

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Eventos extremos de precipitação no Rio Grande do Sul  
no Século XX a partir de dados de reanálise e registros  
históricos**

**PEDRO TEIXEIRA VALENTE**

**ORIENTADOR: FRANCISCO ELISEU AQUINO**

**PORTO ALEGRE, FEVEREIRO DE 2018.**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**Eventos extremos de precipitação no Rio Grande do Sul  
no Século XX a partir de dados de reanálise e registros  
históricos**

**PEDRO TEIXEIRA VALENTE**

**ORIENTADOR: FRANCISCO ELISEU AQUINO**

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Jefferson Cardia Simões (PPG em Geografia/ UFRGS)  
Prof. Dr. Mateus da Silva Teixeira (PPG em Meteorologia/ UFPEL)  
Dra. Venisse Schossler (INCT CRIOSFERA/UFRGS)

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-graduação em  
Geografia como requisito para  
Obtenção do título de  
Mestre em Geografia

PORTO ALEGRE, FEVEREIRO DE 2018.

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

**Reitor:** Rui Vicente Oppermann

**Vice-Reitor:** Jane Fraga Tutikian

## INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Diretor:** André Sampaio Mexias

**Vice-Diretor:** Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Valente, Pedro Teixeira

Eventos extremos de precipitação no Rio Grande do Sul no século XX a partir de dados de reanálise e registros históricos. / Pedro Teixeira Valente. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2018. [99 f.] il.

Dissertação (Mestrado).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2018.

Orientador(es): Francisco Eliseu Aquino

1. Climatologia. 2. Variabilidade climática. 3. ENOS. 4. Séries temporais. I. Título.

CDU 551.58

---

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Miriam Alves

CRB 10/1947

## AGRADECIMENTOS

É meu dever começar pelo maior professor que tive ao longo da vida: meu avô Miguel Amaro Teixeira, que segue vivo lecionando a todos as melhores maneiras de se levantar a cada queda. Obrigado por me mostrar a arte da resiliência, “Cururu”. Tudo que sou devo a ti!

Também não posso deixar passar a oportunidade de dizer obrigado a minha querida avó Wilma dos Santos Teixeira (*in memoriam*). Que eu consiga escrever meu nome no mundo com as palavras que tu me ensinaste.

Aos meus pais, Aline e Paulo Renato, por serem tão diferentes. Graças a isto pude aprender uma quantidade incomensurável de coisas e, por ter metade de cada um, saber uni-las.

Ao meu orientador, Francisco Eliseu Aquino, por todo apoio dado durante este projeto e por me apresentar à climatologia no meu primeiro semestre de graduação. Foi vendo o teu trabalho que decidi qual caminho queria seguir!

Ao professor Jefferson Cardia Simões, por me ensinar como a ciência deve ser feita e por me mostrar que nem todos os caminhos são confiáveis. Obrigado por ampliar minha capacidade crítica!

A minha família, principalmente minhas tias, Luciene “Tata” e Maura “Dadá”, meus irmãos Lucas e Bruna, meu primo Vinícius (meteorologista de plantão) e Graça! Assim como meus pais e avós, vocês compõem a sólida base que me sustenta!

Aos meus cachorros Petu’s, Gôdo e Vaquinha por, independentemente de o dia ser ensolarado, chuvoso, alegre ou triste, receberem-me com a maior felicidade do mundo. Não existe exemplo tão puro de lealdade como vocês!

Aos meus amigos, que há anos aguentam minhas piadas ruins e “histórias de pescador”! Urruth, Ben-hur, Leon, Guilherme, Kati, Danilo, Cassio, Rafa, Camila, Hermann, Helena, Anelise, Samuel, Fábio, Fred, Scalco, Younes e tantos outros. Que eu siga ao lado de vocês enquanto viver. Valeu, tigrada!

À Maiara dos Santos Mascarello por me acompanhar na trajetória do mestrado, desde a seleção, e por me apresentar um mundo de coisas das quais sempre soube que existiam, mas nunca havia reparado o quão perto estavam! Agradeço também pelas reflexões e questionamentos aprendidos. Obrigado por me mostrar que existe algo entre sangue e tubarões!

Às amigas que fiz ao longo desta estadia na UFRGS, desde os departamentos de Geografia e Economia. Aos colegas do Centro Polar e Climático, em especial aos geógrafos Paulo Galarça, Venisse Schossler e Denilson Ribeiro Viana pelas contribuições ao longo da pesquisa. Quero ir o mais longe possível com todos vocês!

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e à Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelos recursos disponibilizados e pelo espaço cedido para a realização desta pesquisa.

A todos que trabalham com climatologia e publicaram os trabalhos aqui referenciados. O conhecimento produzido por vocês me faz querer ir adiante neste tema! E, para finalizar, a todos aqueles que se preocupam em manter viva a história. Seja guardando documentos, fotos ou passando o que sabem adiante.

*A superfície da Terra apresenta uma infinidade de lugares. Deves fugir de alguns e buscar outros. Todavia, deves conhecer bem todos eles.*

Sun Tzu

## RESUMO

Este trabalho elaborou séries temporais de eventos extremos de precipitação, de 1901 a 2000 para o Estado do Rio Grande do Sul (RS). Utilizou-se reanálises da Universidade de Delaware (EUA), registros históricos de jornais, registros oficiais, e dados de 17 estações meteorológicas do INMET no RS. Identificou-se anomalias climáticas (positivas e negativas) de precipitação ao longo do século XX em diferentes pontos do RS. Adotou-se como evento extremo anomalias superiores (inferiores) a 50 mm (-50 mm). As séries foram aplicadas a um zoneamento da precipitação do RS visando avaliar a variabilidade e a distribuição, assim como a influência do El Niño – Oscilação Sul (ENOS). O zoneamento escolhido foi: Campanha, Litoral e Planalto. Por fim, foi gerada uma classificação da variabilidade da precipitação durante eventos ENOS para o RS, no século XX, com base na classificação do ENOS na região do Niño 3.4. Identificou-se que as zonas Campanha e Planalto são mais suscetíveis à variabilidade do ENOS com média de 75 mm em eventos positivos e -67 mm em eventos negativos de precipitação, e o Litoral apresenta menor influência aparente, indicando uma subdivisão desta zona em dois setores devido ao seu contraste latitudinal. A maior anomalia mensal para os meses neutros foi de 428,90 mm (abril de 1959), 224,51 (abril de 1941) mm em anos de El Niño e 174,55 mm (janeiro de 1938) em La Niña. Por fim, observou-se que o zoneamento não se mostrou adequado para esta análise, pois o Planalto, maior zona em área, apresenta uma amplitude de 1200 m na altimetria, e o Litoral apresenta um comportamento diferenciado devido ao contraste latitudinal e a escarpa do planalto no litoral norte. Identificou-se que os primeiros 50 anos do século XX apresentam equivalência entre a região do Niño 3.4 e o RS. A partir de 1950, os eventos no RS passaram a ter uma classe maior do que no Niño 3.4, ou seja, houve um aumento (diminuição) médio de 50 mm (-25 mm) nas anomalias positivas (negativas) de precipitação no RS. Assim, nos últimos 50 anos, um evento de uma determinada classe na região Niño 3.4 pode gerar anomalias de precipitação maiores no Rio Grande do Sul.

Palavras chaves: Climatologia; Variabilidade Climática; ENOS; Séries Temporais.

## ABSTRACT

This work elaborated time series of precipitation extreme events (1901-2000) for the Rio Grande do Sul State (RS). Reanalysis from University of Delaware, newspapers historical records, official records and data from 17 INMET meteorological stations were used. Precipitation climatic anomalies (positive and negative) were identified at different points of RS during the 20<sup>th</sup> century. It was found that positive (negative) anomalies were above (below) of 50 mm (-50 mm). The time series were applied to a RS precipitation zoning to spatialize the variability and distribution, as well the influence of El Niño – South Oscillation (ENSO). The zoning was: Campanha, Litoral and Planalto. Afterwards, a classification of RS precipitation variability during ENSO events was generated based on Niño 3.4 region classification. It was identified that Campanha and Planalto zones are more susceptible to ENSO variability, pointing a mean of 75 (-67) mm in positive (negative) precipitation events, and the Litoral showed less apparent influence, indicating a subdivision of this zone into two sectors due it's latitudinal contrast. The highest monthly anomaly in neutral months was 428,90 mm (April 1959), 224,51 mm (April 1941) in El Niño events and 174,55 mm (January 1938) in La Niña events. Finally, it was observed that the zoning was not adequate for this analysis, since the Planalto, largest zone, presents 1200 m of amplitude in altimetry and the Litoral presents differentiated behavior due the latitudinal contrast and the escarpment of the Plateau on the north coast. It was identified that the first 50 years of the 20<sup>th</sup> century presented equivalence between Niño 3.4 region and the RS classifications. After 1950, the events in RS started to show a higher class than in Niño 3.4. There was an average increase (decrease) of 50 mm (-25 mm) in positive (negative) precipitation anomalies in RS. Then, in the last 50 years, an event of a certain category may generate higher precipitation anomalies at the Rio Grande do Sul.

Keywords: Climatology, Climatic variability, ENSO, Time Series.

## SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO	14
1.1	Introdução	14
1.2	Objetivos	15
1.1.2	Objetivo geral	15
1.1.3	Objetivos específicos	15
1.1.4	Justificativa	16
2	APORTE TEÓRICO	18
2.1	Relevo e hidrografia do RS	18
2.2	Precipitação no RS no Século XX	20
2.3	El Niño – Oscilação Sul	24
2.3.1	El Niño – Oscilação Sul no RS	32
2.4	Séries temporais	34
3	DADOS E MÉTODOS	36
3.1	Área de estudo	36
3.2	Registros históricos	38
3.2.1	Construção do banco de dados	38
3.2.2	Estações meteorológicas	40
3.3	Banco de dados DLW	41
3.4	Métodos	42
3.4.1	Análise estatística e validação dos dados	42
3.4.2	Técnicas e operação	44
3.4.3	Identificação dos eventos extremos a partir dos dados DLW	47
3.4.4	Análise da série de registros históricos	47
3.4.5	Classificação do ENOS para o RS	48
4	RESULTADOS	50
4.1	Série histórica	50
4.1.1	Jornal “A Federação” – anomalias positivas	50
4.1.2	Jornal “A Federação” – anomalias negativas	58
4.1.3	Pesquisa histórica: Superintendência de Portos e Hidrovias	64
4.2	Séries DLW	69
4.2.1	Séries temporais	69
4.2.2	Distribuição de frequência	74

4.2.2.1	Campanha	74
4.2.2.2	Litoral	77
4.2.2.3	Planalto	79
4.3	Variabilidade climática dos eventos extremos no RS no Século XX	81
4.3.1	Campanha	81
4.3.2	Litoral	84
4.3.3	Planalto	88
4.4	Classificação dos eventos ENOS no RS no Século XX	91
5	CONCLUSÕES	93
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de relevo e hidrografia do Rio Grande do Sul. ....	20
Figura 2 – Distribuição da precipitação média anual do RS (1977-2006).. ....	21
Figura 3 - Relevo e precipitação média mensal (1977-2006). ....	22
Figura 4 - Padrões de pressão das fases El Niño. ....	25
Figura 5 - Condições de TSM média e anomalia da fase positiva e negativa ..	26
Figura 6 - Condições para formação do El Niño. ....	27
Figura 7 - Condições da fase neutra .....	27
Figura 8 - Regiões de monitoramento da TSM e pressão para previsão de um evento ENOS. ....	28
Figura 9 – Anomalias de TSM indicando os episódios de ambas as fases do ENOS no período de janeiro de 1950 a março de 1997. ....	29
Figura 10 – Registros históricos de El Niños nos últimos cinco séculos (1525 a 1987). ....	32
Figura 11 – Localização do RS, área de estudo, no Brasil e sua divisão municipal. ....	36
Figura 12 - Exemplo da importância das reanálises no preenchimento de lapsos em uma série de dados. ....	42
Figura 13 – Distribuição dos pontos de grade e localização das quatro estações meteorológicas utilizadas para validação. ....	43
Figura 14 - Demonstração do método dos quartis. ....	45
Figura 15 - Proposta de regionalização da precipitação da Região Sul do Brasil .....	46
Figura 16 - Proposta de zoneamento da precipitação do RS. ....	46
Figura 17 - Fluxograma da validação dos dados DLW. ....	49
Figura 18 - Municípios com registros de enchentes no RS entre 1900 e 1937. ....	52
Figura 19 - Municípios com registro de inundação no RS entre 1900 e 1937. ....	53
Figura 20 - Municípios com registro de enchente e inundação no período 1900-1937. ....	54
Figura 21 - Relevo, hidrografia e municípios com registros de enchente. ....	55
Figura 22 - Exemplo da expansão da área de registros de enchente em um município ao longo do seu crescimento. ....	56
Figura 23 - Níveis do lago Guaíba das enchentes dos primeiros quatorze anos do século XX. ....	57
Figura 24 - Descrição dos totais pluviométricos e outras variáveis para as Lagoas dos Patos e Mirim no início do século XX. ....	58
Figura 25 - Nota da estação agrônômica, atual estação agrônômica da UFRGS próxima ao município de Arroio dos Ratos. ....	60
Figura 26 - Notícia do fim de um período de três meses de estiagem em Uruguaiana. ....	61
Figura 27 - Reportagem sobre a mortandade do gado devido à estiagem, na região de Uruguaiana. ....	61

Figura 28 - Reportagem sobre um evento de estiagem e a canalização de arroios no RS.....	62
Figura 29 - Notícia sobre uma estiagem em Alfredo Chaves .....	62
Figura 30 - Notícia de estiagem em Santana do Livramento. ....	63
Figura 31 - Estiagem na região da campanha .....	63
Figura 32 - Média anual das descargas fluviais na barra de Rio Grande. Período (1944-1975).....	65
Figura 33 - Mapa do número de dias e o total da precipitação acumulada (mm) entre abril e maio de 1941. ....	68
Figura 34 - Avaliação das facilidades e dificuldades de busca e padronização dos dados de registros históricos. ....	69
Figura 35 - Série temporal dos eventos anômalos de precipitação da zona Campanha (1901 a 2000). ....	71
Figura 36 - Série temporal dos eventos anômalos de precipitação da zona Litoral (1901 a 2000).....	72
Figura 37 - Série temporal dos eventos anômalos de precipitação da zona Planalto (1901 a 2000).....	73
Figura 38 - Distribuição de frequência das anomalias de precipitação mensal da zona Campanha. ....	76
Figura 39 - Distribuição de frequência das anomalias climáticas da zona Litoral .....	78
Figura 40 - Distribuição de frequência das anomalias climáticas da zona Planalto.....	80
Figura 41 - Série das anomalias de precipitação DLW incluindo os registros históricos e meteorológicos para a zona Campanha (1901 a 2000).....	83
Figura 42 - Série das anomalias de precipitação DLW incluindo os registros históricos e meteorológicos para a zona Litoral (1901 a 2000).....	87
Figura 43 - Série das anomalias de precipitação DLW incluindo os registros históricos e meteorológicos para a zona Planalto (1901 a 2000). ....	90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Gênese das precipitações no RS das quatro estações do ano.....	24
Tabela 2 - Episódios e Intensidades de El Niño e La Niña ocorridos no século XX.....	30
Tabela 3 – Registros de meses de ocorrência de El Niño e de La Niña entre janeiro de 1950 e março 1997.....	31
Tabela 4 - Rendimento médio de soja e milho no RS (1995-2000).....	33
Tabela 5 - Resumo qualitativo dos efeitos do ENOS na produção agrícola do RS.....	34
Tabela 6 - Causas de perdas de safras no RS (1992-1997).....	34
Tabela 7 - População total e média de crescimento anual do RS no século XX.....	37
Tabela 8 - Lugares e notícias a serem investigadas.....	39
Tabela 9 - Código e localização das estações meteorológicas utilizadas.....	41
Tabela 10 - Quantidade de anomalias extremas de precipitação na zona Campanha.....	74
Tabela 11 - Quantidade de anomalias extremas de precipitação na zona Litoral.....	77
Tabela 12 - Quantidade de anomalias extremas de precipitação na zona Planalto.....	79
Tabela 13 - Classificação do ENOS no Oceano Pacífico (Niño 3.4) adotada para comparar a intensidade dos eventos no RS (El Niño/La Niña).....	92

## LISTA DE ABREVIACOES

AS – América do Sul

Cb – Cumulonimbus

CCM – Complexo Convectivo de Mesoescala

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DLW – Universidade de Delaware

ENOS – El Niño – Oscilao Sul

FEE – Fundao de Economia e Estatística do Rio Grande do Sul

FFT – Transformada Rápida de Fourier

HS – Hemisfério Sul

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

JAN – Jatos de Altos Níveis

JBN – Jatos de Baixos Níveis

KS – Teste de Kolmogorov-Smirnov

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration

ODP – Oscilao Decenal do Pacífico

OMJ – Oscilao Madden Julian

OS – Oscilao Sul

RS – Rio Grande do Sul

SAM – Módulo Anular do Hemisfério Sul

SPGG – Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão

SPH – Superintendência de Portos e Hidrovias

TSM – Temperatura de Superfície do Mar

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

## **1- APRESENTAÇÃO**

### **1.1 - Introdução**

A precipitação constitui um fenômeno natural que impacta a vida humana desde seus primórdios. Além disso, somos vulneráveis às condições extremas que podem transformar o ambiente. O Rio Grande do Sul (RS) apresenta diferentes regimes de precipitação ao longo do seu território. Diversos fatores contribuem para que haja esta diferença, como o relevo, a ciclogênese, frontogênese, as teleconexões, entre outros sistemas atmosféricos e o próprio homem. Logo, pode-se realizar um zoneamento da precipitação do RS considerando esses fatores e buscar a origem de uma determinada anomalia de precipitação positiva e ou negativa.

No RS, a prática do registro meteorológico iniciou no começo do século XVIII (GALARÇA, 2003). Contudo, os registros não apresentam continuidade e padronização. O procedimento correto a respeito das observações meteorológicas só passou a ser seguido a partir da década de 1960. No entanto, encontram-se registros, mesmo que escassos em alguns lugares, de observações inferidas nos primeiros anos do século XX. Notícias de jornais, observações de viajantes e até mesmo registros oriundos de estações meteorológicas estão disponíveis, em formato virtual e impresso.

Ao trabalhar com dados climáticos, percebe-se que a disponibilidade dos registros de precipitação nem sempre ocorre e, em alguns casos, apresenta erros ou períodos sem observação (BURROUGHS, 2007; BARRY e CHORLEY, 2013). Portanto, simulações, reanálises e modelagens climáticas são ferramentas úteis para a compreensão do regime pluvial de um determinado lugar, bem como podem preencher lacunas em períodos sem observação. Entretanto, a maior utilidade que algumas dessas reanálises possuem é apresentarem dados do início do século XX, época na qual o monitoramento meteorológico ainda não era uma atividade comum.

A partir desses fatos, optou-se por analisar as anomalias de precipitação do século XX no RS comparando e ajustando com registros em jornais, estações meteorológicas, relatos de viajantes que passaram pelo RS e documentos oficiais do governo, com as reanálises da variável precipitação provenientes da Universidade de Delaware (1901-2000) para o mesmo

período. Em trabalhos anteriores (FONTANA e BERLATO, 1997; VIANA, 2009; VALENTE, 2015), séries temporais e zoneamentos climáticos do Rio Grande do Sul e da Região Sul do Brasil foram gerados demonstrando o comportamento da precipitação e seus episódios anômalos (positivos e negativos) durante o século XX. Valente (2015) elaborou uma série eventos extremos de precipitação para o sudeste da América do Sul utilizando a compilação da Universidade de Delaware (DLW), conforme descrito por Matsuura e Willmott (2009). O banco de dados gerado por esse estudo permite analisar os eventos anômalos de precipitação no RS. Posteriormente, estes eventos serão comparados aos episódios de El Niño e La Niña para determinar quais anomalias aconteceram dentro dos episódios deste módulo de variabilidade.

## **1.2– Objetivos**

### **1.1.2 – Objetivo Geral**

Elaborar série de eventos extremos, positivos e negativos, de precipitação no Rio Grande do Sul para o século XX.

