderado que possui algum potencial de destruição: como chuvas intensas, vendavais, furacões, secas intensas e prolongadas entre outros fenômenos. Eventos extremos podem ocorrer em curto prazo, estando ligados a meteorologia e em médio prazo ligado ao clima, sendo estes fenômenos relacionados também com a variabilidade climática.

Esta variabilidade causa impactos negativos sobre as populações, visto que os extremos de precipitação tendem a ser alterados devido às mudanças do clima, levando a aumentar a variabilidade das precipitações, a frequência e intensidade das enchentes e secas (MARENGO, 2009).

O Brasil vem sofrendo impactos com a variabilidade do clima e eventos extremos, sendo detectado desde os anos 50 na região sudeste o aumento da frequência de eventos extremos de precipitação. Identificou-se ainda no estado de São Paulo a relação interanual das precipitações com eventos de El Niño e La Niña (MARENGO, 2009).

Alguns cenários mostram que no sudeste da América do Sul houve uma intensificação nos episódios de chuvas excessivas e com maior frequência de dias, além das mesmas estarem em condições mais violentas, porém não foi identificado modificações no total de precipitado. Relativos à frequência e intensidade, estudos relacionam os extremos de chuva do Sudeste e do Sul aos padrões das Zona de Convergência do Atlântico Sul ou do Jato de Baixos Níveis da América do Sul (DIAS *et al.*, 2009).

No Brasil os extremos de chuvas aparecem com maior frequência nos estados de São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul, através de estudos identificaram-se tendências positivas de chuvas intensas e muito intensas concentrada em curto tempo, o que seriam indicadores de chuvas que provocaram enchentes de 1961 a 2000 (CAVALCANTI *et al.*, 2009).

No Brasil alguns eventos extremos que ocorreram em larga escala, como o furacão Catarina, que atingiu a região Sul do país, causou diversas mortes e perdas econômicas, bem como a região Sudeste da Amazônia também foi atingida com déficits pluviométricos gerando períodos mais secos (MARENGO, 2009).

Para relacionar os impactos ocasionados pelos eventos extremos climáticos e meteorológicos, será realizada a seguir uma breve conceituação de alguns termos que são utilizados, para a compreensão dos cenários climáticos extremos.

Impacto: é utilizado principalmente para fazer referência aos efeitos das condições climáticas e eventos climáticos extremos e das alterações climáticas nos sistemas natural e humano. Geralmente, os impactos referem-se a efeitos nas vidas, meios de subsistência, saúde, ecossistemas, economias, sociedades, culturas, serviços e infraestruturas devido à interação de alterações climáticas ou eventos climáticos perigosos que ocorram num período de tempo específico e a vulnerabilidade de uma sociedade ou sistemas expostos(IPCC, 2014).

Risco de Desastres: É a probabilidade de alterações severas no funcionamento normal de uma comunidade ou sociedade devido a eventos físicos ou perigosos que interagem com condições sociais vulneráveis, levando a danos humanos, materiais, efeitos econômicos ou ambientais durante um período de tempo

específico e que exigem resposta emergencial imediata para satisfazer necessidades humanas e que podem exigir suporte externo para recuperação (IPCC, 2014).

Vulnerabilidade: A propensão ou predisposição para ser afetado (a) negativamente. A vulnerabilidade abrange uma variedade de conceitos e elementos, incluindo sensibilidade ou suscetibilidade a danos ou falta de capacidade para enfrentar ou se adaptar (IPCC, 2014).

Alguns termos são utilizados com maior frequência para denominar eventos extremos, principalmente relacionados aos regimes de precipitação, são eles enchentes, inundações, enxurradas, alagamentos, estiagem e seca.

Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (2013), enxurrada pode ter mais de uma definição, o mesmo cita diferentes autores tais como, Pinheiro (2007), o qual entende que enchentes que acontecem em bacias de pequeno porte podem ser chamadas de enxurradas já se ocorrem em áreas urbanas podem ser tratadas como enchentes urbanas, Amaral e Gutjahr (2011), classificam enxurrada como escoamento superficial concentrado e com grande energia de deslocamento, podendo estar ou não associado as áreas de domínio fluvial.

Nakama e Manfredini (2007), fazem uso dos termos escoamento superficial concentrado e enxurrada como semelhantes e por fim Montz e Grunfest (2002) que trazem uma relação das características de enxurrada que é aceita por grande parte das definições de outros autores, tais características definem que enxurrada, acontece de maneira rápida com tempo curto para alerta, traz prejuízos econômicos e sociais, sua área de ocorrência é pequena e geralmente está associada a outros eventos.

Inundação é classificada de acordo com a Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), como “Submersão de áreas fora dos limites graduais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície (BRASIL, 2012, p. 73)”. Entende-se ainda que inundações normalmente são intensificadas por variáveis climatológicas, sendo elas relacionadas com períodos contínuos de chuvas intensas e prolongadas, em áreas urbanas, os impactos são mais intensos devido a ação antrópica (CEPED–UFSC, 2013).

Tucci (1999) utiliza como definição para inundação em áreas urbanas, como sendo um fenômeno natural que pode ser agravado pela ação antrópica. Enchentes são definidas, como fenômenos de caráter temporário, que se referem a vazões volumosas em curso de água, onde

eventualmente ocorrem inundações dos seus terrenos. Segundo Oliveira (2010) ou Castro(1998) alagamentos são definidos como água acumulada em ruas e perímetro urbano decorrente de chuvas intensas e fortes ventos, ocorre normalmente em cidades com problemas de drenagens, em especial quando estes sistemas não conseguem suprir a demanda de vazão de água das chuvas (CEPED–UFSC, 2013).

Estiagem está ligada a diminuição das precipitações pluviométricas, neste evento a uma redução dos períodos chuvosos previsto para determinada época, no qual o solo perde sua umidade sem conseguir repor. Para determinado período ser considerado como estiagem, é necessário que ocorra um atraso das chuvas superior a quinze dias e a média mensal seja inferior a 60%. Já para o fenômeno da seca, segundo os metereologistas são considerados períodos de estiagem prolongada, sua característica principal é a redução das reservas hídricas, sendo entendido como uma forma crônica de estiagem, a seca pode ser classificada ainda como: climatológica, hidrológica e edáfica (CEPED-UFSC, 2013).

Os impactos que ocorrem devido aos eventos extremos de chuva, na maior parte das ocasiões são enquadrados na categoria de desastres naturais extremos ou desastres naturais, esta disposição vai depender da sua magnitude e extensão espacial. Nas cidades costeiras esses eventos extremos podem ocorrer em decorrência da ação de marés meteorológicas (ressacas e sobre elevações), já inundações costeiras estão associadas à atuação da passagem de ciclones extratropicais e sistemas frontais, que contribuem para elevados níveis de precipitações e conseqüentemente inundações e alagamentos (PBMC, 2016).

Dentre os inúmeros impactos nas áreas costeiras diante das mudanças climáticas, destacam-se: erosão costeira, aumento da frequência, intensidade e magnitude das inundações costeiras, perda de terrenos urbanizados e naturais, perda e ecossistemas (linha de costa oceânica e estuariana/lagunar), aumento da vulnerabilidade, salinização das águas superficiais e aquíferos, comprometimento de atividades econômicas, turísticas, beleza cênica entre outros (PBMC, 2016).

No Brasil inúmeros portos podem estar em risco, devido as suas instalações de transporte que na maioria das vezes estão localizadas ao longo da orla, como exemplos, é possível citar o porto de Rio Grande, Itajaí, Santos, Rio de Janeiro, entre outros. O crescimento urbano em áreas costeiras também é um fator que afeta a habilidade natural dos sistemas costeiros de responder aos eventos extremos do clima, tornando assim estas áreas

mais vulneráveis, cidades portuárias e com grandes instalações industriais são particularmente mais vulneráveis a inundações (PBMC, 2016).

Fagundes (2013) aponta diversos episódios de eventos climáticos na cidade do Rio Grande, sendo estes, registros de vendavais, inundações (Figura 22), estiagem entre outros. Dentre os principais eventos, destacou-se a enchente de 1941, a qual na época deixou mais de 4mil pessoas desabrigadas. Foram registrados ainda em 2009 e 2011, diversos alagamentos na cidade devido a fortes precipitações e também por consequência dos ventos do quadrante Sul que causam o represamento da água na lagoa em determinadas situações, além do registro de fortes ventos em 2010.

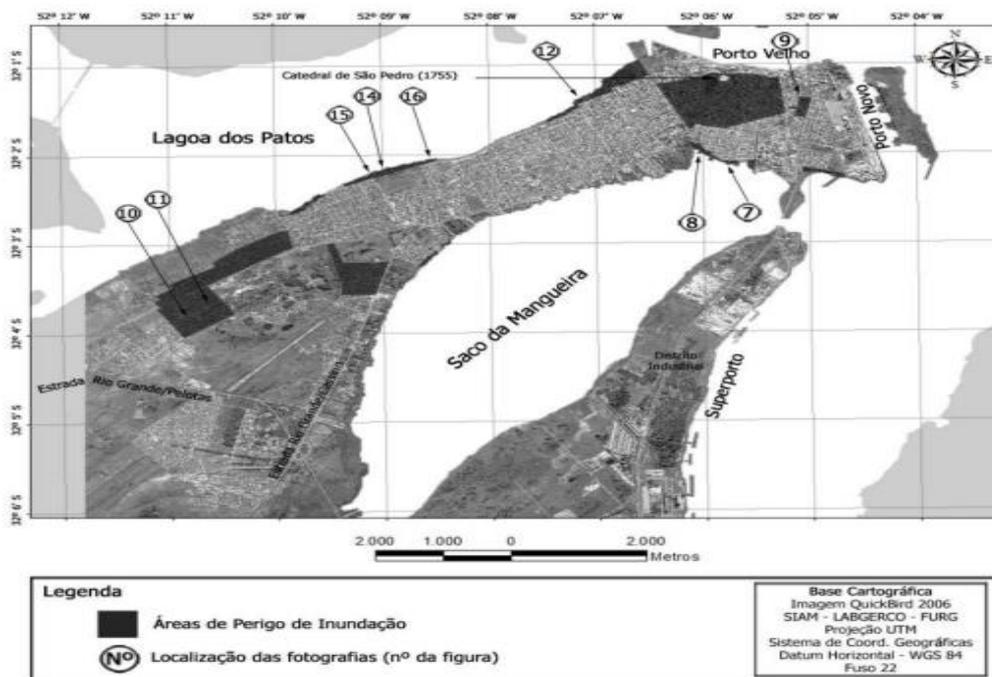
No estudo realizado por Ferreira e Robaina (2010), identificou-se alguns dos fatores que contribuem para inundações na cidade do Rio Grande, segundo o autor o crescimento urbano desordenado, os avanços e aterramento de áreas inadequadas para ocupação urbana sobre banhados e marismas contribuem para esses eventos, além da cidade ser margeada pela lagoa dos patos.

Foi apontado pelos mesmos que nos últimos 29 anos ocorreram 60 eventos que impactaram a cidade, sendo que dos eventos registrados, sete foram decretados situação de Emergência pela prefeitura e um evento em 2001 foi decretado situação de Calamidade Pública, a cidade ainda sofre com alguns eventos de inundação que não são derivados de chuvas locais, pois a mesma está sobre a ação dos ventos do quadrante Sul que causam empilhamento das águas costeiras sobre o litoral e uma depressão do estuário, essa situação ocorre quando precipitam grandes volumes das bacias hidrográficas e o fluxo de vazante é represado, elevando o volume da lagoa (FAGUNDES, 2013).

Ocorre que a cidade está situada sobre o pontal arenoso, que despertou grandes interesses econômicos ligados à funcionalidade portuária, como consequência a cidade projetou seu crescimento sobre os corpos hídricos, utilizando grandes quantidades de aterros sobre áreas alagáveis, o fato de o relevo ser extremamente plano dificulta em algumas situações o escoamento das águas pluviais, acarretando inundações por alagamento (Figura 23 e 24). Os eventos por inundação da cidade (distribuição espacial) ocorrem por problema de micro e macro drenagem urbana, na margem norte ocorre maior situação de vulnerabilidade social e ocupações irregulares, na margem sul os eventos acontecem em sua maioria no Saco da Mangueira (FERREIRA e ROBAINA, 2010).

Na margem leste são consideradas vulneráveis as áreas que constituem os aterros do bairro Getúlio Vargas e as instalações do Porto Novo, bem como no centro da cidade as habitações são inundadas devido aos problemas de micro e macro drenagem e nos bairros mais carentes os problemas se agravam devido à falta de infraestrutura, tratamento de esgoto e assentamento de residências em áreas inapropriadas, como dunas e banhados (FAGUNDES, 2013).

Figura 22 - Mapa das áreas de perigo à inundação no sítio urbano de Rio Grande.



Fonte: FERREIRA e ROBAINA (2010).

Figura 23 - Vista para oeste na avenida paralela à margem que passa em frente ao Jockey Clube, durante a inundação de 8 de outubro.



Fonte: FERREIRA e ROBAINA (2010).

Figura 24 - Rua Saturnino de Brito a partir da margem.



Fonte: FERREIRA E ROBAINA, (2010).

2.10 Cenários Futuros e Gestão dos Recursos

Os cenários climáticos futuros indicam que por volta de 2020 as chuvas tenderão a aumentar no oeste da Amazônia e diminuir no Sudeste e Sul do Brasil, para o ano de 2030 as projeções indicam uma diminuição na quantidade do total de chuvas e no número de dias úmidos na América do Sul, porém existem tendências para o aumento das precipitações, com chuvas mais intensas para o oeste da Amazônia, sudeste e sul do Brasil, bem como o aumento de dias secos (MARENGO, 2009).

O relatório de extremos do IPCC (2012) sugere que irão ocorrer inúmeras irregularidades nas precipitações da América do Sul, indicando que os extremos de chuvas podem ser mais intensos na Bacia da Prata. As tendências propostas pelo estudo realizado pelo PDMC (2016) através da modelagem computacional indicaram incertezas sobre o comportamento do clima e principalmente quando se refere ao ciclo hidrológico no HS. Para a região Sul e Sudeste do Brasil, o aumento dos extremos de precipitação pode ser associado à elevação do número de eventos de chuvas intensas, deslizamentos e enchentes, segundo estimativas mais de 96, 2 milhões de brasileiros serão atingidos pelos extremos do clima entre 1991 e 2012, a região da Amazônia é considerada a área com maior exposição à variabilidade do clima, podendo ter o risco de uma aridização e subsequente desertificação.

Grande parte das cidades da América Latina concentram nas áreas costeiras e continentais um alto número de moradias de populações carentes, estas populações estão na maioria das vezes expostas a altos riscos relativos à atuação de eventos extremos do clima. De maneira geral a prefeitura não tem mecanismos suficientes para enfrentar os impactos de eventos de natureza extrema, tais como maré meteorológica, ondas, ressacas, ciclones, tempestades entre outros fenômenos. Em virtude dos impactos causados pela ação de enxurradas, enchentes costeiras, entre outros é necessário que ocorra ações de adaptação frente a estes impactos, propiciando aprendizagem e aumento da resiliência do ambiente natural das populações (PBMC, 2016).

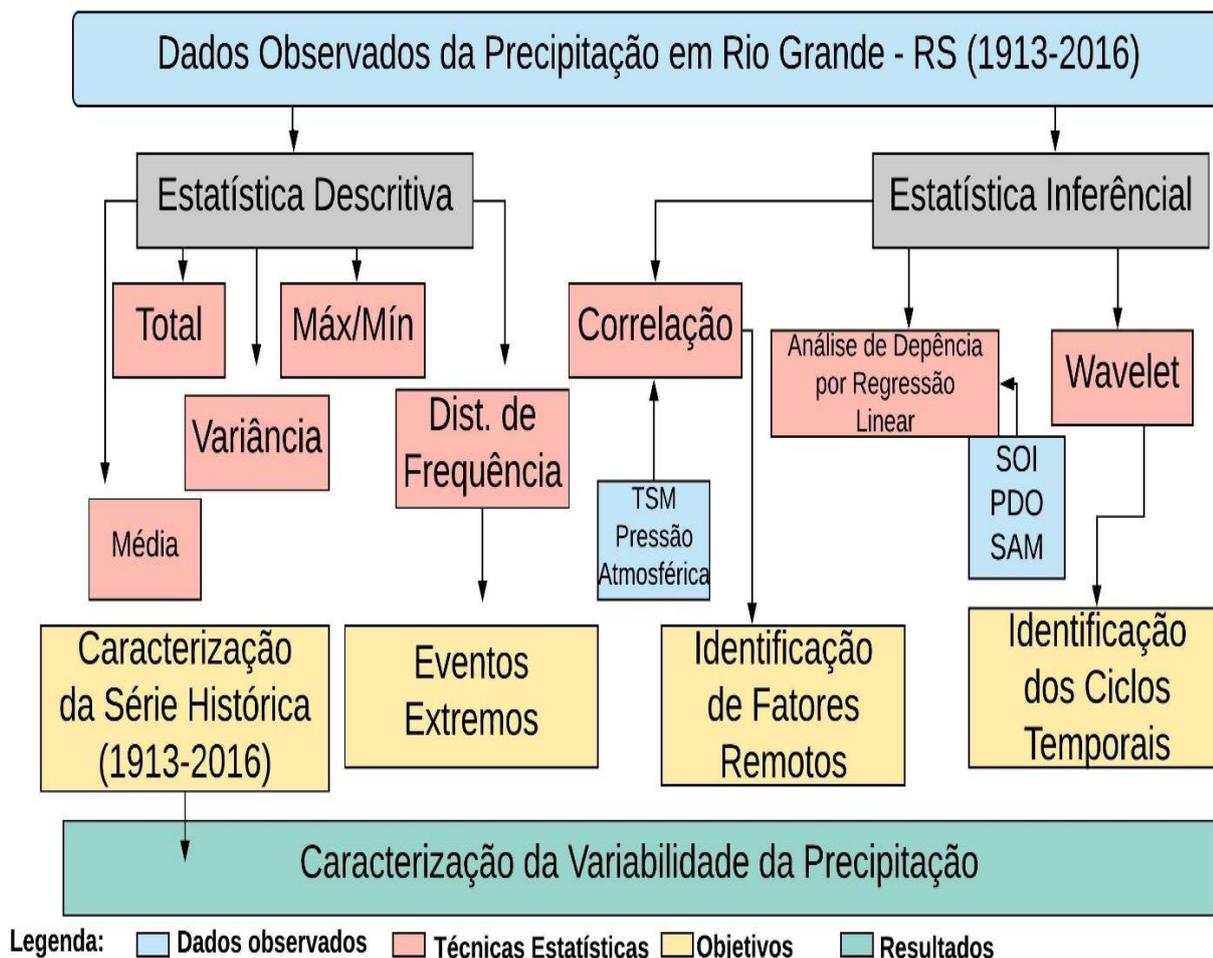
Porém a atuação dos governos ainda é muito pequena com relação às políticas de adaptação e mitigação de mudanças do clima, a aplicação dessas medidas de adaptação vai depender de como os tomadores de decisão e as populações respondem ao risco que está associado às ameaças ambientais, este entendimento e sensibilização ao risco e resposta à adaptação é necessário para reduzir a vulnerabilidade ambiental e aumentar a resiliência. O processo adaptativo para o gerenciamento costeiro deve ser flexível, sendo importante estratégias que monitorem as mudanças das condições ambientais, trazendo benefícios para o ambiente urbano, ecossistemas e sistema urbano, da mesma maneira que sejam inseridas utilização de novas tecnologias como, satélites e sensoriamento remoto (PBMC, 2016).

Para minimizar os impactos causados por fenômenos naturais, existem dois tipos de medidas para prevenção, as medidas estruturais e as não-estruturais. A estrutural tem um custo mais alto, estão em geral ligadas a obras de engenharia, como por exemplo, contenção de cheias, diques, alargamento de rios, já as não-estruturais estão relacionadas com os programas de planejamento ambiental e gerenciamento. Como por exemplo o sistema de alerta como ferramenta para auxiliar e reduzir os danos em áreas que já são urbanizadas, bem como o zoneamento ambiental que leve em consideração a possibilidade de risco ambiental, com o uso de mapas de risco (KOBAYAMA *et al.*, 2006).

3 METODOLOGIA

A metodologia (Figura 25) apresentada a seguir visa integrar o banco de dados contendo a série temporal da Precipitação da cidade do Rio Grande.

Figura 25 – Metodologia Científica.

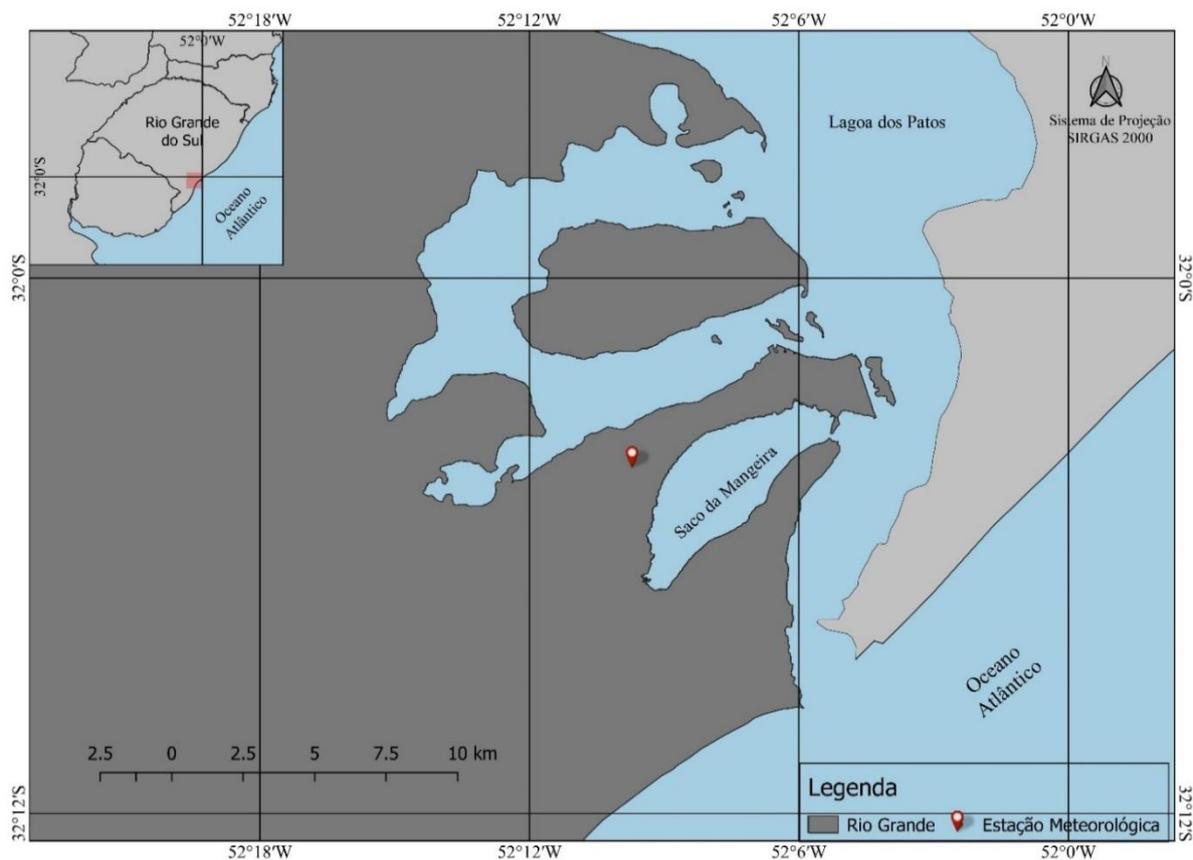


Fonte: Autora, 2019.

3.1 Caracterização da área de estudo

Rio Grande (Figura 26) está localizada na região Sul do estado do Rio Grande do Sul, sobre a planície costeira. Tem a paisagem dominada pelo complexo lagunar Lagoa dos Patos, Mirim, e Mangueira e seus limítrofes são: Pelotas, Capão do Leão, Arroio Grande, Santa Vitória do Palmar e São José do Norte. A cidade possui uma área da unidade territorial entorno de 2.709,522 Km², sua população estimada no ano de 2016 era de 208.641 habitantes (IBGE, 2010).

Figura 26 – Área de estudo: Rio Grande - RS.



Fonte: Laboratório de climatologia e cartografia – FURG, 2019.

3.2 Dados

Foram utilizados dados da Estação Meteorológica do Rio Grande/INMET para a análise da variabilidade temporal da Precipitação na cidade de Rio Grande, os dados são observações do período de 1913 a 2016, totalizando 103 anos. Eles foram disponibilizados gratuitamente pelo Oitavo Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia, a partir do Instituto de Oceanografia da Universidade Federal do Rio Grande - FURG.

Destaca-se que a Estação Meteorológica Rio Grande/INMET já esteve instalada em três locais na cidade do Rio Grande – RS. Atualmente a Estação Meteorológica Rio Grande/INMET está localizada na Universidade Federal do Rio Grande – FURG, seguindo as coordenadas 32°04'43"S e 52°10'03" O, a 2 m de altitude.

A Estação Meteorológica Automática n° A802 (Figura 27), está operante desde o ano de 2010, sob responsabilidade do Instituto de Oceanografia / FURG em convênio com Oitavo

Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia. Para a coleta dos dados, são realizadas medidas horárias da taxa de precipitação, através do Pluviômetro marca ARG100 com a unidade de medida em milímetros. São coletados dados de variáveis atmosféricas como: radiação solar direta, temperatura, umidade relativa, precipitação, pressão atmosférica, intensidade da velocidade do vento e direção da velocidade do vento.

No período entre 1989 – 2010 estava em operação uma Estação Convencional n° 83995 (Figura 28), operada pelo Laboratório de Meteorologia da FURG em convênio com o Oitavo Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia. Os dados neste período eram disponibilizados através de três coletas diárias da taxa de precipitação, com a utilização de um Pluviômetro Galvanizado, com a unidade de medida em milímetros. Além da precipitação eram observados variáveis como: pressão atmosférica, temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, temperatura máxima, temperatura mínima, evaporação, precipitação, número de horas de insolação, velocidade e direção do vento, visibilidade e nebulosidade (REBOITA e KRUSCHE, 2018).

No período entre 1961 –1989 a Estação Convencional N° 83995 encontrava-se instalada nas coordenadas 32°02' S 52°06O, que corresponde ao centro histórico da cidade de Rio Grande, adjacente a Praça Tamandaré (REBOITA e KRUSCHE, 2018). A mesma foi transferida em uma distância de 8.2 km.

No período 1913-1961 a Estação meteorológica Convencional localizava-se na Barra do Rio Grande, mas não há informações exatas das coordenadas geográficas.

Figura 27 - Estação Meteorológica Automática n° A802



Figura 28 - Estação Convencional n°83995



Fonte: Autora, 2019.

Os principais módulos de variabilidade climática da região subtropical foram relacionados com a análise de dependência por regressão linear a partir da série de anomalia, para que fosse observada a influência e comportamento dos índices de variabilidade da precipitação na série estudada. Foram utilizados os índices de variabilidade climática descritos a seguir:

Tabela 1- Índices de variabilidade climática.

ÍNDICES DE VARIABILIDADE	DADOS OBSERVADOS	FONTE
Oscilação Sul (SOI)	1876/ 2018	Departamento Australiano de Meteorologia- http://www.bom.gov.au/climate/glossary/soi.shtml
Oscilação Decadal do Pacífico (PDO)	1900/2018	JISAO - http://research.jisao.washington.edu/pdo/ NOAA
Modo Anular do Sul (SAM)	1957/2018	https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/marshall-southern-annular-mode-sam-index-station-based).

Fonte: Autora, 2019.

A mensuração dos índices de correlação entre a Temperatura da Superfície do Mar (TSM Global), e a anomalia da precipitação na cidade de Rio Grande, foi realizada a partir da relação entre toda a série de precipitação e todas as séries da TSM, desde 1913 a 2016, integrando desta maneira todas as estações do ano, as quais foram analisadas sazonalmente (verão, outono, inverno, primavera), sendo dezembro, janeiro e fevereiro considerados o verão, março abril e maio o outono, junho, julho e agosto o inverno e setembro, outubro e novembro a primavera.

Os dados da TSM são médias mensais do período entre 1913 e 2016. Este conjunto de dados foi disponibilizado gratuitamente pela ICOADS (Conjunto global de dados sobre atmosfera ocenânica internacional), o qual dispõe dados de superfície, que abrange os últimos três séculos, contendo produtos do resumo mensal em grade globais de 2x2 (HUANG, B. et al, 2014).

Os índices de correlações entre a anomalia da precipitação e a anomalia da Pressão Atmosférica foram mensurados usando toda a série temporal (1948 a 2016) e posteriormente, separando as estações sazonais (verão, outono, inverno, primavera), conforme descrito anteriormente.

As médias mensais da Pressão Atmosférica foram disponibilizadas gratuitamente pelo NCEP/NCAR e são do projeto de reanálise I, em uma grade com resolução de 2,5° de latitude e longitude (144x73 pontos). Os dados da pressão atmosférica são modelados para o nível médio dos mares, a fim de maximizar a representação da variabilidade climática e minimizar as influências do relevo (KALNAY *et al.*, 1996).

3.3 Estatística Descritiva

Foram utilizadas análises da estatística descritiva para a caracterização da série temporal da precipitação, usando medidas de tendência central e de variação. As análises compreenderam primeiramente a mensuração dos totais mensais da precipitação, esses valores foram agrupados em total anual da precipitação. Desta maneira foi possível identificar o total da precipitação na série analisada a partir do somatório da precipitação para cada ano.

A média aritmética (\bar{x}) é compreendida como a medida de centro, encontrada pela adição dos valores e divisão do total pelo número de valores (TRIOLA, 2005). A média mensal da precipitação foi mensurada a partir da média de todos os janeiros, fevereiro até dezembro. A média aritmética é obtida pela equação:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad \text{Eq.2}$$

onde, \bar{x} corresponde à média aritmética, \sum a adição, x a variável e n ao número de valores da amostra.

Para investigar a variabilidade nos períodos entre 1920 – 1950, 1950 – 1980 e 1980 –2010 a série foi dividida em períodos de 30 anos (acima citados). Sendo calculadas as médias mensais e desvio padrão.

Para identificar as diferentes medidas de variação da série, foi utilizada a medida de variação de amplitude para verificar o valor máximo e o valor mínimo da série analisada. Desta maneira foi possível reconhecer os meses e estações do ano que apresentaram os maiores e menores volumes de precipitação.

A variabilidade da série proposta foi calculada a partir da anomalia e desvio padrão. Para calcular a anomalia da precipitação foi subtraída a média mensal de cada amostra, a fim

de eliminar o ciclo anual. Estes dados de anomalia foram utilizados nas análises descritivas. A anomalia foi obtida pela equação:

$$x = a - \bar{x} \quad \text{Eq.3}$$

onde, x corresponde a anomalia, a ao dado \bar{x} a média mensal.