### **1.1.3 – Objetivos Específicos**

- Criar séries temporais de eventos extremos de precipitação no RS baseados no registro instrumental oficial e não oficial e na imprensa regional;
- Investigar conexões, aplicando técnicas estatísticas, entre a variabilidade dos eventos extremos de precipitação com o El Niño – Oscilação Sul (ENOS) no RS.
- Investigar se as séries temporais desenvolvidas neste trabalho representam a distribuição zonal da precipitação do RS proposta por Viana (2009).

#### **1.1.4 – Justificativa**

A Região do Sul do Brasil costuma ser palco de episódios intensos de precipitação (OLIVEIRA, 1999; MARENGO, 2007 e 2010; VIANA, 2009; GRIMM, 2009; REBOITA, 2010). Estas anomalias trazem prejuízos às populações residentes, tanto no meio urbano quanto no meio rural. Logo, torna-se necessário conhecer o comportamento dos padrões de precipitação e delimitar suas áreas de maior intensidade ao longo dos últimos cem anos para compreender o quanto a sua variação é influenciada pela ciclogênese e outros tipos de mecanismos geradores de precipitação no continente.

Outra razão para esta pesquisa é a aplicação do conhecimento nela adquirido para a prevenção de desastres, inundações e também para a agricultura do RS. O entendimento dos padrões das anomalias de precipitação do século XX pode auxiliar no planejamento e prevenção de danos e prejuízos causados por eventos extremos futuros. Este auxílio seria útil para a contenção de excessos hídricos, previsão de estiagens, monitoramento de cultivos e possíveis mudanças nos seus ciclos em decorrência das anomalias geradas pelo ENOS, como também por fatores meteorológicos locais. As séries de precipitação extrema serão analisadas em um zoneamento climático do Estado que permitirá a classificação dos eventos e o entendimento de sua espacialização.

Ressalta-se também o resgate de dados históricos que o estudo almeja propiciar. Galarça (2003) e Galarça e Simões (2015) realizaram uma pesquisa sobre os eventos extremos de temperatura e precipitação do RS durante o século XIX. Nessas obras, os autores encontraram dados meteorológicos que permitiram reconstituir uma série temporal com os períodos de seca, nevasca, enchentes e ondas de frio e calor para o RS. Além disto, os dados instrumentais encontrados foram comparados à normal climatológica (1961 – 1990) do Estado para se conhecer as alterações das médias de precipitação entre os dois períodos.

No RS, estudos sobre a influência do ENOS na precipitação são recorrentes desde a década de 1980 (BERGAMASCHI, 1989; BERLATO, 1992; FONTANA e BERLATO, 1997). Esses e outros estudos observaram que a variabilidade da precipitação do RS está relacionada às fases do ENOS.

Nesses estudos, a exceção de Berlato e Fontana (1997), há material sobre a variabilidade da precipitação nos últimos cinquenta anos do século XX. Portanto, este trabalho também visa construir uma série temporal para todo o século XX, por meio de pesquisas históricas e reanálises, para analisar a influência do ENOS desde a primeira até a última década do século XX.

Para realizar estas tarefas, haverá uma reconstituição dos dados observados, lembrando que a quantidade é maior para o século XX. O estudo também pretende contribuir para o resgate do acervo histórico tanto de informações referentes ao clima gaúcho como de outros dados antigos que puderam ser encontrados e utilizados ao longo desta pesquisa.

## **2 – APORTE TEÓRICO**

### **2.1 – Relevo e hidrografia do RS**

No RS, a diferença topográfica apresenta sensível influência nos elementos climáticos, notadamente, na precipitação (Figura 1). O relevo gaúcho, portanto, é dividido em quatro unidades geomorfológicas: o Planalto compreende a parte norte do RS. A litologia desta unidade é formada por rochas ígneas. Em alguns locais existem afloramentos de arenitos eólicos, provenientes da base estratigráfica da formação Botucatu. No Planalto encontram-se as maiores altitudes, com o ponto mais alto localizado a 1400 m do nível do mar, em Bom Jesus. A Depressão Central, faixa que se estende pelo centro do Estado, no sentido leste-oeste, é formada, em sua maioria, por rochas sedimentares. As altitudes não apresentam grandes diferenças topográficas, os pontos mais altos estão em torno de 250 m. O Escudo Sul-Rio-Grandense, localizado no sul do RS, é formado por rochas cristalinas de idade Pré-Cambriana e Cambriana. O retrabalhamento tectônico, ocorrido ao longo de sua formação gerou uma série de falhamentos e dobramentos. Estas feições foram posteriormente intemperizadas e erodidas, dando origem a uma série de pequenos vales e ravinamentos. Depois do Planalto é a unidade com as maiores altitudes, chegando a atingir aproximadamente 600 m (SECRETARIA DA AGRICULTURA, 1994; GALARÇA, 2003). Por último, a planície Costeira, com morfologia moldada por uma série de regressões e transgressões marinhas, associadas aos ciclos glaciais e interglaciais do Quaternário (TOMAZELLI e VILLWOCK, 1995), não apresentando altitudes superiores a 150 m.

A rede hidrográfica do Estado é formada por um complexo sistema fluvial e lagunar, que está organizado espacialmente pelo relevo (Figura 1). Galarça (2003) menciona que o interflúvio está orientado como uma “linha” em forma de um “C”, com a parte côncava voltada para o leste. Esta elevação é o divisor de águas, que delimita as duas principais bacias do Estado, que são a do Rio Uruguai e a do Atlântico. Dentro destas bacias, há uma divisão de vinte e cinco de sub-bacias conforme os rios de maior ordem encontrados no Estado (COMITÊ DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, 2017). Estas sub-bacias possuem

comitês que realizam a gestão dos municípios residentes dentro de cada bacia com os rios, tributários e principais, referentes a obras e planos contra inundações.

No que se refere aos sistemas lagunar do Estado, a laguna dos Patos é o grande sistema gerenciador do aporte hídrico da bacia do Atlântico. A laguna possui uma área de 10.360 km<sup>2</sup> (VIEIRA, 1984) estendendo-se no sentido Nordeste - Sudoeste (paralela ao litoral sul do RS) desde Itapuã, onde recebe as águas do lago Guaíba, até a barra do Rio Grande, onde se liga ao oceano Atlântico. A lagoa Mirim, o segundo sistema em tamanho e importância, possui uma área de 3.749 km<sup>2</sup> dos quais 2.838 km<sup>2</sup> em território brasileiro. O seu comprimento, no eixo mais longo, é de aproximadamente 174 km e a sua largura, também no eixo maior é de 45 km. Liga-se esta lagoa à laguna dos Patos pelo canal de São Gonçalo, por onde passam a descarga hídrica e sedimentar de uma parte dos depósitos provenientes do Escudo e da Planície Costeira. Esses dois sistemas são os mais importantes entre o conjunto de lagoas e lagunas existentes ao longo do litoral. Em períodos chuvosos, as margens são alteradas pelas cheias que provocam avanços e regressões de pontais. É importante evidenciar a questão topográfica nesta relação, visto que as enchentes ocorridas na planície costeira, ao contrário do Planalto, estão relacionadas ao terreno plano que permite uma rápida inundação.

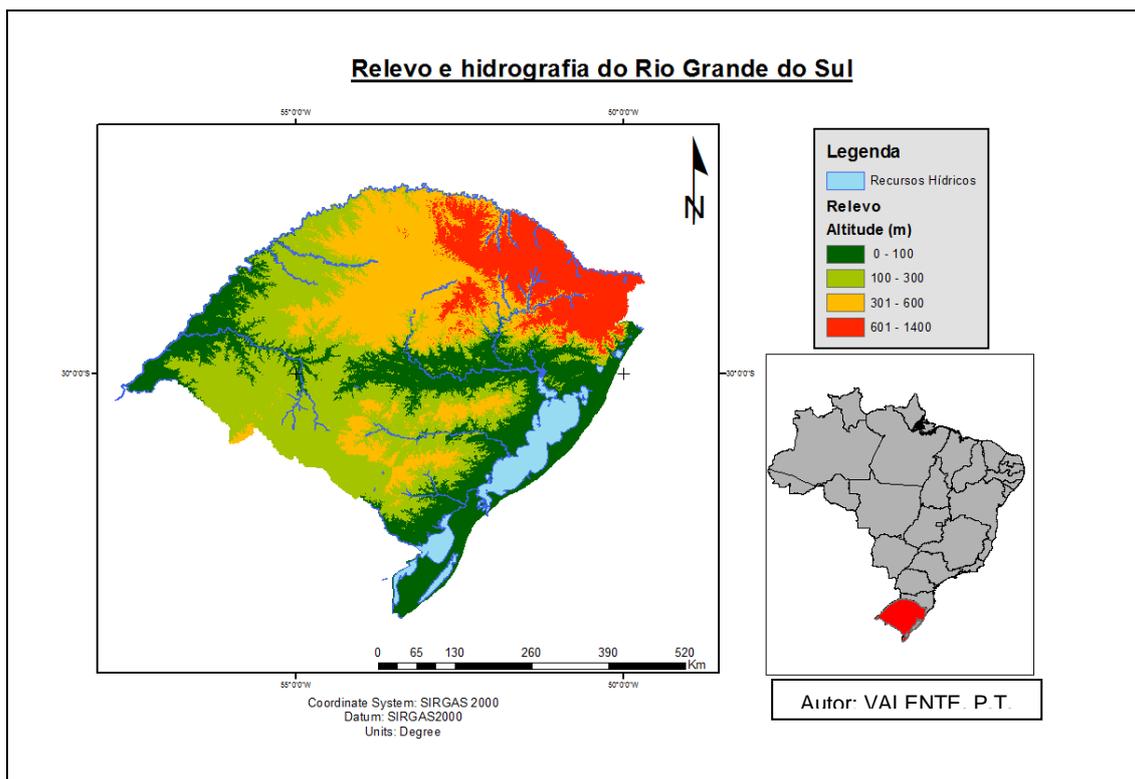


Figura 1 - Mapa de relevo e hidrografia do Rio Grande do Sul.

## 2.2– A precipitação do RS no século XX

Segundo Grimm (2009), o relevo do RS é determinante no seu comportamento climático (Figuras 2 e 3). A maior umidade vinda do norte/noroeste atua de maneiras diferentes em cada feição. Em função do relevo da América do Sul (AS), boa parte do transporte de umidade atua na baixa troposfera. A topografia da cordilheira dos Andes barra ventos de baixos níveis vindos do Oceano Pacífico e direciona os sistemas vindos do Atlântico e da faixa tropical do continente para a Região Sul do Brasil, Uruguai e norte da Argentina.

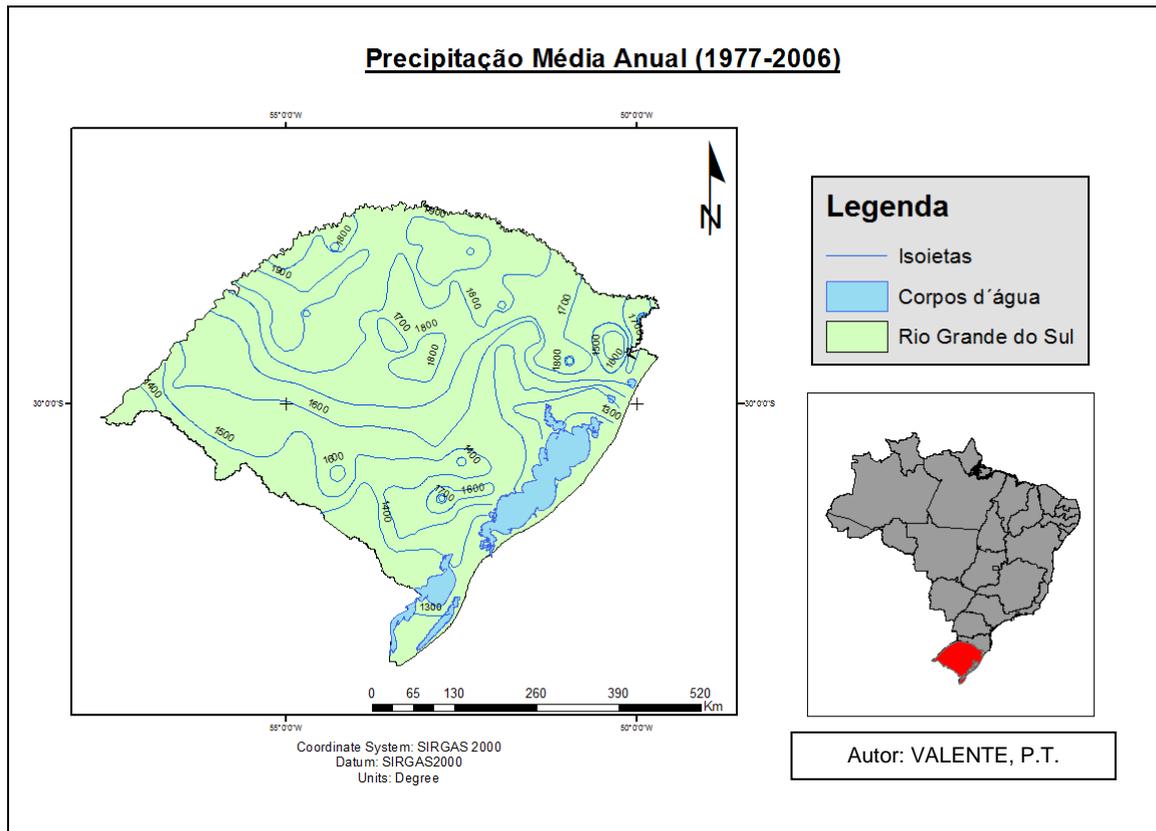


Figura 2 – Distribuição da precipitação média anual do RS (1977-2006). Fonte: CPRM.

Diferentes tipos de fluxos geram diferentes fontes de chuva. Grimm *et al.* (1998) mostram que o regime de precipitação do RS possui dois sistemas distintos que variam conforme a estação. Na primavera e verão predominam os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), que são aglomerados de nuvens do tipo Cumulonimbus (Cb) que se unem a nuvens do tipo Cirrus formando este sistema convectivo. Esses complexos são caracterizados por um curto período de duração, de seis a doze horas, e precipitações intensas, causando danos materiais e perdas humanas (VIANA, 2009; MORAES, 2014). A formação de um CCM, na América do Sul, constitui-se entre um período de 10 a 20 horas (VELASCO e FRITSCH, 1987; CAMPOS *et al.*, 2008, DURKEE e MOTE, 2009).

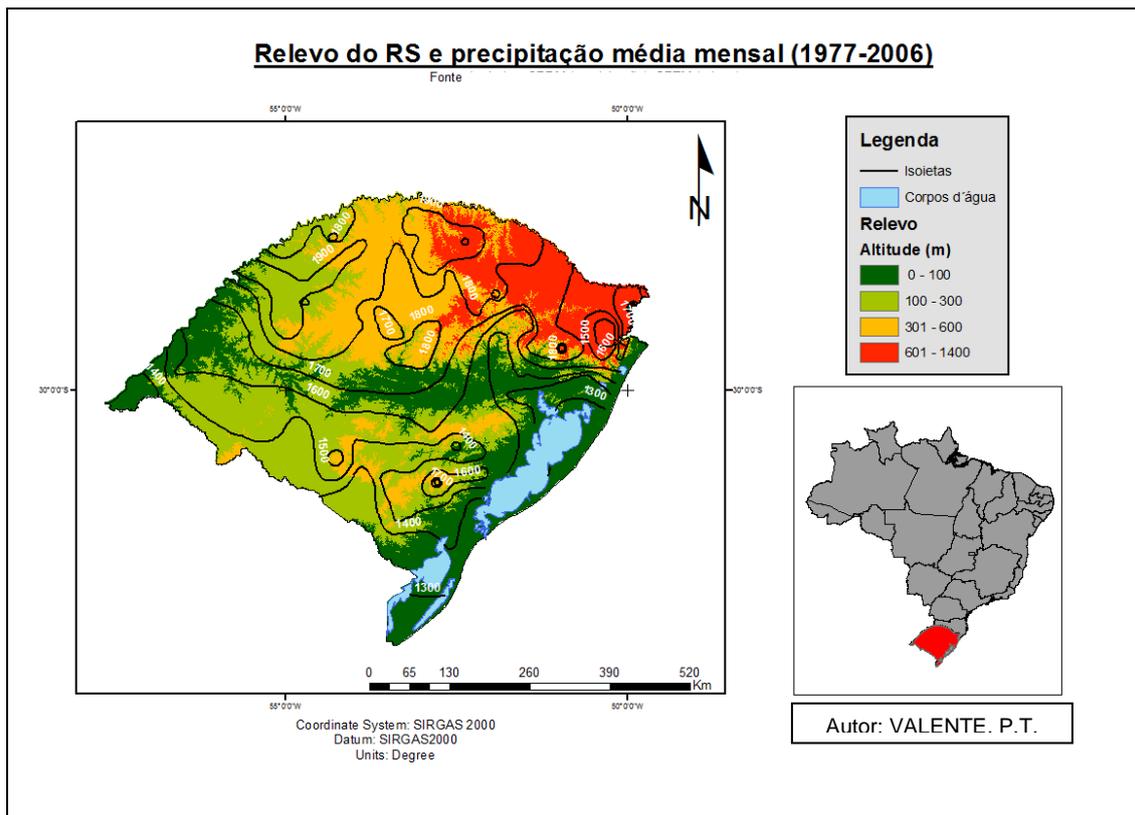


Figura 3 - Relevo e precipitação média mensal (1977-2006). Fonte: SRTM e CPRM.

A principal área de formação e ocorrência corresponde ao norte da Argentina, Paraguai e sul do Brasil, ocorrendo o ano todo, com maior frequência nas estações de transição. Próximo aos 25°S, a leste dos Andes, nasce o CCM que segue em direção ao sul do Brasil, Uruguai e Argentina. Sua gênese costuma ter início durante a noite, sendo que as primeiras nuvens que compõem o sistema podem surgir ao final da tarde. No entanto, seu ápice acontece durante a madrugada e a dissipação ocorre por volta das 12 horas do dia seguinte (DURKEE e MOTE, 2009).

As presenças dos Jatos de Baixos Níveis (JBN) e Jatos de Altos Níveis (JAN) são cruciais para a formação de um CCM, pois estes são os dois fluxos de ar que abastecem sua formação. Pelo fato do Hemisfério Sul (HS) estar mais quente durante a primavera e o verão, os JBN são intensificados, trazendo consigo a umidade das regiões tropicais (principalmente da Amazônia) para o sudeste da América do Sul. Por sua vez, os JAN, entre 30° e 40° de latitude, facilitam a convecção de ar ascendendo a umidade transportada pelos JBN e transportando-a até sua área de atuação (MOARES, 2014).

No outono e inverno, por sua vez, as chuvas no RS correspondem aos sistemas frontais em latitudes médias. Nesta época, o gradiente latitudinal de temperatura gera ondas baroclínicas nos ventos de oeste em ar superior (GRIMM *et al*, 1998). Este processo resulta na ciclogênese. Os JBN são deslocados para o sudeste por meio da cordilheira dos Andes, que funciona como uma barreira orográfica. Dessa maneira, é comum que o RS tenha formação de ciclones (GRIMM, 2009).

Portanto, as médias mensais costumam ser semelhantes, intensificando-se no inverno e primavera. Grimm (2009) salienta que o RS apresenta regimes bi e trimodais (com dois e três máximos de precipitação dentro de uma estação). Os trimodais costumam ocorrer nos meses de verão, devido à presença de CCM's (ZIPSER *et al*, 2006). Por sua vez, os bimodais se apresentam nos meses de inverno com seus máximos que originam os eventos de ciclogênese. Logo, o clima do Estado é determinado pela posição e intensidade da alta subtropical, que se move para sudeste no verão, onde há pouca penetração no continente (o que faz com que as chuvas intensas sejam oriundas dos CCM's vindos de noroeste) ao passo que, no inverno, esta alta se desloca para noroeste, gerando assim a baixa do Chaco (Paraguai e norte da Argentina), que contribui para a precipitação juntamente com os sistemas oriundos do Atlântico sul e da Antártica.

A tabela 1 resume o comportamento do regime de precipitação do RS e suas origens. Ressalta-se que teleconexões, como o ENOS entre outras, costumam alterar os padrões de pressão, temperatura e precipitação no globo, modificando os sistemas atmosféricos, o que resulta em eventos extremos em muitas partes do planeta. As descrições dos impactos do ENOS no RS serão realizadas na seção 2.3.1.

Tabela 1 - Gênese das precipitações no RS nas quatro estações do ano.