O desvio padrão (s) é definido como uma medida da variação dos valores em torno da média (TRIOLA, 2005), o mesmo indicou a variação da anomalia da precipitação. O desvio padrão é obtido pela equação:

$$s = \frac{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2}}{n-1} \quad \text{Eq.4}$$

onde, s corresponde ao desvio padrão, \bar{x} a média aritmética, \sum a adição, x a variável e n ao número de valores da amostra.

Distribuição de frequência em quartis foi utilizada para indicar eventos de seca ou chuvas excessivas, com a frequência do 1º quartil 4º quartil, respectivamente. Os quartis fazem a divisão do conjunto dos dados em quatro subconjuntos, de modo que 25% dos elementos localizem-se abaixo do limiar do Q1 e 25% acima do limiar do Q4 (ASSIS, 1996). O primeiro quartil, por exemplo, seleciona todos os registros de meses mais secos e o quarto quartil seleciona os meses com maior volume de chuvas, e o segundo e terceiro quartil não são utilizados por representar pequena variação em torno da média.

3.4 Estatística Inferencial

Análise de dependência por regressão linear consiste em determinar uma função matemática que busca descrever o comportamento de determinada variável chamada dependente, baseado nos valores de uma ou mais variáveis denominadas independentes (CORRAR *et al.*, 2009).

O diagrama de dispersão é reconhecido como um gráfico no qual os dados amostrais emparelhados são plotados com um eixo horizontal x e um eixo vertical y . Para descrever a relação entre duas variáveis através do gráfico e da equação que representam a relação utiliza-se a chamada reta de regressão e a equação de regressão. A equação de regressão expressa uma relação do eixo horizontal, chamado de variável independente e o eixo vertical chamada de variável dependente (TRIOLA, 2005).

A regressão é obtida pela equação:

$$\gamma = p1 * X + p2 \quad \text{Eq.5}$$

onde $p1$ é fator de multiplicação e $p2$ é fator de adição.

A análise de correlação visa medir a força ou grau de relacionamento entre as variáveis (CORRAR *et al.*, 2009). A mesma pode ser entendida, quando analisamos uma coleção de dados amostrais emparelhados e determinamos se parece haver uma relação entre as duas variáveis. O coeficiente de correlação linear r , tem como função medir a intensidade da relação linear entre os valores quantitativos emparelhados x e y de uma amostra (TRIOLA, 2005).

Foi utilizada a técnica de correlação, a qual vai mensurar a sincronia das variáveis de ponto de uma região ou do globo, para identificar a influência dos módulos de variabilidade climática com a precipitação na cidade de Rio Grande. A correlação é obtida pela seguinte equação:

$$r = \frac{\sum m \sum n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{(\sum m \sum n (A_{mn} - \bar{A})^2)(\sum m \sum n (B_{mn} - \bar{B})^2)}} \quad \text{Eq. 6}$$

onde, \bar{A} é igual a média de A e \bar{B} é igual a média de B.

3.5 Wavelet

O termo *Wavelet* surgiu em meados dos anos 80, a partir de trabalhos realizados por pesquisadores franceses, tendo como ideia principal que a análise *waveletes*, “consiste em aproximar uma função por uma combinação linear de funções básicas (*wavelita*), obtendo assim uma boa representação da função original tanto no domínio das frequências como no domínio temporal” (CHIERICE, 2003).

A mesma representa uma ferramenta matemática que é utilizada para a decomposição de um sinal, através de escalas (dilatação e compressão) e translação de *walletet* (mãe). A aplicação da transformada de *Wavelet Morlot* permite distinguir as frequências dominantes (escalas ou períodos) para cada um dos senóides e a forma como elas evoluem numa amostragem (CHIERICE, 2003).

Sendo assim a Transformada de *Wavelet Morlot* (TWM) contribuiu na observação e identificação dos ciclos temporais da variabilidade climática de precipitação da série estudada do período de 1913 a 2016. Para maiores informações sobre as equações de Wavelet consultar: Daubechies, *et. al.*, (1992) e Mallat, S.(1998).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados a seguir serão divididos em: 1) análise descritiva da série histórica da precipitação; 2) análise da variabilidade da precipitação e 3) análise dos fatores que controlam a variabilidade da precipitação.

4.1 Análise descritiva

As análises da série histórica de precipitação da cidade de Rio Grande entre 1913 e 2016 serão demonstradas a partir da estatística descritiva.

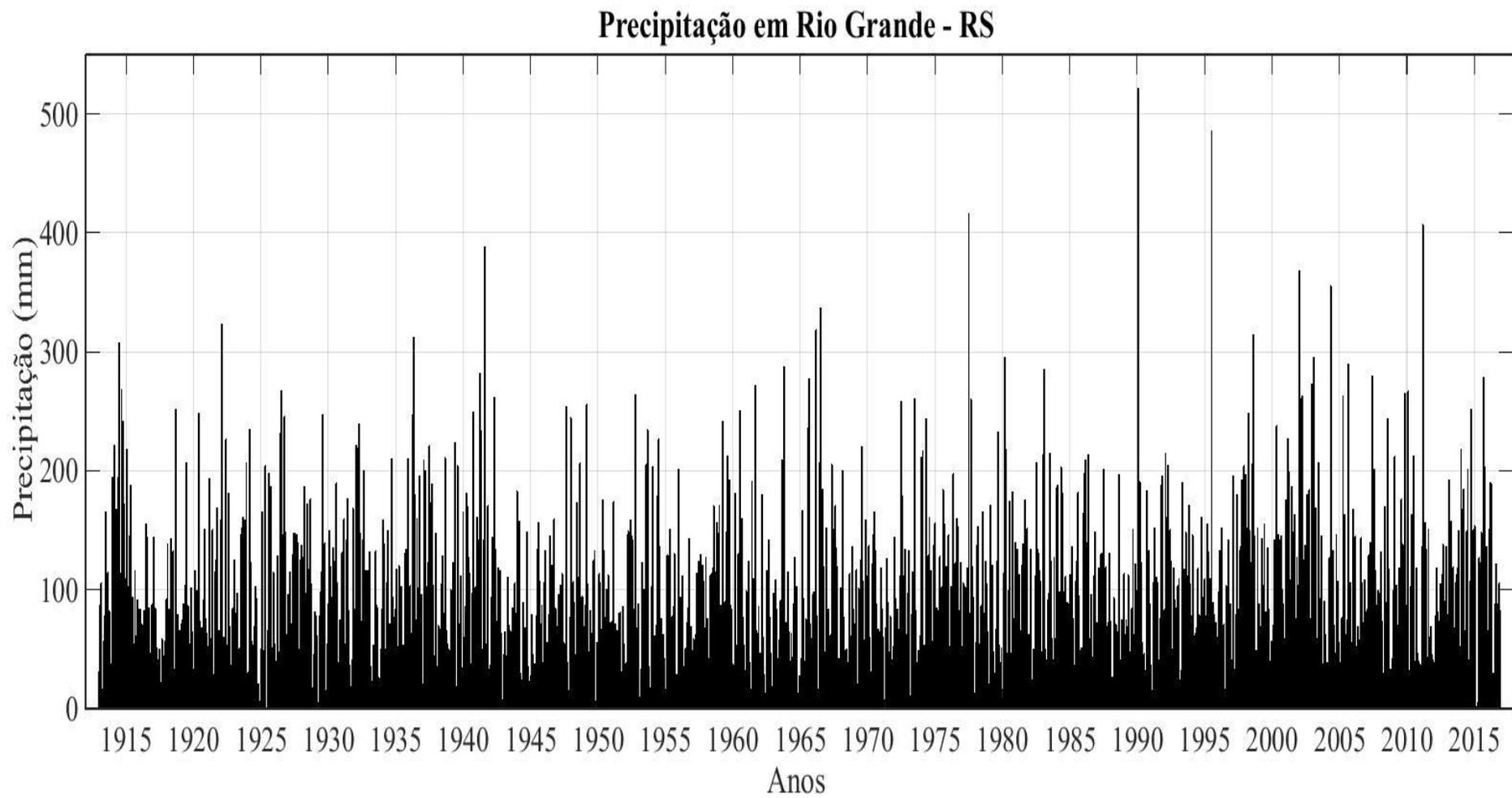
A precipitação mensal em Rio Grande - RS (Figura 29) apresentou uma variação entre 0,3 mm e 551,8 mm com uma média de 102,1 mm e desvio padrão de 66,1 mm. Sendo possível observar períodos com chuva acima da média como, por exemplo, em 1940, 1990 e 2010 e períodos com volumes abaixo de 100 mm, como os anos 1916, 1945 e 2005.

O total anual da precipitação (Figura 30) varia entre 625 mm e 2.261,9 mm e possui um acúmulo anual médio de 1.226 mm e desvio padrão de 280 mm, demonstra que ocorreram períodos com precipitações excessivas que chegaram a atingir magnitudes superiores a 2000 mm/ano (em 1914 e 2002). Bem como, foram registrados anos com volumes abaixo de 750 mm (1917, 1933, 1943 e 1988).

A média mensal de precipitação (Figura 31) varia entre 71,2 mm e 126,7 mm com ênfase para o mês de setembro, que apresentou os maiores volumes das precipitações acima de 120 mm e dezembro com precipitações abaixo de 80 mm, não havendo estação seca na cidade de Rio Grande. No verão ocorre mais evaporação o que diminui a disponibilidade de água na superfície de solo e no inverno, ocorre os maiores totais mensais e a evaporação diminui.

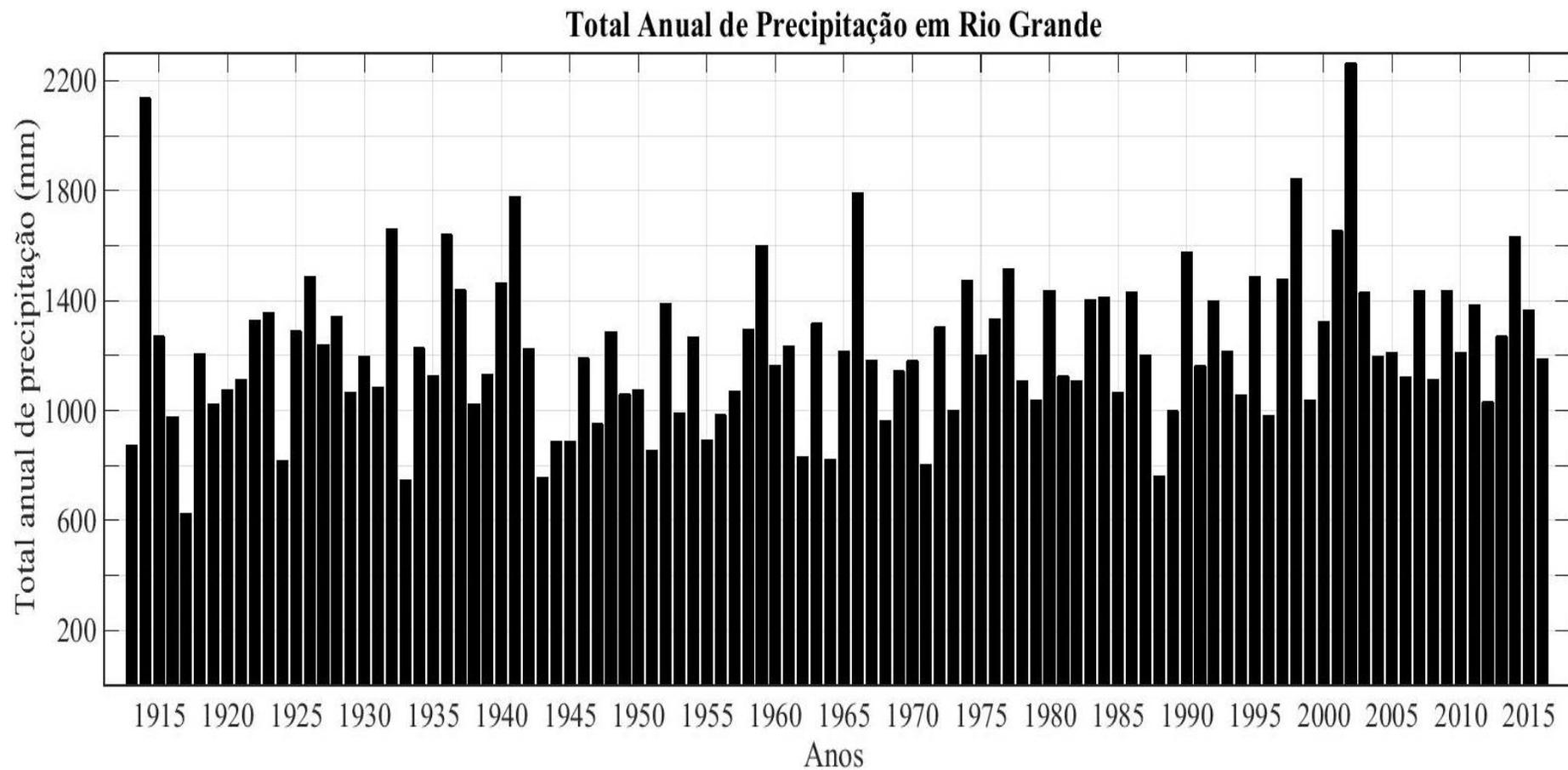
A amplitude de variação dos totais mensais da precipitação são demonstrados na (Figura 32), onde podem ser observadas as magnitudes da média, máxima e mínima precipitação mensal. Sendo que os valores médios já foram discutidos anteriormente, e os valores máximos com magnitude superior a 350 mm ocorrem em janeiro, fevereiro, março, maio, julho e agosto. Já os valores mínimos que se aproximam de zero ocorrem em fevereiro, março, abril, junho e outubro. Em outras palavras, são o verão e o inverno que possuem maior amplitude de variação dos registros mensais da precipitação, com destaque para os meses de fevereiro e julho.

Figura 29- Precipitação em Rio Grande - RS.



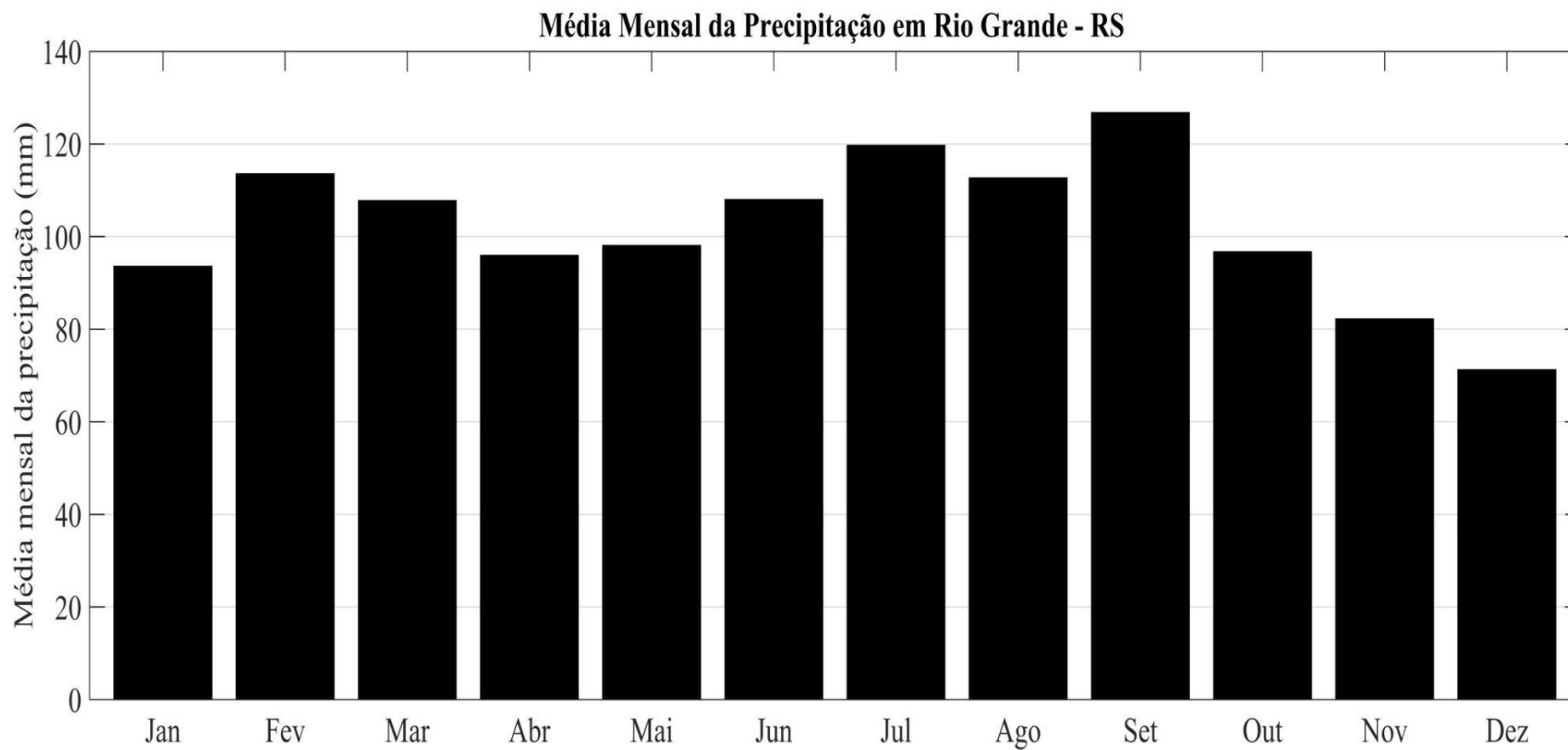
Fonte: Autora, 2019.