Precipitação no Rio Grande do Sul	
Outono e Inverno	Sistemas Frontais e ciclogênese
Primavera e Verão	Convectiva e Complexos Convectivos de Mesoescala

### 2.3– El Niño – Oscilação Sul

O El Niño, historicamente, foi descoberto por pescadores que costumavam navegar pelas águas do Oceano Pacífico. Relatavam que em alguns anos a oferta de peixes era maior e, em outros, menor. Esta variação costumava coincidir com as oscilações da Temperatura de Superfície do Mar (TSM), conforme Gilbert Walker (1923) descreve. Este mesmo pesquisador também descobriu que havia uma oscilação relacionada à pressão do nível do mar na costa oeste da América do Sul que costumava ocorrer entre quatro e sete anos. Esta oscilação foi então chamada de Oscilação Sul.

Posteriormente, na década de 1960, Troup e Bjerknes retomaram a pesquisa de Walker. Troup relacionou as ocorrências de El Niño com as condições atmosféricas de pressão no Pacífico Equatorial. Bjerknes (1969) complementou a teoria de Troup observando as condições de El Niño e La Niña (ambas as fases) com esta oscilação.

No entanto, a importância do ENOS só foi compreendida nas décadas de 1970 e 1980, com os fortes episódios de 1972-1973 e 1982-1983 (BARRY e CHORLEY, 2013). O avanço do aparato meteorológico e as intensas anomalias ocorridas no Pacífico, que muito se distinguiram da média, colaboraram para a compreensão e definição do módulo de variabilidade. Aos poucos, percebeu-se que as anomalias que aconteciam no Pacífico Equatorial, de pressão e TSM, influenciavam nos padrões de temperatura, pressão e precipitação de outras partes do globo. Logo, entendeu-se que os sistemas ocorridos no Pacífico Equatorial trabalhavam em conjunto, num único módulo de variabilidade, que passou a ser conhecido pelo nome de El Niño – Oscilação Sul (ENOS).

O ENOS é uma teleconexão oriunda do aquecimento anômalo das águas superficiais do Pacífico Equatorial que, juntamente com a intensificação ou enfraquecimento dos ventos alísios, altera os padrões de chuva e temperatura em diversos locais do globo, Figura 4 e 5, (TRENBERTH, 1997; DETTINGER *et al*, 2001; BARRY e CHORLEY, 2013). Esta mudança de comportamento no balanço térmico e hídrico da atmosfera pode causar eventos extremos de precipitação. A seguir, serão descritas as duas fases do ENOS. Portanto, o ENOS é uma conexão entre a ressurgência de água fria na costa oeste da América do Sul e as oscilações nos campos de pressão entre Darwin e Taiti.

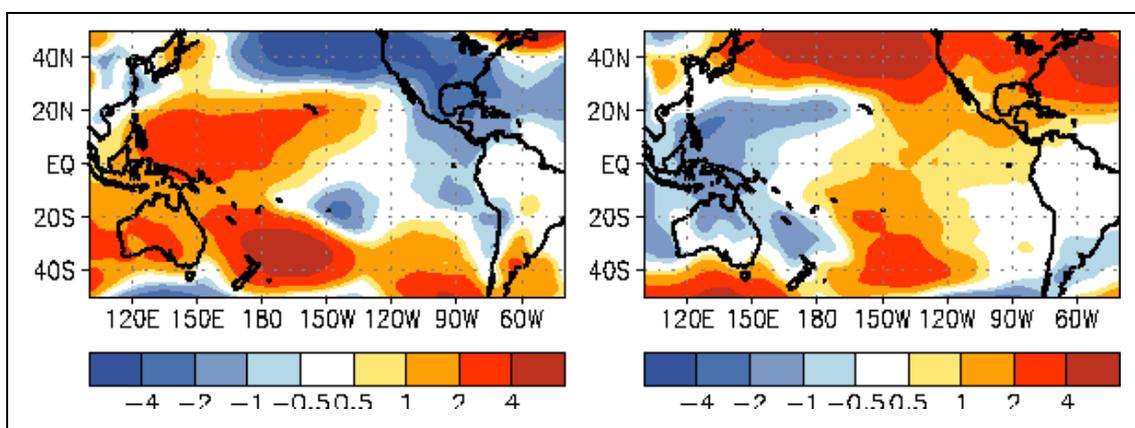


Figura 4 - Padrões de pressão das fases El Niño (esquerda), janeiro a março de 1998, e La Niña, janeiro a março de 1989, (direita). Fonte: NOAA (2017).

Barry e Chorley (2013) reforçam que o ENOS resulta de uma reorganização radical da circulação de Walker em dois sentidos: pressão e TSM (Figura 6). A pressão precisa diminuir para o enfraquecimento dos ventos alísios no Pacífico Equatorial Oriental. Logo, a ressurgência causada pelos ventos se torna amena, permitindo que a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) avance para o sul. O resultado do enfraquecimento dos alísios contribui para o aumento da TSM, diminuindo a ressurgência das águas frias em profundidade. Por sua vez, no Pacífico Equatorial Ocidental, os mesmos efeitos ocorridos no Pacífico Equatorial Oriental fazem com que a pressão aumente a oeste e diminua a leste, intensificando ciclones existentes na região que migram para o continente. Como resultado, temos nuvens sendo constantemente alimentadas no Pacífico Equatorial. Em resumo, o início de um

El Niño ativa um circuito de retroprocessamento positivo no sistema Oceano-atmosfera no Pacífico Equatorial Oriental (BARRY e CHORLEY, 2013).

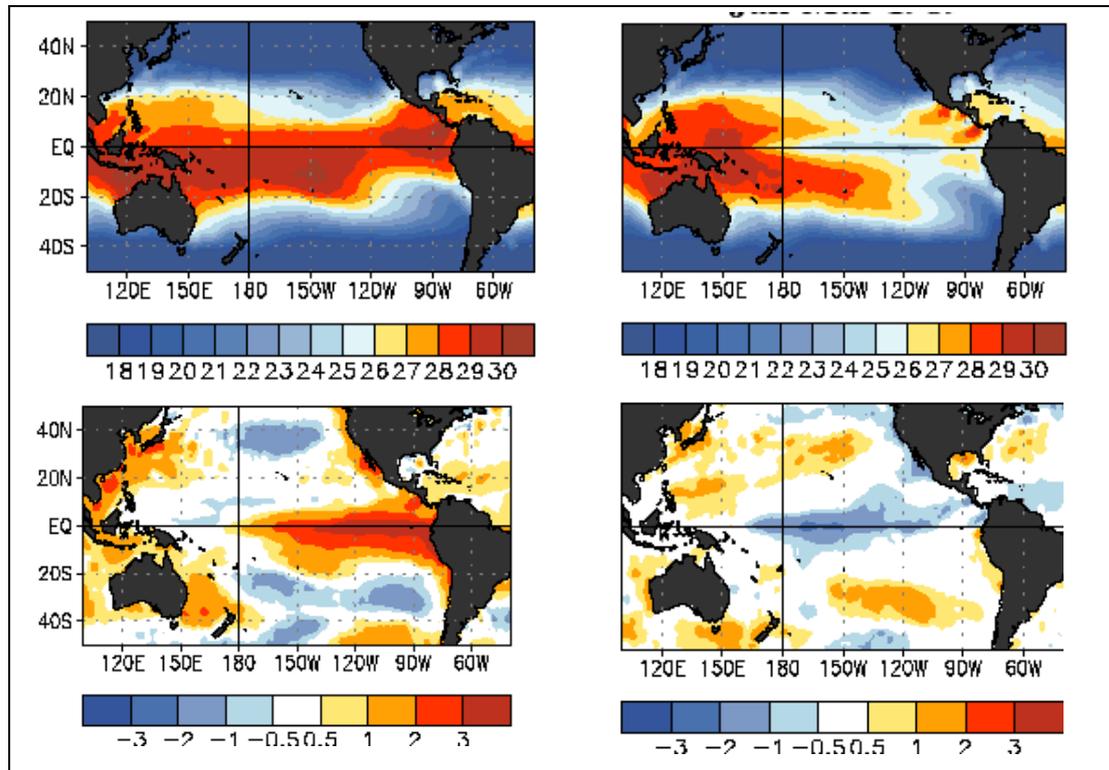


Figura 5 - Condições de TSM média e anomalia da fase positiva, El Niño (esquerda), e negativa, La Niña (direita), do ENOS. Fonte: NOAA (2017).

Nos episódios de La Niña, comumente taxada como o oposto do El Niño (Figura 7), há um fortalecimento dos ventos alísios superior ao da fase normal, que represa as águas quentes do Pacífico Equatorial na costa asiática. Enquanto isso, na costa sul americana, ocorre a ressurgência de águas frias localizadas anteriormente ao início do evento sob grandes profundidades. Seus efeitos, normalmente, costumam ser opostos aos do El Niño. Contudo, nem todos os casos apresentam o mesmo comportamento. O tempo de retorno de ambas as fases não é bem definido, podendo ser de dois a sete anos (TRENBERTH, 1997; DETTINGER *et al*, 2001; BARRY e CHORLEY, 2013).

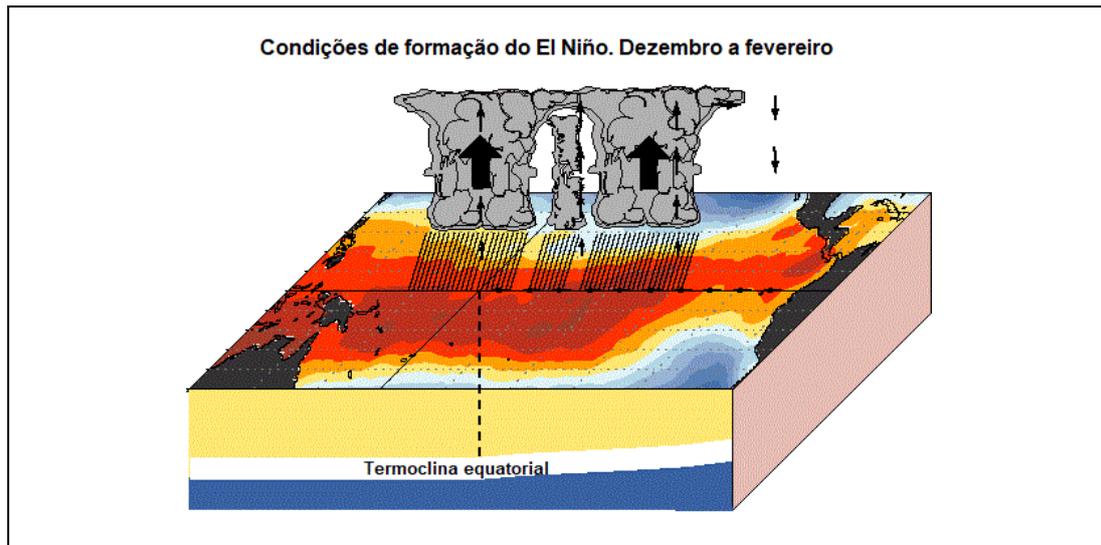


Figura 6 - Condições para formação do El Niño nos meses de dezembro a fevereiro. As flechas para cima indicam o fluxo de ar quente e, as flechas para baixo, o fluxo de ar frio. Fonte: NOAA (2017).

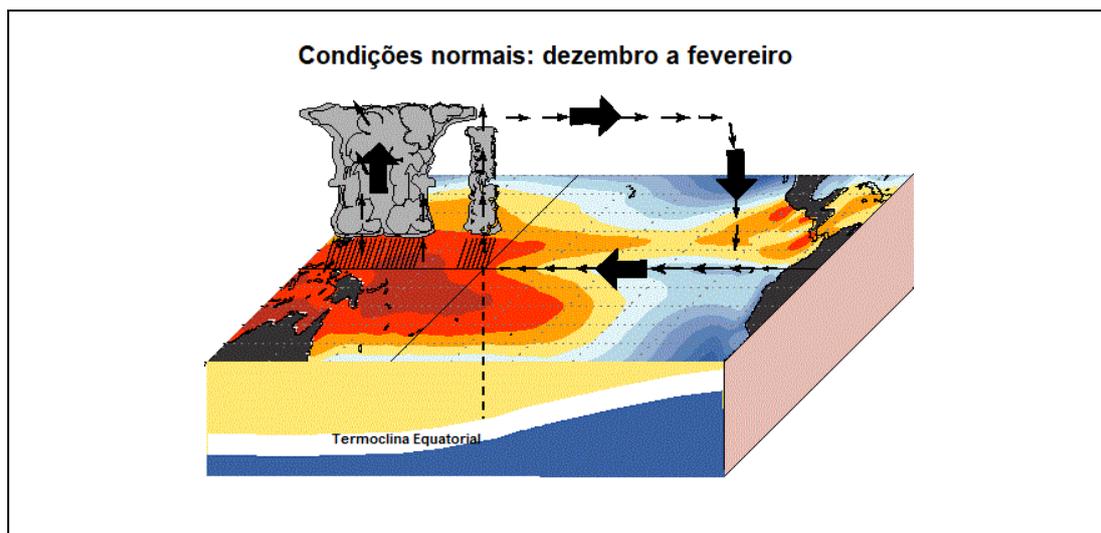


Figura 7 - Condições da fase neutra no período dezembro a fevereiro. Para a formação de um evento de La Niña é necessária a intensificação desta fase. Fonte: NOAA (2017).

A variabilidade interanual é um aspecto marcante na precipitação da América do Sul (DETTINGER *et al*, 2001). Desta maneira, Barry e Chorley (2013) e Trenberth (1997) determinam que o que vai dar início a um El Niño ou de uma La Niña dependerá dos processos concorrentes de ressurgência e advecção.

O ENOS, portanto, possui dois componentes: o El Niño, que representa o componente oceânico, e a Oscilação Sul, que é o componente atmosférico. O

primeiro determina as condições marítimas por meio da temperatura da superfície do mar (TSM) em quatro regiões do Pacífico Equatorial (Figura 8) (TRENBERTH, 1997). Por sua vez, o componente atmosférico nos da a correlação entre a pressão atmosférica nos setores leste e oeste do Pacífico Equatorial, também conhecida por “gangorra barométrica”. O nível destes dois componentes é analisado ao longo das quatro regiões e, após comportamentos anômalos das variáveis pressão e TSM por cinco meses, determina-se o início de um evento de El Niño ou La Niña (ROPELEWSKY e JONES, 1987; BARRY e CHORLEY, 2013). Dettinger *et al* (2001) reforçam que o ENOS domina a variação climática global nas escalas interanual e decenal.

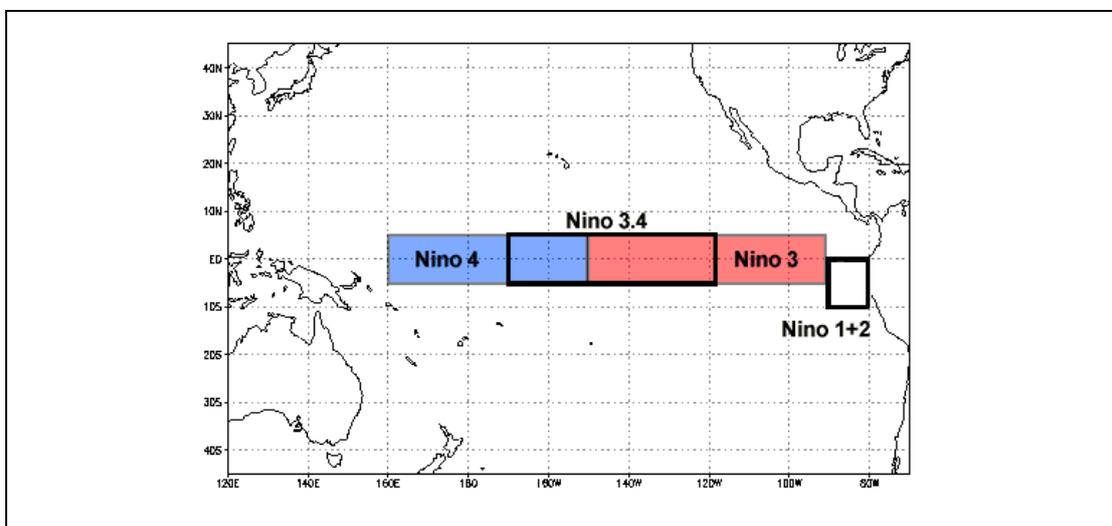


Figura 8 - Regiões de monitoramento da TSM e pressão para previsão de um evento ENOS. Fonte: NOAA (2017).

Historicamente, o comportamento do ENOS oscila conforme alguns fatores além das variáveis que o compõem, como a relação desta variação com outras teleconexões (TRENBERTH, 1997). Portanto, o comportamento do ENOS costuma ser local, e suas teleconexões podem variar no espaço-tempo, podendo ser precoces ou tardias.

A figura 8 nos mostra que há um zoneamento do Pacífico Equatorial para a observação de TSM e pressão. Isto se deve por causa das diferenças de comportamento entre Pacífico Equatorial Ocidental e Oriental. Inicialmente, haviam apenas três zonas (Niño 1+2, 3 e 4). Trenberth afirmava que havia dúvidas sobre o Taiti antes de 1935 devido à tecnologia da época e aos padrões de El Niño ocorridos nos primeiros trinta e cinco anos do século XX.

Segundo a figura 9, Trenberth (1997) demonstra que este problema foi solucionado com a criação da zona intermediária Niño 3.4.

Segundo a *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), há um controle das variáveis realizado por meio de boias, imagens de satélite e outros equipamentos.

Para a variável pressão atmosférica, se os valores persistirem  $-0,5$  mb ou menos, tem-se um caso de El Niño e, se tivermos  $0,5$  mb ou mais acima do padrão, há uma La Niña. Simultaneamente, a variável TSM precisa apresentar anomalias superiores a  $0,5^{\circ}\text{C}$  durante, pelo menos, cinco meses para ser considerado um evento de El Niño. A classificação da La Niña ocorre quando anomalias abaixo de  $-0,5^{\circ}\text{C}$  ocorrem por cinco meses consecutivos no mínimo.

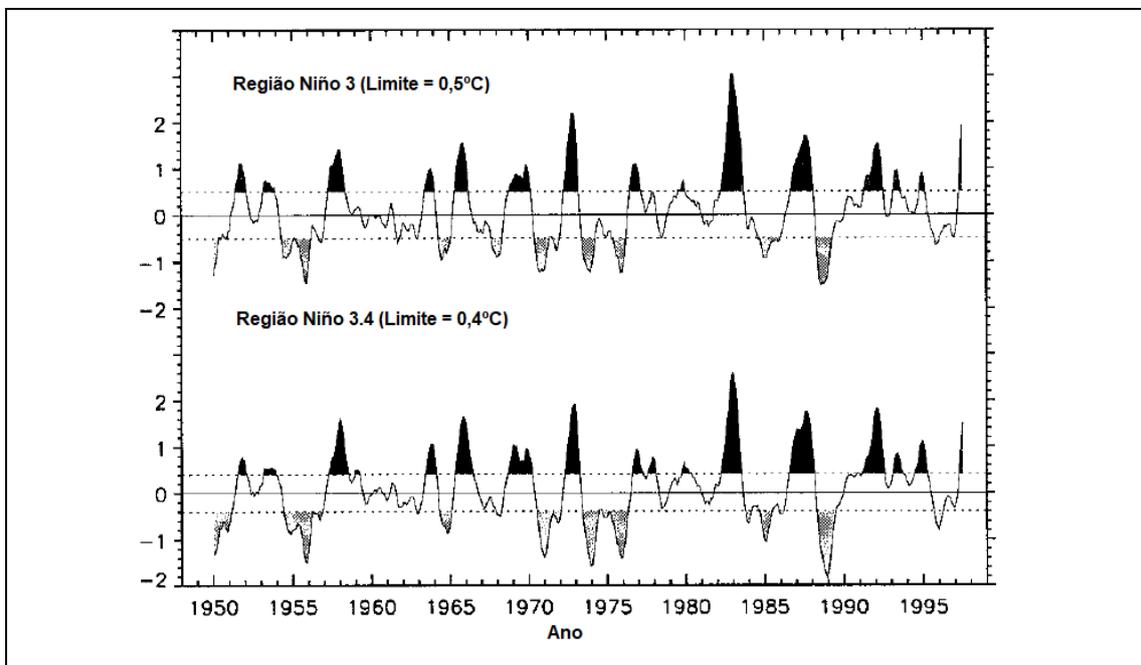


Figura 9 – Anomalias de TSM indicando os episódios de ambas as fases do ENOS no período de janeiro de 1950 a março de 1997. Fonte: Trenberth (1997).