Figura 30 - Total Anual de Precipitação em Rio Grande.



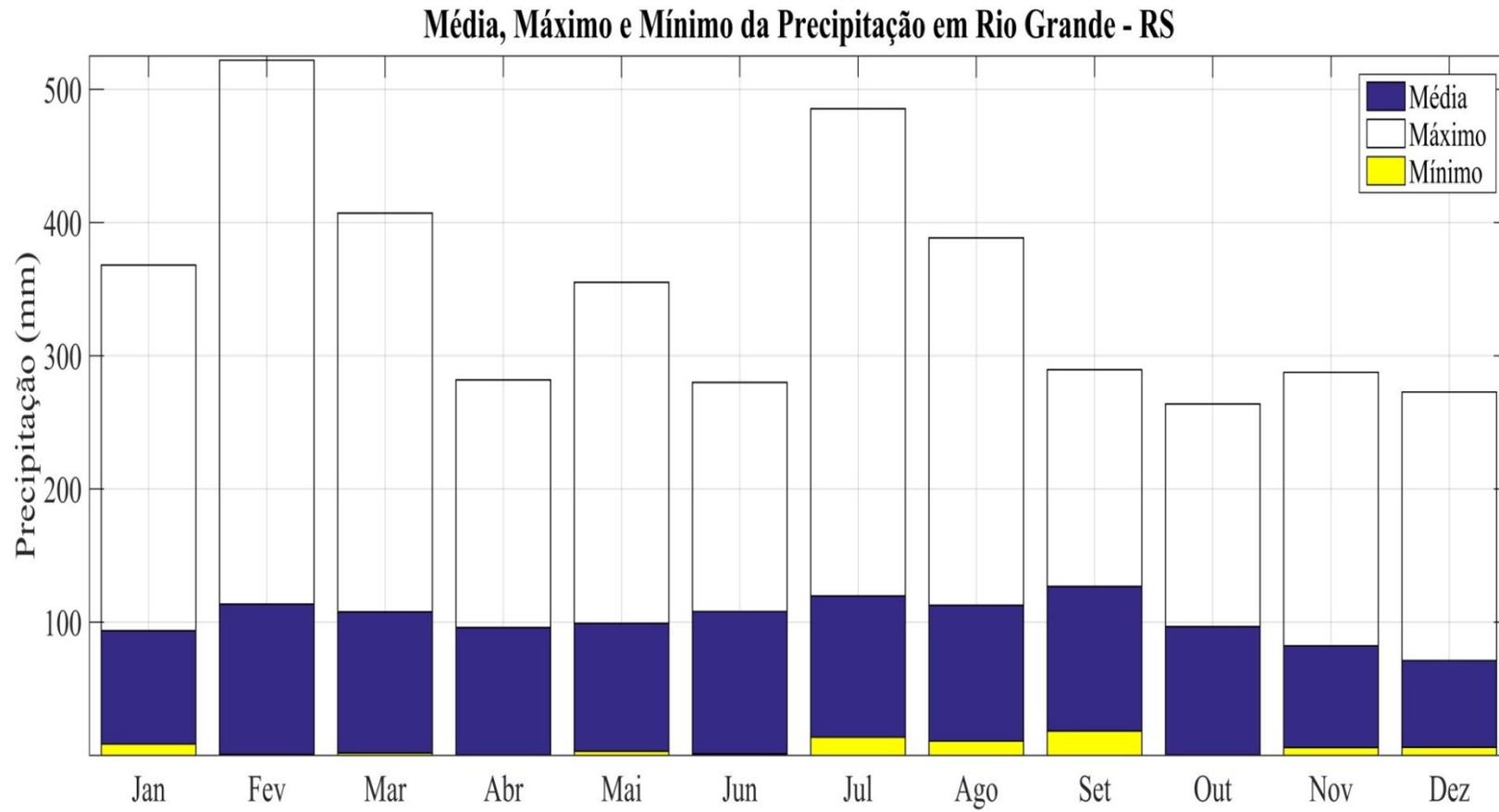
Fonte: Autora, 2019.

Figura 31 - Média Mensal da Precipitação em Rio Grande – RS.



Fonte: Autora, 2019.

Figura 32- Média, Máxima e Mínima em Rio Grande – RS.



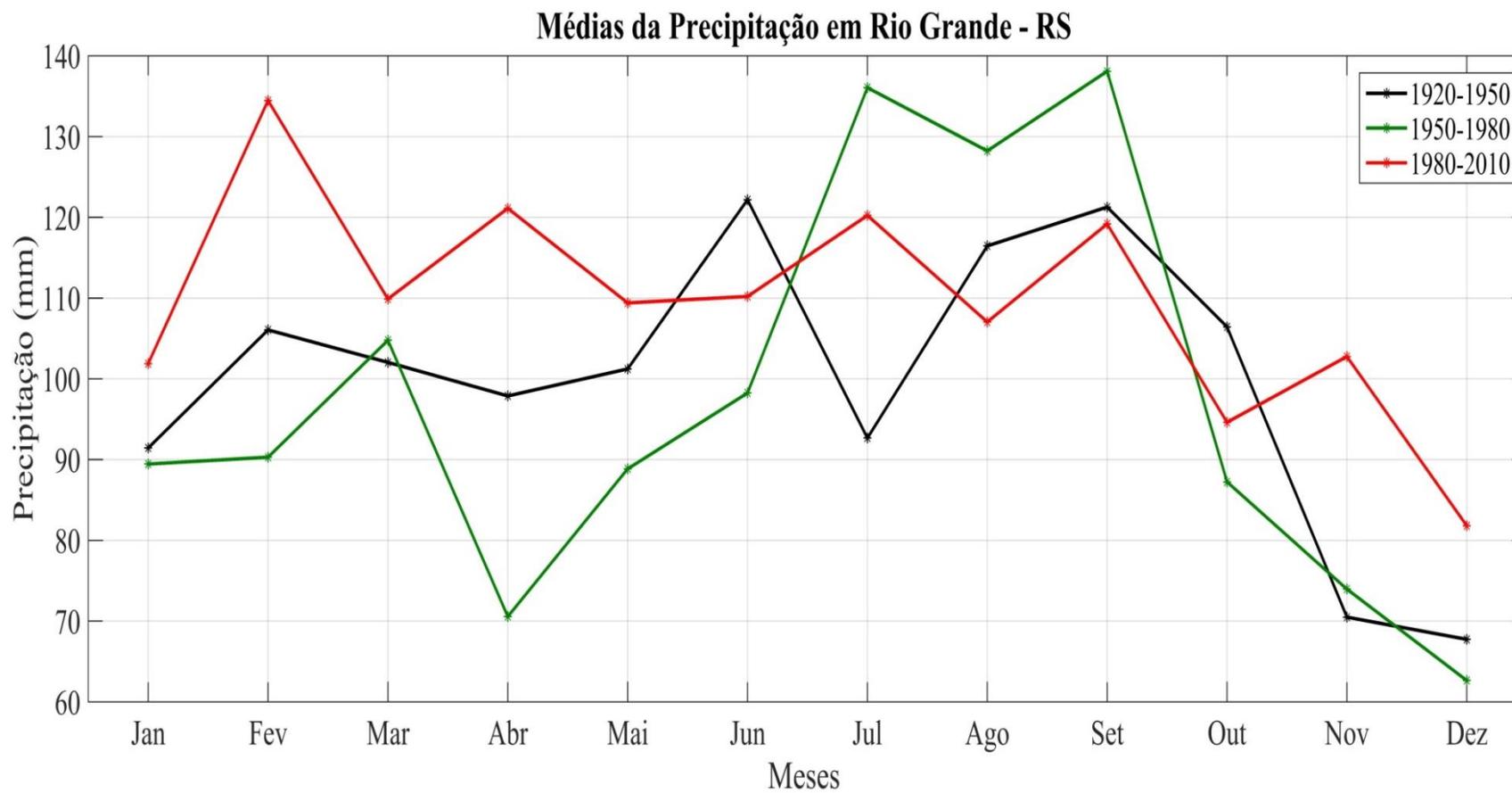
Fonte: Autora, 2019.

As médias mensais (Figura 33) de 30 anos, durante os três períodos entre 1920-1950, 1950-1980 e 1980-2010, possibilitaram identificar que no período de 1920 a 1950 o verão e outono registraram precipitações próximas da média (de todo o período 1913-2016) e os invernos e a primavera foram mais úmidos, com exceção do mês de julho. No período de 1950 a 1980 foi observado que o verão e outono encontram-se abaixo da média mensal (de todo o período 1913-2016), indicando que o verão e outono estão mais secos e os invernos mais úmidos incluídos o mês de setembro. Já no período de 1980 a 2010 é possível observar verões mais chuvosos, incluindo o mês de novembro.

A mensuração do desvio padrão (Figura 34) de 30 anos, durante os três períodos entre 1920-1950, 1950-1980 e 1980-2010, possibilitou identificar que o verão e outono foram as estações que apresentaram menor e maior desvio padrão, respectivamente. Sendo que é o mês de fevereiro do período 1980-2010 que apresentou o maior desvio padrão (superior a 100). Grimm (2009) ressalta que ao longo do verão, o maior aquecimento da superfície e aporte de umidade para o continente, desta maneira o Sul do Brasil tem maior tendência a instabilização da atmosfera, gerando maior convecção associada ao sistema de monção. Bem como durante o verão nas estações de transição, no semestre quente de outubro a abril, os CCM são mais recorrentes, sendo em grande parte responsáveis pela precipitação das estações de transição.

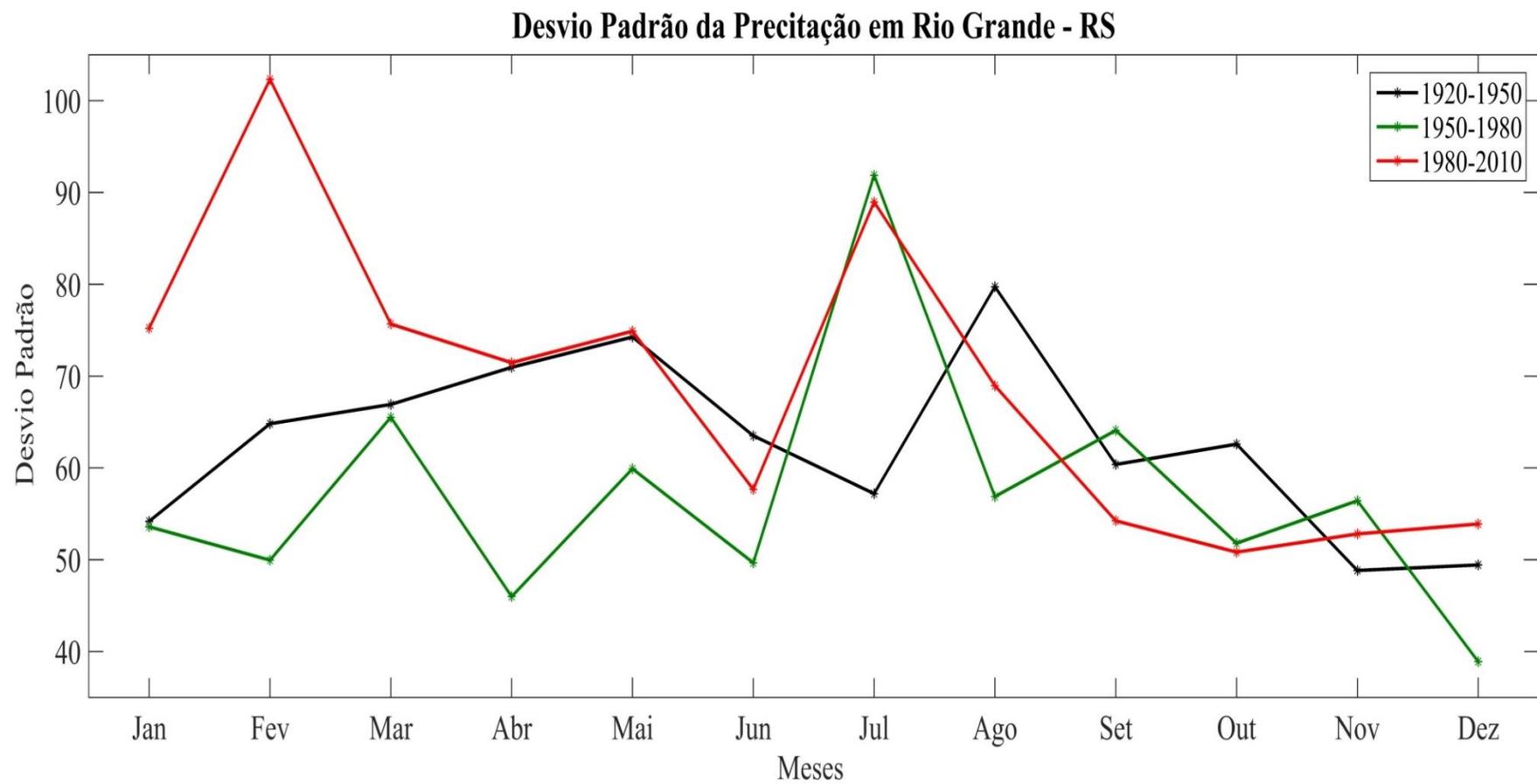
No inverno, em especial em julho, foi observado elevado desvio padrão nos períodos após 1950. Respectivamente no inverno, do mesmo modo que nas estações de transição, no semestre frio, de maio a setembro, a elevada convergência de umidade, além de o inverno possuir frequente ciclogênese, que tem relevante contribuição nas precipitações na região Sul do Brasil. Já na primavera, os três períodos apresentaram pequeno desvio padrão e variação semelhante, sendo o mês de dezembro do período 1950-1980 que apresentou o menor valor do desvio padrão. Adicionalmente, é possível identificar que em todos os três períodos, observados, as estações inverno e primavera demonstraram uma decrescente do desvio padrão do mês de julho até dezembro.

Figura 33- Médias da Precipitação em Rio Grande – RS.



Fonte: Autora, 2019.