Segundo Trenberth (1997), Kousky e Bell (2000) e NOAA (2017), os eventos mais intensos de El Niño no século XX ocorreram nos últimos vinte anos, de 1980 até 2000 (Tabela 2). Entretanto, há também registros considerados fortes na segunda metade século. Os episódios de 1972-73, 1982-83 e 1997-1998 (maior caso do século segundo a NOAA) são os principais. Os eventos de La Niña considerados fortes geralmente ocorrem após um forte evento de El Niño. Os casos impactantes são os de 1916-18, 1973-74 e o de 1998-2000. Ressalta-se que os episódios variam de

intensidade conforme sua duração, gerando diversas combinações, o que dificulta a previsão. A partir da década de 1980, nota-se um aumento na frequência de eventos de El Niño.

Tabela 2 - Episódios e Intensidades de El Niño e La Niña ocorridos no século XX.

<b>Ano</b>	<b>Episódio</b>	<b>Intensidade</b>	<b>Ano</b>	<b>Episódio</b>	<b>Intensidade</b>
1902-1903	El Niño	Fraco	1957-1959	El Niño	Forte
1903-1904	La Niña	Forte	1963	El Niño	Fraco
1905-1906	El Niño	Forte	1964-1965	La Niña	Moderado
1906-1908	La Niña	Forte	1965-1966	El Niño	Moderado
1909-1910	La Niña	Forte	1968-1970	El Niño	Moderado
1911-1912	El Niño	Forte	1970-1971	La Niña	Moderado
1912-1913	El Niño	Moderado	1972-1973	El Niño	Forte
1916-1918	La Niña	Forte	1973-1976	La Niña	Forte
1918-1919	El Niño	Forte	1976-1977	El Niño	Fraco
1923	El Niño	Moderado	1977-1978	El Niño	Fraco
1924-1925	La Niña	Moderado	1979-1980	El Niño	Fraco
1925-1926	El Niño	Forte	1982-1983	El Niño	Forte
1928-1929	La Niña	Fraco	1983-1984	La Niña	Fraco
1932	El Niño	Moderado	1984-1985	La Niña	Fraco
1938-1939	La Niña	Forte	1986-1988	El Niño	Moderado
1939-1941	El Niño	Forte	1988-1989	La Niña	Forte
1946-1947	El Niño	Moderado	1990-1993	El Niño	Forte
1949-1951	La Niña	Forte	1994-1995	El Niño	Moderado
1951	El Niño	Fraco	1995-1996	La Niña	Fraco
1953	El Niño	Fraco	1997-1998	El Niño	Forte
1954-1956	La Niña	Forte	1998-2000	La Niña	Forte

Fonte: adaptado de Kousky e Bell (2000).

Trenberth (1997) relata que, dos 567 meses analisados entre janeiro de 1950 a março 1997, 177 deles estão enquadrados em eventos de El Niño, correspondendo a 31% do total de meses observados (Tabela 3). Da mesma forma, 133 meses conferem aos períodos de La Niña, contabilizando 23% do total. Na soma total das porcentagens, percebe-se que aproximadamente 55% do período (54,7% precisamente) estiveram sob condições de alguma fase do

ENOS. Conclui-se desta maneira que as duas fases do ENOS foram mais constantes na segunda metade do século XX do que o próprio padrão normal. Isto evidencia o aumento da frequência das anomalias de temperatura e precipitação derivadas do ENOS no final do século XX.

Tabela 3 – Registros de meses de ocorrência de El Niño e de La Niña entre janeiro de 1950 e março 1997. Fonte: Trenberth (1997).

Início	Fim	Duração (meses)	Início	Fim	Duração (meses)
Ago 1951	Fev 1952	7	Mar 1950	Fev 1951	12
Mar 1953	Nov 1953	9	Jun 1954	Mar 1956	22
Abr 1957	Jan 1958	15	Mai 1956	Nov 1956	7
Jun 1963	Fev 1964	9	Mai 1964	Jan 1965	9
Mai 1965	Jun 1966	14	Jul 1970	Jan 1972	19
Set 1968	Mar 1970	19	Jun 1973	Jun 1974	13
Abr 1972	Mar 1973	12	Set 1974	Abr 1976	20
Ago 1976	Mar 1977	8	Set 1984	Jun 1985	10
Jul 1977	Jan 1978	7	Mai 1988	Jun 1989	14
Out 1979	Abr 1980	7	Set 1995	Mar 1996	7
Abr 1982	Jul 1983	16			
Ago 1986	Fev 1988	19			
Mar 1991	Jul 1992	17			
Fev 1993	Set 1993	8			
Jun 1994	Mar 1995	10			

Quinn e Neal (1992) estudaram o histórico do ENOS nos últimos seis séculos (1525-1987) e classificaram os episódios em moderados (M), fortes (S) e muito fortes (VS) avaliando registros históricos e modelagens baseadas em testemunhos de gelo. Nota-se que, em média, há quatro casos muito fortes por século, e que o séc. XX apresenta um número menor de ocorrências de El Niño do que os séculos anteriores. No entanto, a quantidade de eventos fortes dos últimos cem anos é superior à quantidade dos séculos anteriores (Figura 10). Conforme os autores, os casos M e S costumam ocorrer, em média, a cada 4 anos ao passo que as variações entre S e VS tem um tempo mínimo de retorno de nove anos. Eventos do nível VS possuem um intervalo de 142 anos entre 1578 e 1720. Este intervalo teve uma diminuição para 50 anos de intervalo

entre dois casos considerados VS, passando a ocorrer, no mínimo, duas vezes dentro do mesmo século.

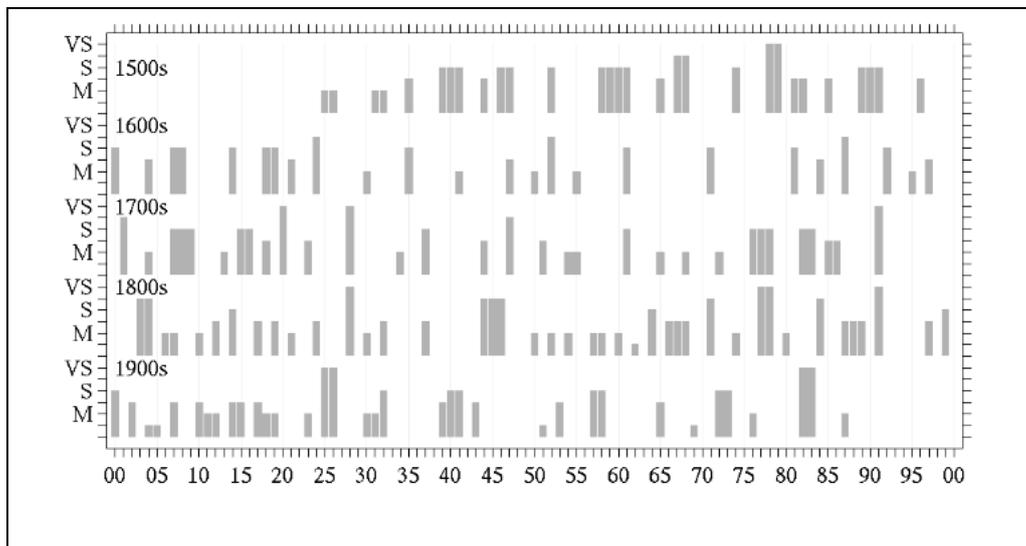


Figura 10 – Registros históricos de El Niños nos últimos cinco séculos (1525 a 1987). Fonte: Quinn e Neal (1992).

### 2.3.1 – El Niño – Oscilação Sul no RS

O Sul do Brasil, a nível nacional, apresenta os maiores impactos observados em ambas as fases (OLIVEIRA, 1999) do ENOS. Em anos de El Niño é comum que os totais pluviométricos estejam acima da média. Por outro lado, anos de La Niña costumam trazer episódios de seca à região. Normalmente os primeiros impactos se manifestam na primavera, atingindo seu ápice no verão. No RS, eventos de El Niño causam aumento da temperatura média atmosférica e precipitação, principalmente na primavera. Também são comuns chuvas intensas no período de maio a julho (OLIVEIRA, 1999). Estes episódios chuvosos originam-se de frentes frias provenientes de sul, que ficam semi-estacionadas por vários dias sobre o Estado. Segundo Grimm (2009) na Região Sul do Brasil há grandes contrastes na precipitação e temperatura devido à influência do ENOS. Durante os episódios de La Niña, o cenário costuma ser oposto aos casos de El Niño. Frentes frias passam frequentemente sobre o sul do Brasil e até mesmo no nordeste argentino e uruguaio, com redução da precipitação no intervalo de junho a fevereiro. É importante ressaltar que alguns episódios de La Niña concentram grandes precipitações no período de janeiro-fevereiro, contudo este não é um fator

característico de todas as ocorrências (GRIMM, 2009). Oliveira (1999) destaca também o registro de temperaturas próximas às médias ou com um leve decréscimo no inverno e verão.

No RS, a base da sua economia é constituída pela agricultura e pecuária. Ambas são altamente sensíveis às variações climáticas. Logo, anomalias de precipitação e temperatura oriundas do ENOS interferem diretamente no coeficiente de produção. O período no qual os sinais das fases do ENOS surgem ocorre no final do ano, na transição da primavera para o verão, mais precisamente nos meses de outubro, novembro e dezembro (BERLATO e FONTANA, 2003). Em alguns casos de El Niño há um repique no final de outono, geralmente do mês de maio até o início de julho do ano seguinte ao início do evento. O mês de maior impacto nas anomalias é novembro e o noroeste do Estado costuma ser a região de maior impacto.

O noroeste do RS é a porção que apresenta os maiores produtores de grãos do Estado, a exceção do arroz (BERLATO e FONTANA, 2003). As culturas de primavera correspondem a 90% da produção de grãos no RS. Fontana e Berlato (1997) afirmam que os três casos de El Niño mais impactantes no RS são os episódios de 1939-41, 1982-83, 1997-1998. Da mesma forma, os eventos de La Niña mais anômalos ocorreram em 1916-18 e 1998-2000. Referente às alterações no balanço produtivo de grãos no RS, as tabelas 4 e 5 expressam as condições favoráveis para um déficit/superávit de produção, bem como valores destas mudanças.