Figura 34 - Desvio Padrão da Precipitação em Rio Grande – RS.



Fonte: Autora, 2019.

4.2 Análise da variabilidade

A anomalia da precipitação (Figura 35) evidenciou a variabilidade da precipitação em escalas temporais diferentes da sazonal, bem como tornou possível avaliar que a cidade do Rio Grande sofre com ciclos recorrentes de variações das chuvas. Nesse contexto, destacaram-se os períodos com anomalias positivas acima de 400 milímetros e os períodos com anomalias negativas abaixo 100 mm como, por exemplo, os anos 1941 e 1998, respectivamente.

A influência dos fatores remotos e locais no controle das anomalias da precipitação ocorreram predominantemente na escala interdecenal. Especialmente associadas aos eventos de El Niño e La Niña, porém o ENOS não explica todos os casos anômalos da série.

O El Niño ocorre normalmente com maior frequência na primavera/verão, nesta condição ocorre à intensificação das chuvas que ocasionam anomalias positivas da precipitação. Bem como, os períodos mais secos podem estar ligados ao fenômeno La Niña, que poderá acarretar impactos significativos na flora e fauna. Da mesma maneira que os impactos do fenômeno ENOS podem prejudicar as atividades antrópicas, especialmente os eventos extremos, os quais ocorrem mais frequentemente nos eventos fortes do ENOS, como no ano de 1998, onde o estado do Rio Grande do Sul registrou anomalias positivas da precipitação que ocasionaram grandes enchentes no El Niño de 1997/1998. (BERLATO E FONTANA, 2003).

A utilização do método de distribuição de frequências em quartis viabilizou a identificação do número de eventos extremos registrados na série da precipitação. Visto que o primeiro quartil (Q1) indica os eventos extremos de secas, o segundo e terceiro quartil os valores que se encontram em torno da média, sem a ocorrência de eventos extremos e o quarto quartil (Q4) os eventos extremos de chuvas excessivas.

A distribuição de frequência em quartis (Figura 36) da série de precipitação mostrou que os eventos extremos de seca (Q1) são identificados por valores anômalos menores que 56,4 mm, e no período entre 1913-2016 ocorreram 219 meses de eventos extremos de seca. A frequência de ocorrência do Q2 é de 498 meses, sendo a maior frequência entre os 4 quartis, este resultado é oriundo da técnica de cálculo da média e das anomalias visto que o menor valor anômalo é igual ao valor negativo da média mensal, enquanto os maiores valores registrados podem exceder 3 ou 4 vezes a média mensal. O terceiro quartil (Q3) tem

frequência de 321 meses. Cabe ressaltar que o Q2 e Q3 agrupam ocorrências da precipitação entorno da média, não caracterizando eventos extremos. O quarto quartil (Q4) representa eventos de extremos de chuvas excessivas, com frequência de 210 meses no período entre 1913 e 2016 o qual é caracterizado pelo registro de valores anômalos superiores a 56,4 mm.

Parte da ocorrência dos eventos extremos da precipitação está associada aos fatores remotos que controlam a variabilidade interdecenal e decenal na região subtropical da América do Sul. Por isso, são mostradas as anomalias da precipitação em Rio Grande classificadas de acordo com as fases quente e fria do ENOS e PDO (Figura 37 e 38).

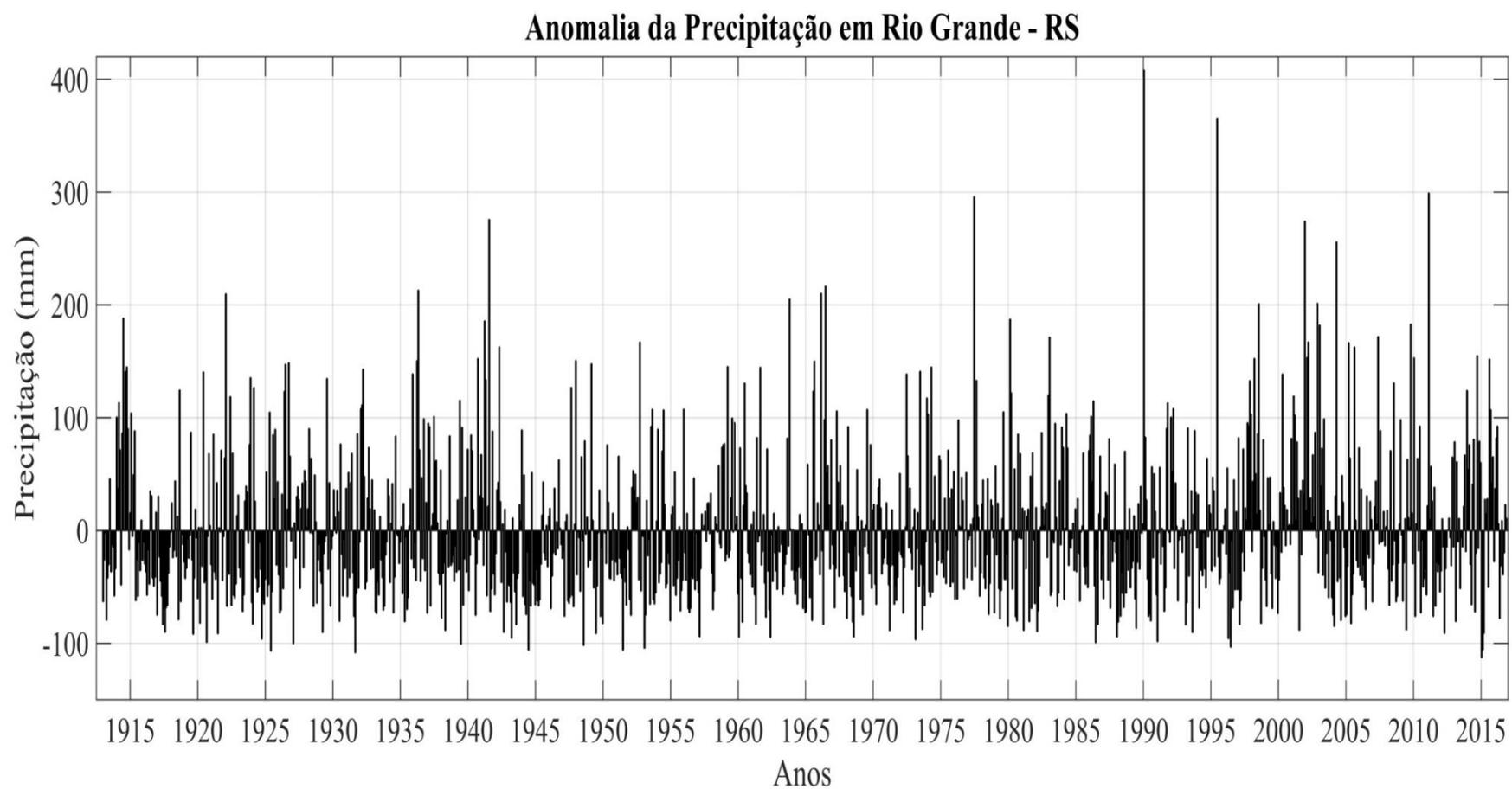
Na (Figura 37) a cor vermelha indica os meses de ocorrência do fenômeno El Niño, sendo observada a predominância de chuvas acima da média (anomalias positivas) na cidade de Rio Grande, como por exemplo, os anos de 1982/1983 e 1997/1998 em que os eventos de El Niño foram considerados fortes. Segundo Berlato e Fontana (2003) foi considerado o El Niño mais longo dos últimos 50 anos, bem como, destacaram-se a anomalia da precipitação superior a 400 mm (1998) que ocorreu em período de El Niño.

A La Niña intensifica as condições de estabilidade atmosférica, gerando predominantemente precipitações abaixo da média. Na Figura (37) a cor azul indica com La Niña e observa-se que predomina o registro de precipitações abaixo da média (anomalias negativas) na cidade de Rio Grande. Destacam-se os eventos de 1973/1974 e 1988/1989 os quais foram considerados La Niña fortes com intensidade maior de outubro a março (BERLATO e FONTANA, 2003). A cidade registrou anomalia da precipitação inferior a -50 mm (1988).

Cabe ressaltar que há um predomínio da relação de entre seca/chuva acima da média com a ocorrência de La Niña/El Niño, mas ela não explica toda a variabilidade da precipitação em Rio Grande.

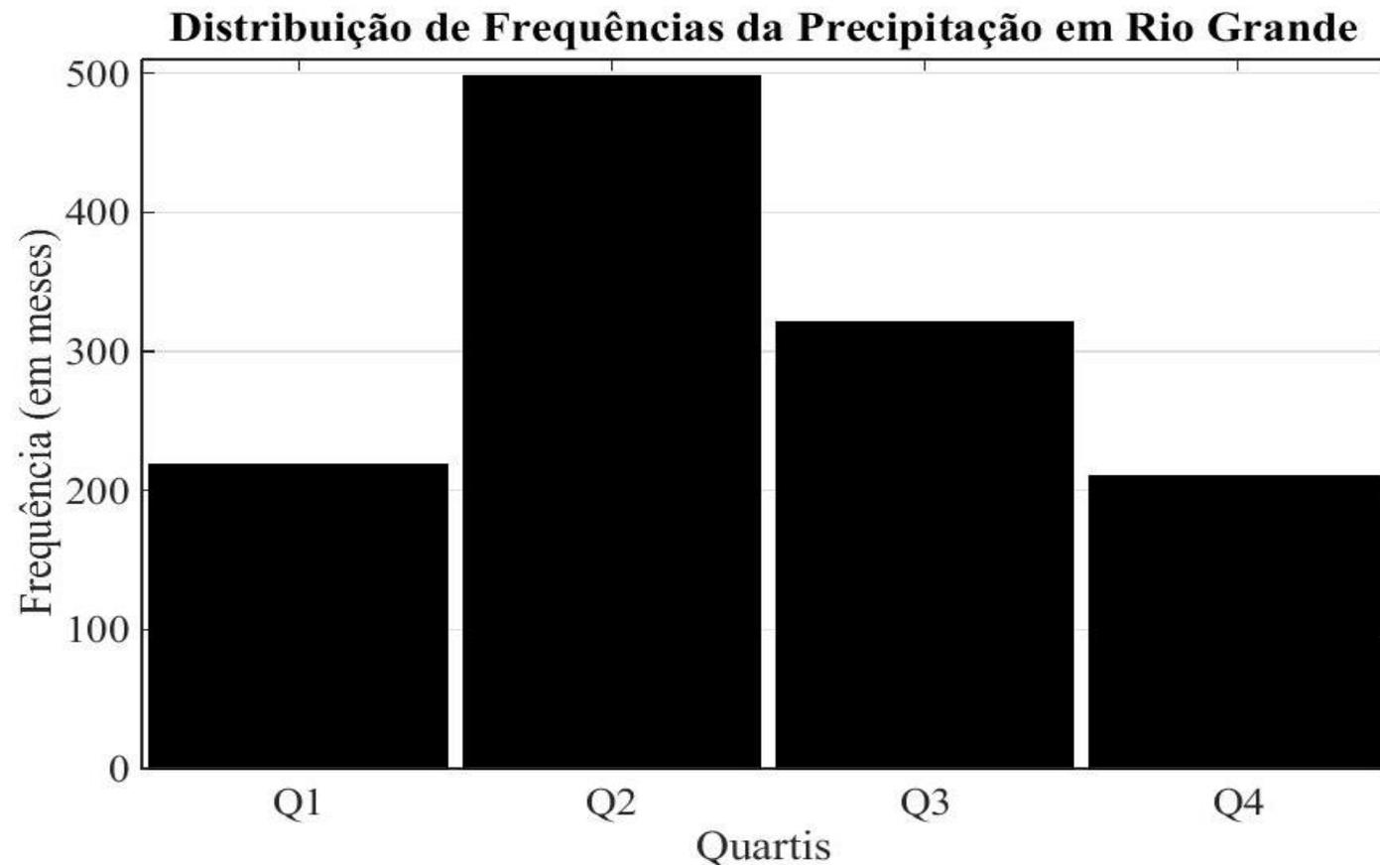
Outro fator remoto que amplifica os efeitos da variabilidade ENOS é a Oscilação Decadal do Pacífico. Na (Figura 38) o índice (PDO) representa em vermelho a fase positiva e representa em azul a fase negativa, o qual caracteriza regimes quentes e frios na anomalia da precipitação na cidade do Rio Grande. Nos períodos com anomalia positiva sugere influência na intensificação das chuvas na cidade de Rio Grande, como por exemplo, o ano de 2015, que apresenta a fase positiva da PDO. E os períodos com anomalias negativas (frios), estarão impactando a cidade nos eventos extremos de seca, como por exemplo, no ano de 1975 e 2010.

Figura 35 - Anomalia da Precipitação em Rio Grande – RS.



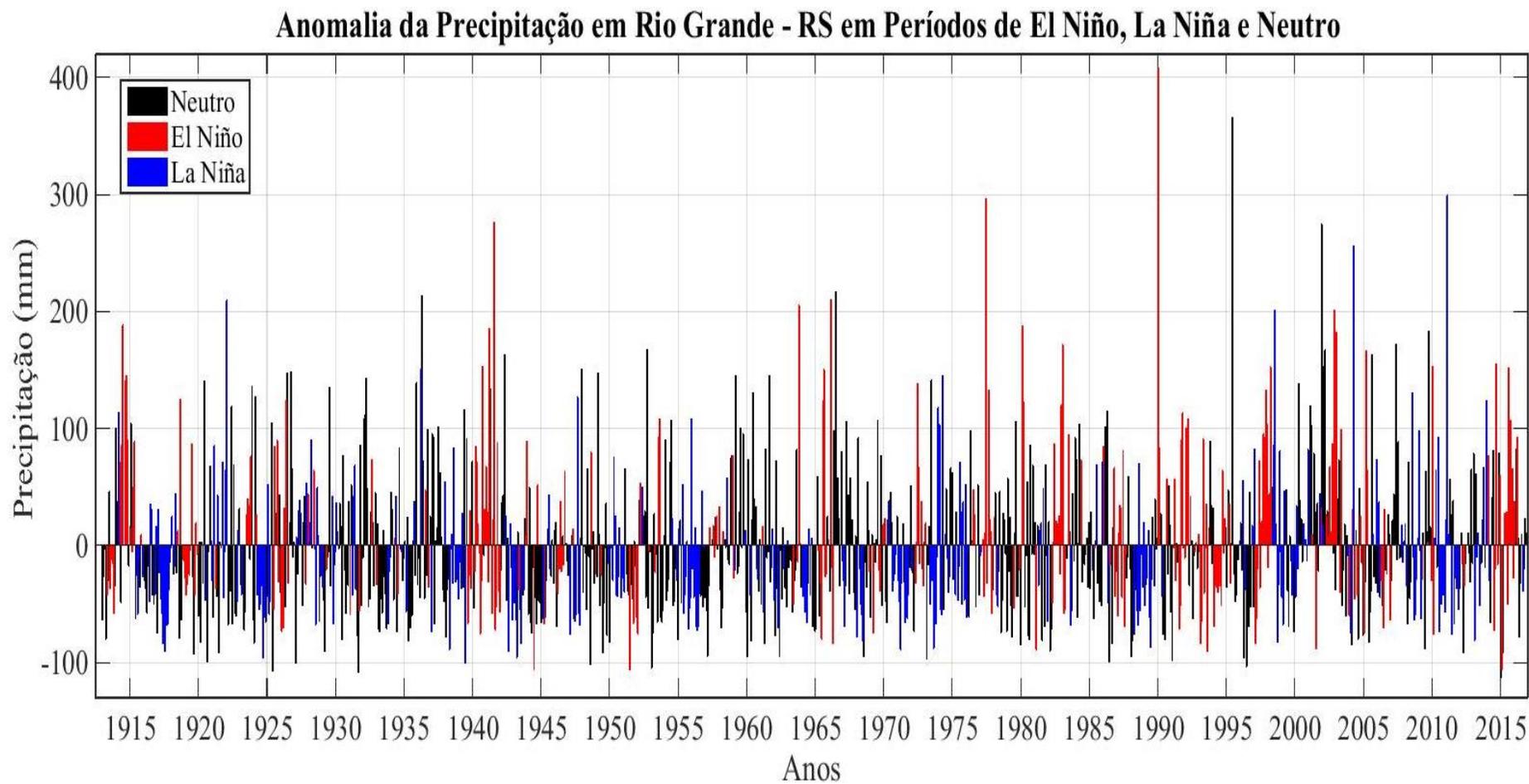
Fonte: Autora, 2019.

Figura 36 - Distribuição de Frequência da Precipitação em Rio Grande.



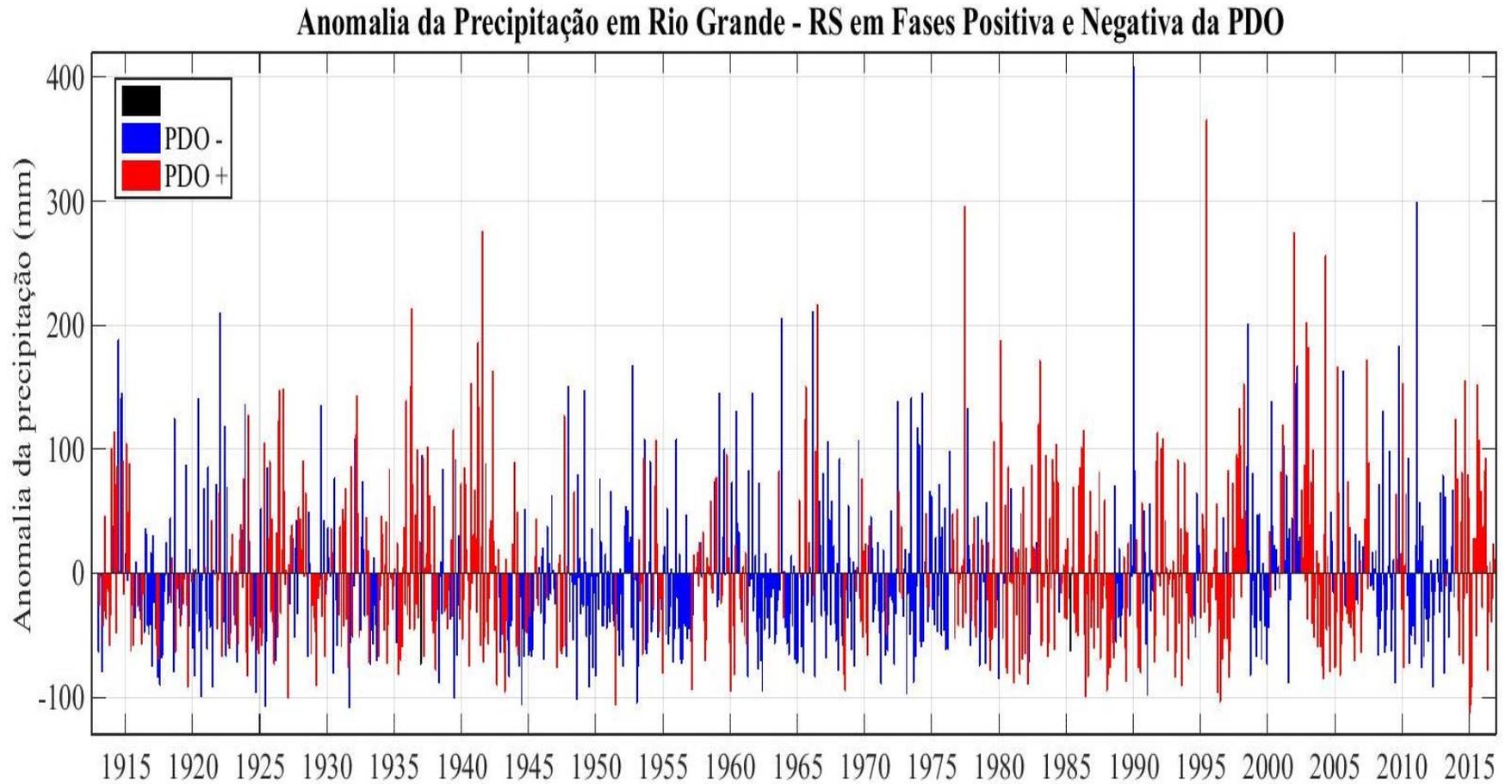
Fonte: Autora, 2019.

Figura 37 - Anomalia da Precipitação em Períodos de El Niño, La Niña e Neutro.



Fonte: Autora, 2019.

Figura 38 - Anomalia da Precipitação em Rio Grande – RS em Fases Positiva e Negativa da PDO.



Fonte: Autora, 2019.

A (Figura 39) identifica o modo anular de oscilação (SAM) do período entre 1957 e 2016 e sua influência na precipitação da cidade do Rio Grande. A cor vermelha indica fase positiva e cor azul indica a fase negativa do índice SAM, onde a fase positiva (negativa) pode influenciar na anomalia negativa (positiva) respectivamente da precipitação local. As anomalias encontradas na cidade de Rio Grande, demonstram que o índice SAM pode estar influenciando na variabilidade da precipitação em períodos como 1991 e 2000, por exemplo, porém estas magnitudes acima e abaixo da média podem estar relacionadas com o fenômeno ENOS visto que eles ocorrem em escala de tempo intraanual e interanual.

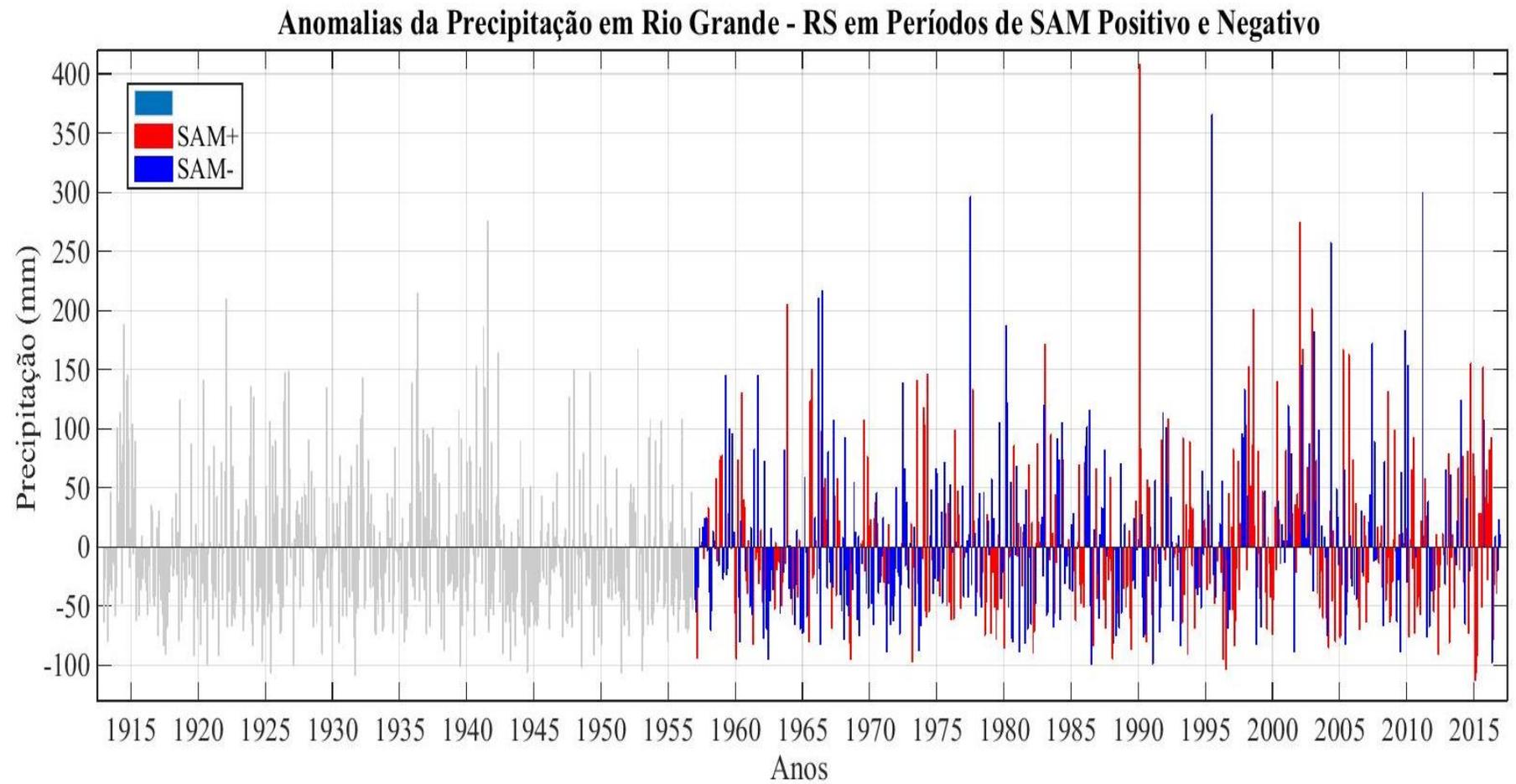
Ressalta-se que o índice SAM na sua fase negativa tem maior influência austral e na fase positiva ocorre maior circulação círculo polar próximo da antártica. Visto que, Aquino (2012), menciona que durante o inverno o Vórtice ciclônico contribui para um alto índice do SAM (fase positiva) o qual se caracteriza por baixa temperatura polar, e que nos meses correspondente a um baixo SAM denominado de fase negativa.

Na (Figura 40) são mostrados os diagramas de dispersão entre a precipitação na cidade de Rio Grande e os índices de variabilidade climática. No entanto, os parâmetros da análise de dependência de regressão linear (Tabela 2) mostram que os fatores controlam parcialmente a variabilidade da precipitação, visto a grande dispersão, e magnitudes baixas da correlação e do R_square .

Porém estas pequenas correlações encontradas evidenciam que os índices de variabilidade climática, Oscilação Sul (SOI), por exemplo, indicam que as precipitações se mantêm em grande parte da série associadas às médias mensais, no entanto as maiores amplitudes (anomalia positiva) e menores amplitudes (anomalia negativa) estão associadas à influência do fenômeno El Niño e La Niña, todavia a influência do fenômeno não explica toda a variabilidade da série.

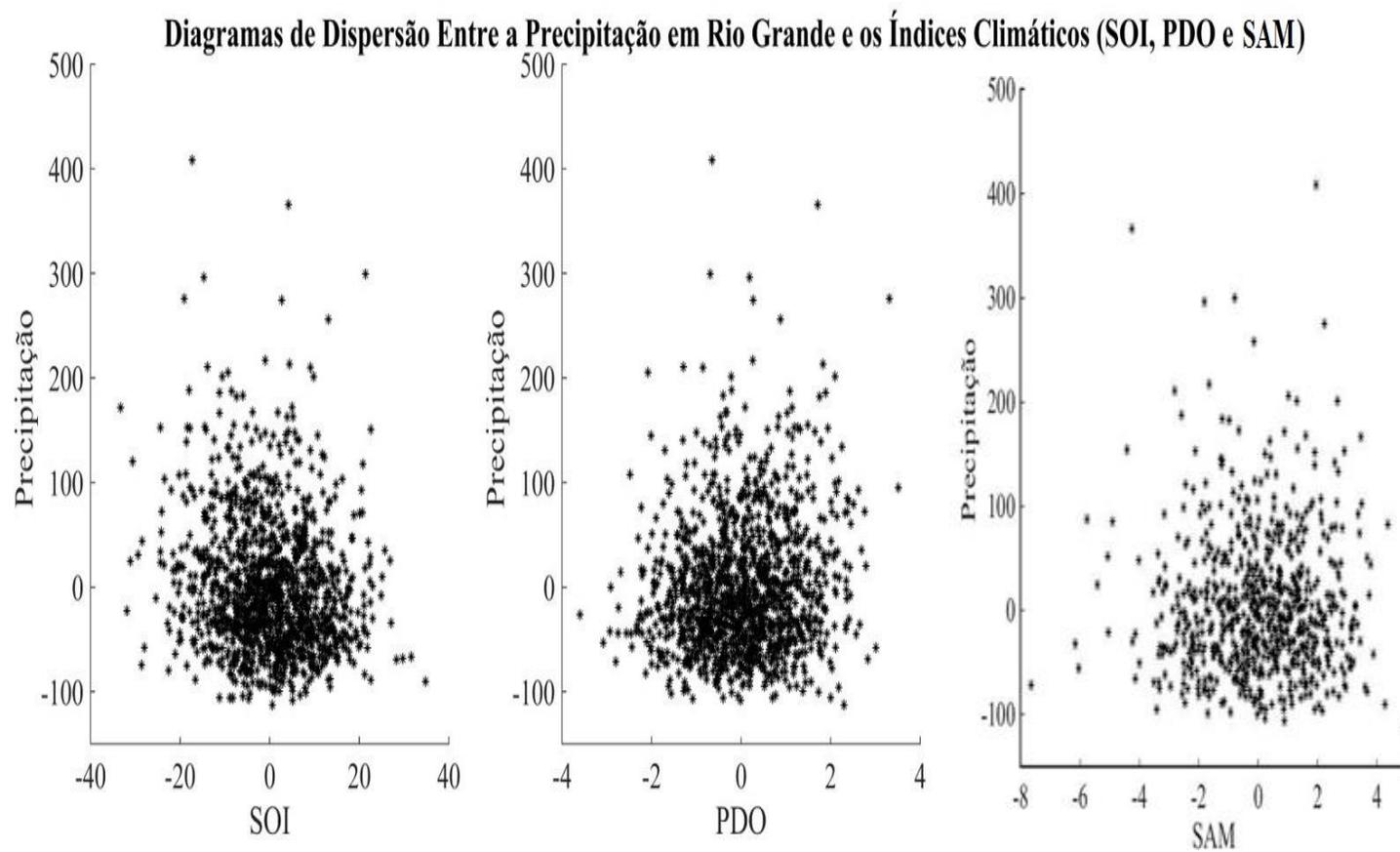
A Oscilação Decal do Pacífico (PDO), também indica que as precipitações se concentram entorno da média e que as maiores amplitudes da precipitação (anomalia positiva) e as menores amplitudes (anomalia negativa), podem estar associadas às variações na Temperatura da Superfície do Mar, fase fria e quente. O Modo Anular de Oscilação (SAM) apontou grande dispersão e baixa correlação.

Figura 39 - Anomalia da Precipitação em Rio Grande – RS em Períodos de SAM positivo e Negativo.



Fonte: Autora, 2019.

Figura 40 - Diagramas de Dispersão entre a Precipitação em Rio Grande e os Índices Climáticos (SOI, PDO e SAM).



Fonte: Autora, 2019.

Tabela 2 - Identifica os índices estatísticos da reta de regressão.

ÍNDICES CLIMÁTICOS	SSE	R-SQUARE	R
SOI	5.048400	0,02	-0,15
SAM	3.185200	0	0,002
PDO	5.096000	0,01	0,11
	Anomalia da Precipitação		

Fonte: Autora, 2019.

4.3 Análise dos fatores que controlam a variabilidade da precipitação

Na identificação das correlações entre a TSM global e a precipitação na cidade de Rio Grande, foi realizada uma relação entre toda a série de precipitação e todas as séries da TSM, desde 1913 a 2016, integrando desta maneira todas as estações do ano. E foi possível evidenciar os fatores remotos que influenciam na variabilidade para precipitação em Rio Grande.

Na (Figura 41) são apresentados os índices de correlações entre a precipitação em Rio Grande e a TSM, no período entre 1913 a 2016, sendo que as correlações positivas indicam que as temperaturas mais altas do que a média estão predominantemente relacionadas às anomalias positivas da precipitação, com ênfase na região 3.4 do fenômeno ENOS. Visto que o evento El Niño é reconhecido, quando se verifica um aquecimento das águas simultaneamente com a diminuição da pressão atmosférica no Pacífico. Já as temperaturas a baixo da média estão associadas às anomalias negativas da precipitação. As correlações na região Niño 3.4 evidenciam o fenômeno La Niña que ocorre quando a um resfriamento das águas e aumento na pressão atmosférica na região leste do Pacífico (BERLATO e FONTANA, 2003).

Em altas latitudes, sobre o Oceano Pacífico, na área do fenômeno da Oscilação Antártica, as correlações indicam que as temperaturas abaixo da média estão predominantemente associadas a anomalias negativas da precipitação e vice-versa. Isso pode estar relacionado aos sistemas frontais mais intensos e frequentes, que geram o anticiclone polar em latitudes médias, causando estabilidade e diminuição das precipitações.

Observando os índices de correlação para as quatro estações sazonais (Figura 41) foi possível identificar que a influência das altas latitudes ocorre mais intensamente no inverno, visto que as precipitações estão associadas quase que exclusivamente aos Sistemas Frontais, e o ENOS possui maior controle da precipitação na primavera, principalmente no mês de novembro. Flach e Grimm (2010) ressaltam que a influência do ENOS na América do Sul tem uma variação através do ciclo anual e que na primavera austral, a mesma se destaca no sudeste da América do Sul, acarretando um aumento (decréscimo) de eventos extremos na Bacia do Paraná- Prata nos episódios de El Niño (La Niña). Grimm (2009), ainda evidencia que o modo interanual de variabilidade, demonstra forte correlação com as anomalias de TSM associadas a ENOS, indicando que a primavera é a estação mais favorável as teleconexões

com oceano Pacífico Tropical, em virtude dessas vigorosas teleconexões, o ENOS tem maior influência e impacto sobre as precipitações no Sul do Brasil na primavera.

A (Figura 42) expõe os índices de correlações positivas e negativas entre a Precipitação na cidade do Rio Grande e a Pressão atmosférica, no período entre 1913 e 2016. Nesta análise as correlações negativas da região 3.4 do ENOS evidenciam que o fenômeno El Niño nesta condição (menor circulação atmosférica e maior pressão), acarretara em desintensificação dos ventos alísios e maior magnitude das precipitações no Sul do Brasil. E o contrário também é verdadeiro com relação à Lã Niña, que acarreta na intensificação dos ventos alísios e menor magnitude das precipitações no Sul do Brasil. Deve se considerar que ocorra a relação bi espacial esperada entre a correlação negativa (região 3.4 Niño) e correlação positiva (região 4 Niño).

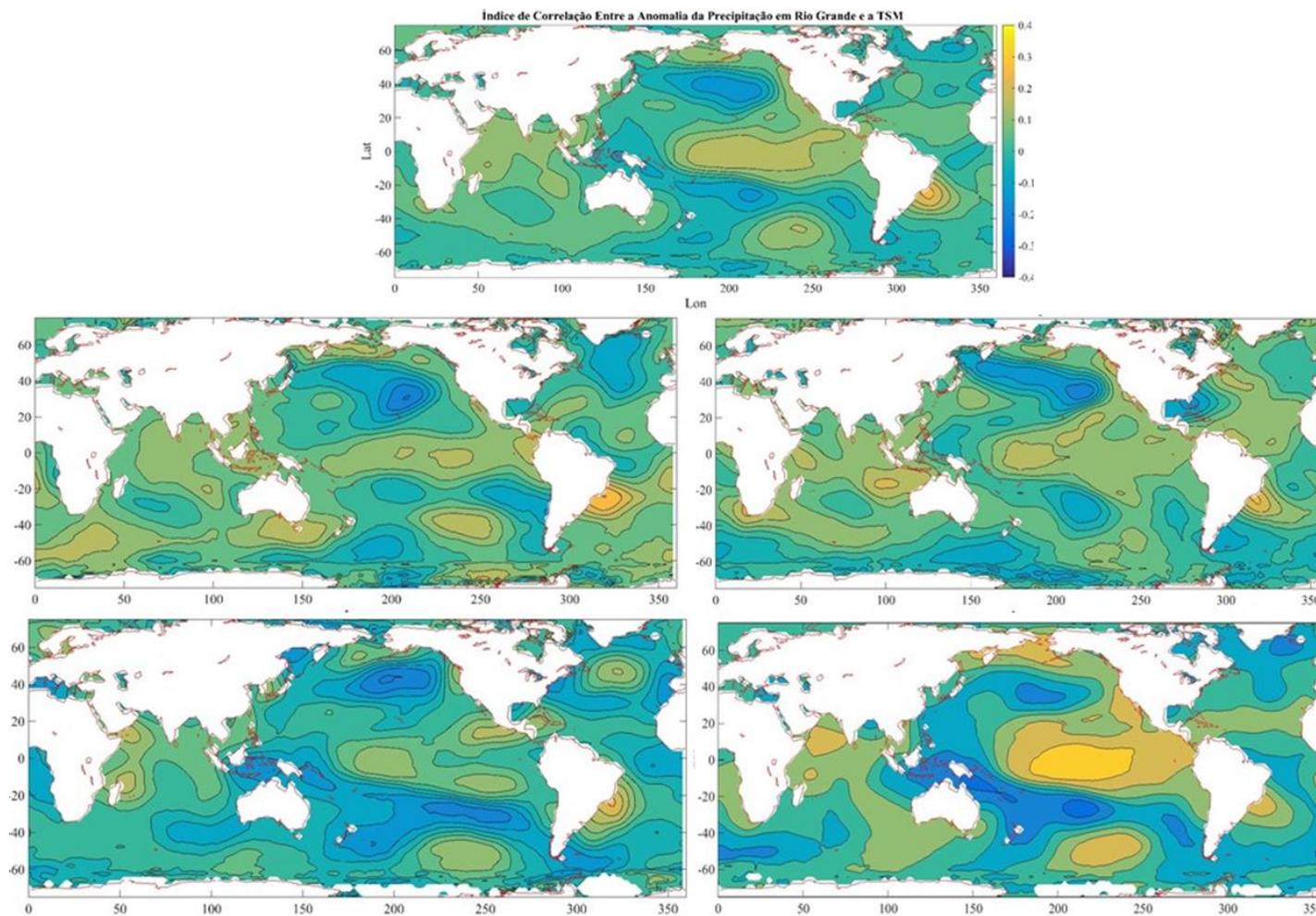
Na observação das quatro estações sazonais (Figura 42), a relação bi espacial das correlações positiva (negativa) permanece, contudo no verão as correlações estão mais associadas ao ENOS e as contribuições das Monções, através da intensificação dos alísios de nordeste, apresentando pouca influência austral. No entanto no outono e inverno, se mantém a influência do ENOS, porém ocorre maior contribuição das altas latitudes e maior entrada dos Sistemas Frontais, elevando a magnitude das precipitações. A primavera é considerada a estação que ocorre a maior variabilidade das precipitações e que tem maior influência do fenômeno ENOS, estando mais evidente a correlação negativa da região 3.4 e maior contribuição nas anomalias positivas (negativas) das precipitações na cidade do Rio Grande.

A Transformada de *Wavelet Morlot* auxiliou na observação e identificação dos ciclos da variabilidade climática de precipitação. Na observação do gráfico (Figura 43) foi possível identificar que no eixo horizontal está identificada a dimensão temporal, do período de 1913 a 2016, bem como no eixo vertical está discriminado o período de ocorrência dos eventos de precipitação, com uma janela de identificação de tempo de 1 até 9 anos, sendo ainda representado no lado direito do gráfico a potência espectral da onda em cores.

Assim foram selecionados os três principais ciclos da distribuição temporal, o primeiro ciclo resultou em uma observação de 6 a 12 meses, a qual obteve manchas menores sugerindo uma potência espectral pequena e períodos de sazonalidade. Os ciclos com janelas de 4 a 7 anos as ondas apresentaram uma potência espectral média, indicando uma influência de El Niño e La Niña. Estando este fenômeno associado às anomalias da precipitação, indicando períodos extremos de chuvas e secas intensas e prolongadas.

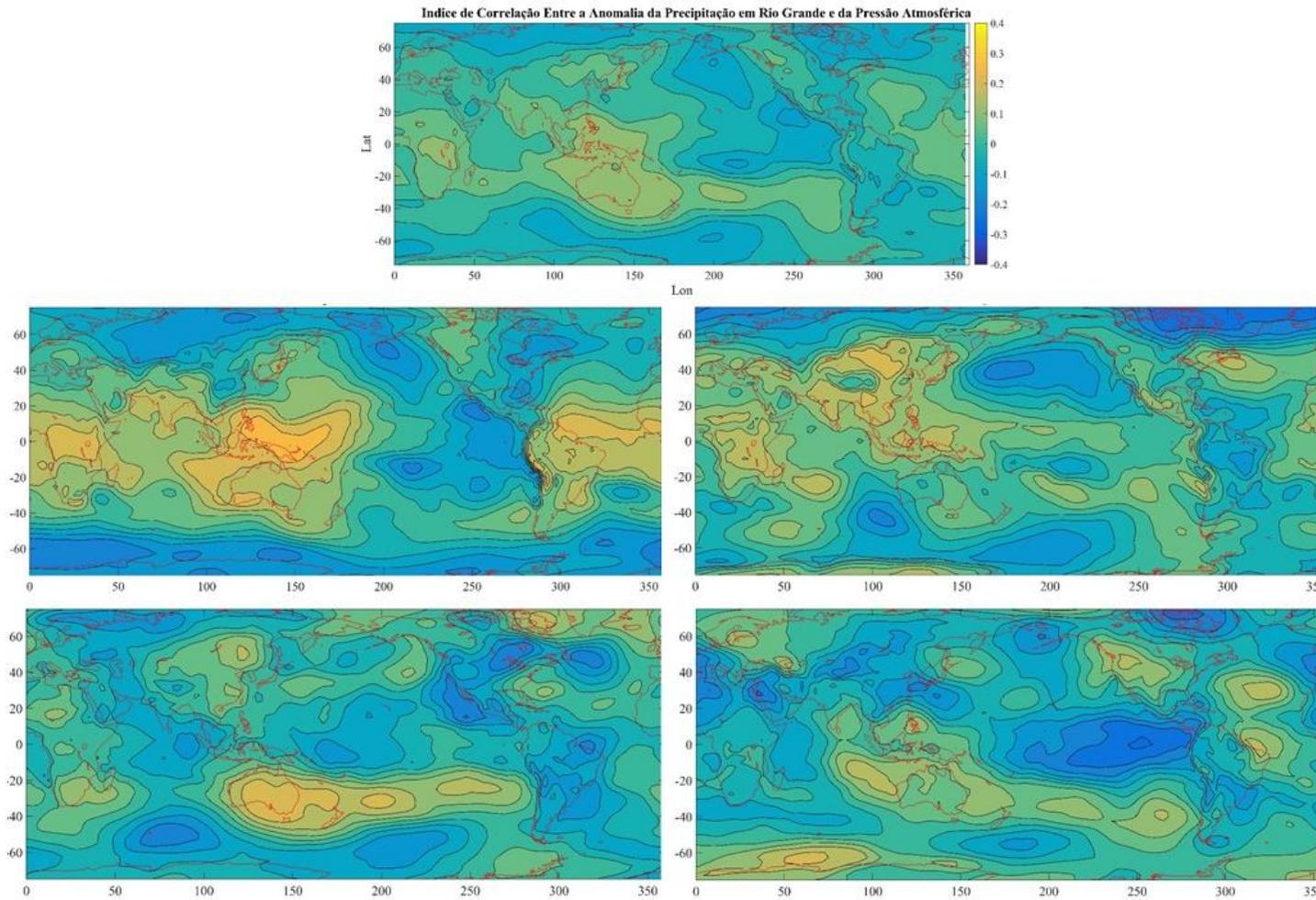
E por fim se buscou os resultados de uma observação de 8 a 9 anos, na qual as ondas apresentaram maior potência espectral, subentendendo que a partir dos anos 70 as modificações no clima passam a serem mais recorrentes nessa região com maior influência de fenômenos El Niños moderados e fortes. Possivelmente, a ocorrência do fenômeno ENSO mais intenso esteja associado às fases frias e quentes que ocorreram entre na segunda metade do século passado.

Figura 41 - Índice de Correlação entre a Anomalia da Precipitação em Rio Grande e a TSM Global.
Estações Sazonais A) Verão B)Outono C)Inverno e D) Primavera.



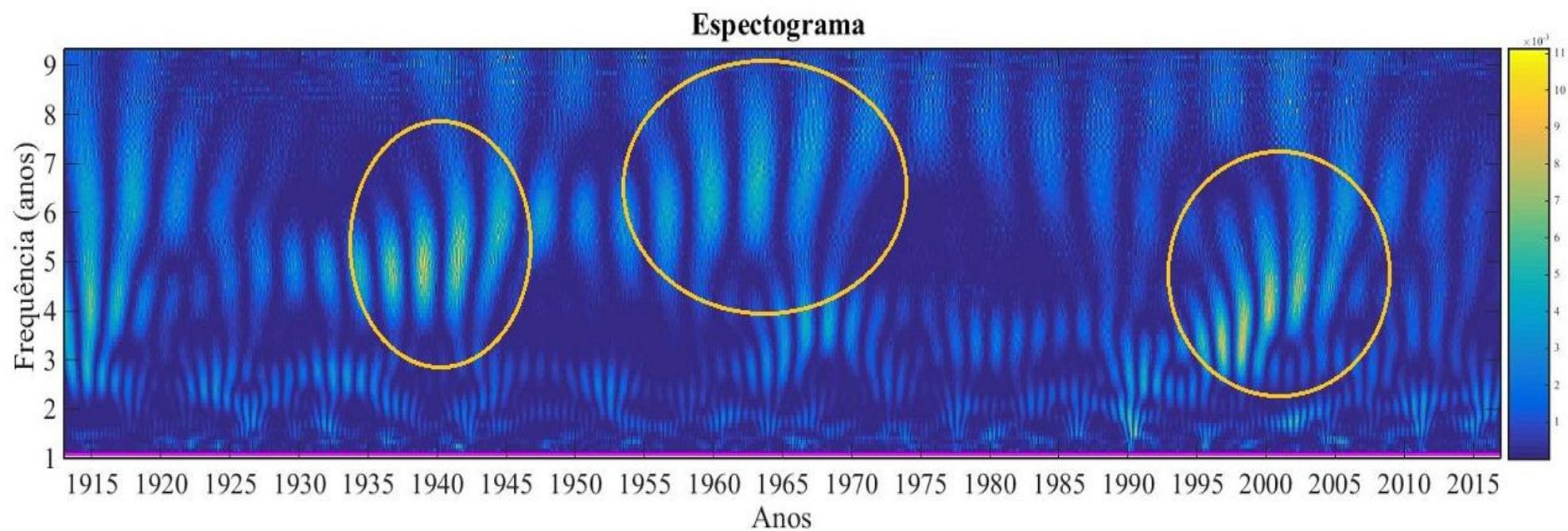
Fonte: Autora, 2019.

Figura 42 - Índice de Correlação entre a Anomalia da Precipitação em Rio Grande e a Pressão Atmosférica. Estações Sazonais A) Verão B)Outono C)Inverno e D) Primavera.



Fonte: Autora, 2019.

Figura 43- Espectrograma



Fonte: Autora, 2019.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As precipitações em Rio Grande, RS não apresentam uma distribuição sazonal, visto que não há registro de estação seca ou chuvosa. As chuvas são bem distribuídas ao longo do ano e possui magnitudes da precipitação anual com média de 102 mm, máxima de 551,8 mm e mínima de 0,3 mm. Já as médias mensais variam entre 71,2 mm e 126,7 mm.

As análises do desvio padrão nos períodos 1920-1950, 1950-1980 e 1980-2010 possibilitou identificar que esta variabilidade ocorre com maior frequência no verão e inverno. Sendo os fatores remotos que influenciam parcialmente a anomalia da precipitação na cidade do Rio Grande, com destaque da variabilidade interanual que está relacionada ao fenômeno ENOS. As anomalias positivas/negativas da precipitação estão em grande parte associadas aos eventos de El Niño e La Niña, com seu fortalecimento na primavera e diminuição da influência no verão.

O impacto do ENOS pode acarretar prejuízos significativos às atividades antrópicas, em especial nos episódios extremos da precipitação, gerando períodos de chuvas excessivas e ou secas. Ressaltasse que o predomínio da relação seca e chuva acima da média com a ocorrência de La Niña e El Niño, não explica toda a variabilidade da precipitação em Rio Grande.

Para identificar os eventos extremos de seca e chuvas excessivas na cidade de Rio Grande foi utilizada a distribuição de frequência em quartis. Os valores anômalos menores que |56,4 mm|, indicaram os extremos de secas (Q1) que ocorreram 219 meses no período entre 1913-2016, os quartis Q2 e Q3 indicaram os valores das ocorrências da precipitação entorno da média, sendo 498 meses e 321 meses respectivamente, e por fim foram identificados os eventos extremos de chuvas excessivas (Q4) com frequência de 210 meses o qual é caracterizado pelo registro de valores anômalos superiores a 56,4 mm.

Foram realizadas análises de variáveis secundárias como, os índices de variabilidade climática (SOI, PDO e SAM), estas análises demonstram que os índices SOI, PDO tem maior influência sobre as anomalias da precipitação na cidade de Rio Grande, visto que os mesmos ocorrem em escala de tempo interanual e interdecal, sendo relevante a sua atuação nos impactos de chuvas excessivas e secas intensas e prolongadas.

As contribuições Austrais, na região círculo polar afetam a frequência e a intensidade dos sistemas frontais que passam em Rio Grande. Na fase negativa/positiva do SAM, os sistemas atmosféricos da frontogênese estão deslocados para Norte/Sul, e com isso a maior/menor atividade frontal em Rio Grande causa maior/ menor taxas de precipitação.

As análises das correlações entre a TSM Global e a precipitação da cidade de Rio Grande, bem como as correlações entre a Pressão atmosférica e a precipitação da cidade de Rio Grande fazem inferências que a anomalia da precipitação esta associada aos padrões da região 3.4 do ENOS, indicando que a primavera é a estação mais favorável as teleconexões e a maior impacto sobre as precipitações.

Estas análises corroboram para que sejam propostas pelos governos, políticas de adaptação e mitigação as mudanças do clima, visto que as cidades costeiras e portuárias têm maior probabilidade a inundações. Desta maneira o tomador de decisão pode fazer uso de tecnologias e estudos científicos, para subsidiar as propostas de planejamento e gerenciamento das cidades costeiras, visando diminuir os impactos ambientais e aumentar a resiliência ambiental.

6 REFERÊNCIAS

- AMBRIZZI, T.; MARQUES, R.; NASCIMENTO, E. Clima da Região Sul do Brasil. Tempo e Clima do Brasil. São Paulo: Oficina Textos, 2009, 279-296 p.
- ANDRADE, K. M. Climatologia dos Sistemas Frontais na América do Sul. 2005.187f. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2005. 185p.; (INPE- 14056-TDI/ 1967).
- AQUINO, F. E. Conexão Climática entre o modo anular do Hemisfério Sul com a Península Antártica e o Sul do Brasil. 2012. 128f. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul-URGS, Porto Alegre, 2012.
- ASSIS, F.N.; ARRUDA, H.V.; PEREIRA, A.R. 1996. Testes de Aderência. In: Aplicações de Estatística à Climatologia: Teoria e Prática. – Pelotas: Ed. Universitária/UFPel, pp.139–148.
- ATLAS DE DESASTRES NATURAIS: 1991 A 2012. Centro Universitário de Estudo e Pesquisa de Desastres. 2ed.rev. ampl. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013. 104 p.: il. color. ; 22 cm.
- ATLAS DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO ÓLEO DA BACIA MARÍTIMA DE PELOTAS. João Luiz Nicolodi (Org). 1 edição. Porto Alegre : Panorama Crítico, 2016.
- ATLAS SOCIOECONÔMICO DO ESTADO DO RIO GRANDE DOS SUL – 2ª edição. Porto Alegre, 2002.
- BARRY, R. G.; CHORLEY, J. R. Atmosfera, tempo e clima. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 528p.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. El Niño e La Nina: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre. UFRGS, 2003.
- BUREAU of METEOROLOGY. Índice de Oscilação Sul (SOI) desde 1876. Disponível em: <http://www.bom.gov.au/climate/current/soi2.shtml>. Acesso em 18/09/2018.
- CASSIANO, K.R.M; SEILHE. *In*: Atlas Escolar do Rio Grande: 2019.
- CAVALCANTI, I. F.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.A.; DIAS, M.F. Tempo e Clima do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.463p.

CAVALCANTI, I.F.; KOUSKY. E.V. Clima da Região Sul do Brasil. Tempo e Clima do Brasil. São Paulo: Oficina Textos, 2009, 135-147 p.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. Análise Sinótica. Disponível em: <http://tempo.cptec.inpe.br/>. Acesso em 20/ 06/ 2018.

CEPTEC/INPE. El Niño e La Niña. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 02/11/2017.

CHIERICE, Roseli Aparecida Fernandes. O uso de wavelets na determinação do expoente de Hurst de uma série temporal diária de chuvas do município de Araras-SP de 1955-2000. 2003. xi, 71 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2003. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/91953>>.

COHEN, J.; CAVALCANTI, A.F.I.; BRAGA, M.H.R.; NETO, S.L. ALICE. Clima da Região Sul do Brasil. Tempo e Clima do Brasil. São Paulo: Oficina Textos, 2009, 76-93 p.

CORRAR, Luiz J.; PAULO, Edilson; DIAS FILHO, José M. Análise multivariada para os cursos de administração, ciências contábeis e economia. São Paulo: Atlas, 2009.

DAUBECHIES, I. Ten Lectures on Wavelets, Philadelphia, PA: Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), 1992. <https://jqichina.files.wordpress.com/2012/02/ten-lectures-of-waveletsefbc88e5b08fe6b3a2e58d81e8aeb2efbc891.pdf>. Acesso em: 17/02/2019.

DIAS, S.F.A.M.; SILVA, J.A.G.M. Clima da Região Sul do Brasil. Tempo e Clima do Brasil. São Paulo: Oficina Textos, 2009, 16 – 21 p.

FAGUNDES, F. Elaboração do Plano de Saneamento Básico (PMSB) do Município de Rio Grande: Relatório de Caracterização Municipal. Relatório Técnico. Rio Grande: Engeplus Engenharia e Consultoria, 2013.

FERREIRA, R.J E ROBAINA, L.E.S. Expansão Urbana e o Perigo de Desastres por Inundação em Rio Grande/RS. 2010.

GAN, A.M.; SELUCHI. EM. Ciclones e Ciclogênese. Tempo e Clima do Brasil. São Paulo: Oficina Textos, 2009, 101p.

GONÇALVES, S. J. Avaliação da Previsão Numérica Sazonal de Precipitação para o Rio Grande do Sul. 2015. Dissertação de Mestrado. 80f. Universidade Federal de Santa Maria –UFSM, Santa Maria, 2015.

- GRIMM, M. ALICE. Clima da Região Sul do Brasil. Tempo e Clima do Brasil. São Paulo: Oficina Textos, 2009, 259 p.
- HUANG, B., VF Banzon, E. Freeman, J. Lawrimore, W. Liu, TC Peterson, TM Smith, PW Thorne, SD Woodruff e H.-M. Zhang, 2014: Extended Surface Recovery Surface Temperature versão 4 (ERSST.v4): Parte I. Upgrades e intercomparações. *Journal of Climate*, 28, 911-930, doi: 10.1175 / JCLI-D-14-00006.1
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Dados Demográficos 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em 05/04/2017.
- IPCC. Intergovernmental Panel On Climate Change IPCC. Climate Change 2014 Synthesis Report. Cambridge Univ. Press. 2014.
- KALNAY et al., The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-470, 1996.
- KAYANO, T.M.; ANDREOLI, V.R. Clima da Região Sul do Brasil. Tempo e Clima do Brasil. São Paulo: Oficina Textos, 2009, 375-405 p.
- KERN, et al. Arqueologia Pré-Histórica do Rio Grand do Sul. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1997.356p.
- KOBIYAMA, M. *et al.* Prevenção de Desastres Naturais, Conceitos Básicos.1 ed. Curitiba. 2006.
- KRUSCHE, N.; SARAIVA, J.M. B.; REBOITA, M.S. Normais Climatológicas Provisórias de 1991 a 2000 para Rio Grande, RS. Departamento de Geociências da Fundação Universidade Federal de Rio Grande. Rio Grande do Sul, 2002.
- LOPES, V. A. ; FAN, F. M. ; COLLISCHONN, W. ; PONTES, P. R. M. ; SIQUEIRA, V. A. . APLICAÇÃO PRELIMINAR DO MODELO MGB – IPH PARA A BACIA HIDROGRÁFICA COMPLETA DA LAGUNA DOS PATOS. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015, Brasília-DF. Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre – RS: ABRH, 2015. p. PAP020142.
- MALLAT, S. A Wavelet Tour of Signal Processing, San Diego, CA: Academic Press, 1998. Disponível em: <https://www.di.ens.fr/~mallat/papiers/WaveletTourChap1-2-3.pdf>. Acesso em: 17/02/2019.

MARENGO, A.J. Mudanças Climáticas, Condições Meteorológicas Extremas e Eventos Climáticos no Brasil.2009.

MARENGO, J.A. Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: Caracterização do Clima Atual e Definições das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

MARENGO, J.A. O futuro do clima no Brasil. Revista USP. São Paulo, n.103, p25-32, 2014.

MARTINS, SOLISMAR FRAGA. Cidade do Rio Grande: industrialização e urbanidade (1873-1990), 2.ed..revisada e ampliada, Rio Grande: Ed,da FURG,2016.

MATZENAUER, Ronaldo ; RADIN, Bernadete ; ALMEIDA, Ivan Rodrigues de (Ed.). Atlas Climático:Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura Pecuária e Agronegócio; Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Atlas de sensibilidade ambiental a óleo da Bacia Marítima de Pelotas. João Luis Nicolodi (Org). – 1. ed.- Porto Alegre: Panorama Crítico, 2016.116p.

MORAES, F.D.S. Ambiente Atmosférico Favorável ao Desenvolvimento de Complexos Convectivos de Mesoescala no Sul do Brasil. 2016. 120f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, BR-RS, 2016.

MORAES, F.D.S. Precipitação e desastres associados ao Complexo Convectivo de Mesoescala que atingiu o Rio Grande do Sul em 22 e 23 de Abril de 2011. 2014. 86f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014, 86p.

NCAR.UNCAR. Índice Marshall Southern Annular Mode (SAM) Baseado em Estações. Disponível em: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/marshall-southern-annular-mode-sam-index-station-based>. Acesso em 14/11/2018.

NCDC. NOAA. Teleconexões Enso. Disponível em: <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/enso-tech.php>. Acesso em :

OMENA, JOÃO CARLOS RIBEIRO. A oscilação decadal do Pacífico (odp) e sua influência nas temperaturas máximas e mínimas do Rio Grande do Sul / João Carlos Ribeiro Omena; orientador Gilberto Barbosa Diniz. - Pelotas, 2010. – 78f. – Dissertação

(Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Faculdade de Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2010.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Impacto, Vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Marengo, J.A., Scarano, F.R.(Eds)].PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil.184 p.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Alterações Climáticas 2014: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade. Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P. IPCC. 2014.

PCC , 2012: Gerenciando os Riscos de Eventos Extremos e Desastres para Avançar na Adaptação às Mudanças Climáticas. Um Relatório Especial dos Grupos de Trabalho I e II do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima [Campo, CB, V. Barros, TF Stocker, D. Qin, DJ Dokken, KL Ebi, MD Mastrandrea, KJ Mach, G.-K. Plattner, SK Allen, M. Tignor e PM Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque, NY, EUA, 582 pp.

REBELLO, E.R.G.; A Oscilação Decadal do Pacífico e sua possível influência no clima do sul do Brasil, 23.03.2005, INMET, Brasília-DF, 2005.

REBOITA, M. et.al. Regimes de Precipitação na América do Sul: uma Revisão Bibliográfica, vs.25, n.2, 185 – 204, 2010.

REBOITA, S.M. Elementos da Variabilidade Climática no Extremo Sul do Brasil no período de 1990 a 2001.2004. 211f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande, 2004.

REBOITA. M.;KRUSCHE. N.; SARAIVA. J.M.Normais Climatológicas Provisórias de 1991 a 2010 para Rio Grande, RS In. Revista Brasileira de Metereologia, v.33, n.1, 165-179, 2018.

RESERCH. JISAO. A Oscilação Decadal do Pacífico (DOP). Disponível em: <http://research.jisao.washington.edu/pdo/>. Acesso em 20/09/2018.

SEELIGER. U e ODEBRECHT. C. O Estuário da Lagoa dos Patos: um século de transformações. Edição de U.Seeliger, C.Odebrecht. Rio Grande: FURG, 2010.180p.

SOI. Índice de Oscilação Sul (SOI) desde 1876. Disponível em:<https://www.gov.au/climate/current/soi2.shtml>. Acesso em 25/10/2019.

TAGLIANE, R.P; RIBEIRO, M.P; TORRES, H.L; ALVES. N.F. Arqueologia, Histórico e socioeconômica da Restinga da Lagoa dos Patos: Uma Contribuição para o Conhecimento e Manejo da Reserva da Biosfera, Rio Grande: Fundação Universidade Federal do Rio Grande, 2000.174 p.

TRIOLA, F. M. Introdução á Estatística; tradução Vera Regina Lima de Farias e Flores; revisão técnica Ana Maria Lima de Farias e Flores. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

TUCCI, C.E.M. Aspectos Institucionais no Controle de Inundações. I Seminário de Recursos Hídricos do CentroOeste. Brasília, 1999.

TUCCI, CARLOS E.M. Gestão de Águas Pluviais Urbanas. Ministério das Cidades. GlobalWaterPartnership – Wolrd Bank – Unesco.2005.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO. Meteorologia Sinótica. Disponível em: <http://www.masterantiga.iag.usp.br/ensino/Sinotica/AULA19/AULA19.HTML>. Acesso em: 14/03/2018.

VIEIRA, E.F.; 1983. Rio Grande: Geografia Física, Humana e Econômica. 1ªedição. Porto Alegre: SAGRA Editora e Distribuidora Ltda, 1983.157p.

VILLWOCK, J.A. & TOMAZELLI, L.J. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. Nota Explicativa para o Mapa Geológico em escala 1: 1.000.000. Versão Preliminar. Instituto de Geociências, CECO/UFRGS.

VITTE. A.C; GUERRA. T.A.J. Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. 2 edições. Rio de Janeiro: EDITORA BERTRAND BRASIL LTDA, 2007.280p.