Tabela 4 - Quantidade médio de soja e milho no RS no período 1995-2000

Cultura	La Niña (1995/1996) kg/ha	El Niño (1997/1998) kg/ha	La Niña (1998/1999) kg/ha	La Niña (1999/2000) kg/ha
SOJA	1565	2088	1459	1593
MILHO	2097	2961	2422	2644

Fonte: Berlato e Fontana, 2003.

Tabela 5 - Causas de perdas de safras no RS (1992-1997)

Cultura	Perda total (milhões de toneladas)	Causas	
		Estiagem	Chuva excessiva, granizo, geada, pragas, doenças, etc...
SOJA	3,3	92,6%	7,4%
MILHO	3,5	88,4%	11,6%

Fonte: EMATER/RS.

A tabela 6 resume, então, as condições favoráveis para as produções dos principais grãos exportados pelo RS. Como dito anteriormente, eventos de La Niña podem ser bons para a produção de determinados grãos. Contudo, um evento muito longo ou intenso pode gerar um déficit hídrico, ocasionando uma baixa na produção, como se observa na tabela 5.

Tabela 6 - Resumo qualitativo dos efeitos do ENOS na produção agrícola do RS

CULTURA	EL NIÑO	LA NIÑA
Soja	Favorável	Desfavorável
Milho	Favorável	Desfavorável
Arroz	Desfavorável (evento forte)	Favorável (evento fraco)
Trigo, Cevada e outros cereais de inverno	Desfavorável	Favorável

Fonte: adaptado de Berlato e Fontana (2003).

## 2.4 – Séries Temporais

Séries temporais, uma das técnicas utilizadas em estudos climáticos, usam métodos estatísticos para observar a evolução do clima em uma determinada região (MUDELSEE, 2010). Com ela, os dados ficam organizados cronologicamente, possibilitando a visualização dos períodos máximos e mínimos. Também é possível, com a ajuda de técnicas estatísticas, a visualização cíclica da variável analisada. Desta maneira, pode-se verificar se

há diminuição ou aumento no período dos ciclos. Além dos ciclos, é possível analisar a tendência, a sazonalidade e variações pontuais.

A utilização de uma série temporal demanda uma base de dados organizada, onde o banco de dados possua o menor período possível de lapsos para se evitar o aumento do erro no momento da análise. Em uma série temporal, pode-se determinar a proximidade de um dado estimado, como uma reanálise, com fatos ocorridos e registrados. Quanto maior for a precisão dos dados estimados, mais confiável será a série. Desta forma, uma série temporal pode ser analisada tanto para o período estudado, quanto para a formação de um banco de dados que permita a simulação de eventos futuros.

Em estudos anteriores citados neste trabalho (QUINN E NEAL, 1992; TRENBERTH, 1997; GALARÇA, 2003; VALENTE, 2015) utilizaram séries temporais. Em seus resultados, foram observados tanto padrões quanto mudanças de comportamento dos ciclos nas variáveis analisadas. As dificuldades para a criação de uma série temporal estão na investigação e padronização do banco de dados, na escolha do procedimento estatístico utilizado, visto que há várias técnicas úteis para sua criação (regressão linear, transformada rápida de Fourier, entre outras). Mudelsee (2010) salienta que um ponto aleatório em uma série temporal, que difere da tendência e possui um valor muito acima ou abaixo da série deve ser analisado com cuidado, pois, da mesma forma que há a possibilidade de ser um erro, também há a possibilidade de ser um evento com ciclo maior do que o período analisado dentro da série.

Neste trabalho, as séries temporais utilizadas são simples, organizadas com a cronologia dos diferentes bancos de dados gerados ao longo da pesquisa.

### 3 – DADOS E MÉTODOS

#### 3.1 – Área de estudo

A região analisada compreende o Estado do Rio Grande do Sul (Figura 11), com um território de 281737,947 km<sup>2</sup> e população estimada pelo IBGE (2016) de 11.286.500 de habitantes. Seus limites compreendem o Estado de Santa Catarina ao norte, o oceano Atlântico a leste, Uruguai ao sul e a Argentina a Oeste. O RS, até a presente data, é dividido em 497 municípios. A maior parte destes emancipados durante o século XX. A ocupação do RS iniciou nos municípios do litoral durante o século XVIII e se propagou em direção à Argentina.

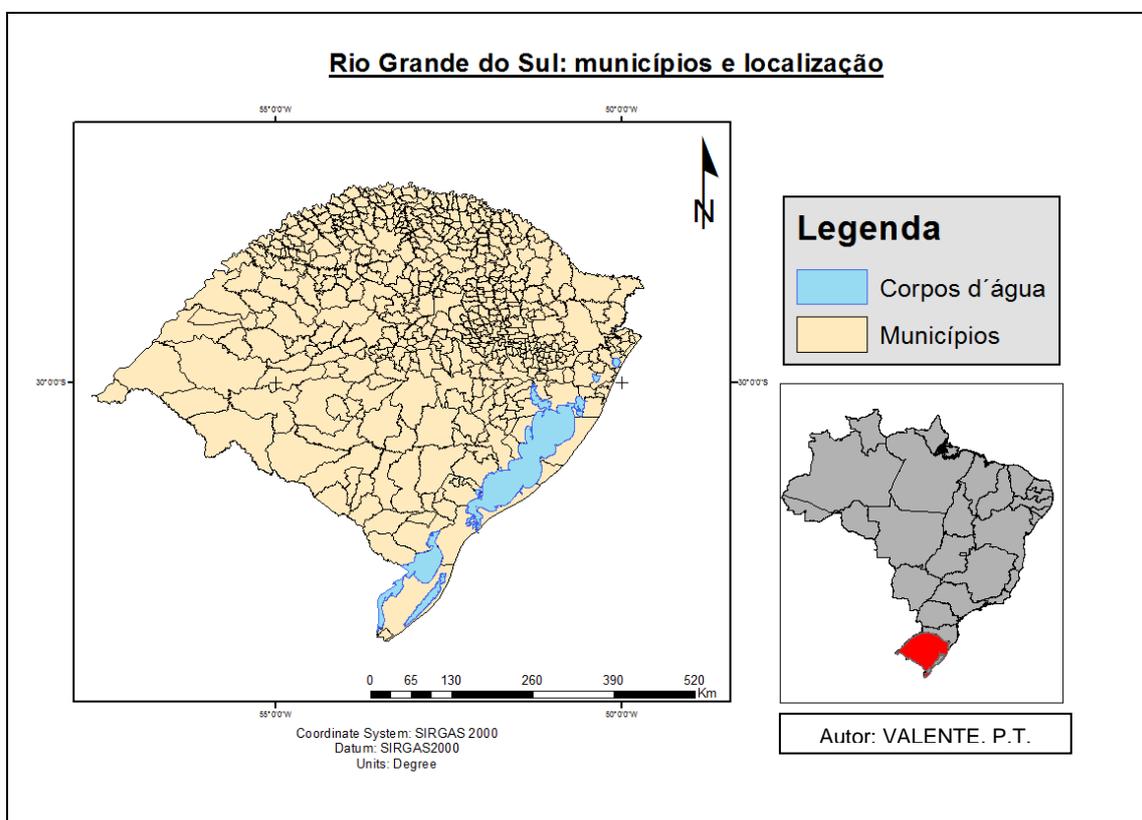


Figura 11 – Localização do RS, área de estudo, no Brasil e sua divisão municipal.

Segundo a Fundação de Economia e Estatística do Rio Grande do Sul (FEE), o RS iniciou o século XX com 1.149.070 habitantes e chegou ao fim do mesmo período com uma população total de 10.187.798. O ritmo de crescimento da população foi considerado intenso para os padrões do IBGE, chegando ao valor de 3,26% ao ano, levando aproximadamente 20 anos para dobrar o volume populacional (JARDIM, 2002). Já nos últimos vinte anos do

século XX a população do Estado aumentou em apenas 30%. A população tem crescido a taxas decrescentes a partir da década de 50, quando apresentava uma taxa de 2,57% ao ano, sendo que na última década cresceu apenas 1,21%, conforme mostra a tabela 7.

Tabela 7 - População total e média de crescimento anual do RS no século XX.

ANOS	População Total		TAXAS DE CRESCIMENTO ANUAL (%)	
	RS	BRASIL	RS	BR
1900	1.149.070	17.438.434	2,50	1,98
1920	2.182.713	30.635.605	3,26	2,86
1940	3.320.689	41.236.315	2,12	1,50
1950	4.164.821	51.944.397	2,29	2,34
1960	5.366.720	70.992.343	2,57	3,17
1970	6.664.891	94.508.583	2,19	2,90
1980	7.773.837	121.150.573	1,55	2,51
1991	9.138.670	146.917.459	1,48	1,77
2000	10.187.798	169.799.170	1,21	1,62

Fonte: Jardim (2002).

Inevitavelmente, o crescimento de uma população levará a um aumento de vítimas de eventos extremos causados por anomalias climáticas. Contudo, este crescimento acarreta num maior número de notícias, facilitando o rastreamento dos episódios anômalos ocorridos no RS ao longo do século XX. Portanto, podem-se avaliar os impactos negativos do crescimento populacional do RS em relação aos eventos extremos de precipitação através de dados históricos. Além disso, serve como dado para avaliação dos impactos referentes ao crescimento da ação antrópica.

A economia do RS é, basicamente, constituída pela agropecuária. Desde o século XIX, são comuns os cultivos de trigo, arroz e milho no Estado. Durante o século XX, iniciou-se também o cultivo de soja. Atualmente, o RS é o terceiro maior produtor de soja em grãos do Brasil (SPGG, 2017). Conforme o Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (Tabela 8), em 2015 os maiores cultivos do Estado são:

Tabela 8 - Quantidade e área plantada dos maiores cultivos do RS em 2015.

Cultivo	Área Plantada (hectares)	Quantidade produzida (toneladas)
Soja	5.236.899	15.700.264
Arroz	1.127.916	8.679.489
Milho	854.793	5.563.555
Fumo	199.961	414.932
Trigo	882.566	1.391.829

Fonte: adaptado do Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (SPGG, 2015).

A tabela 8 indica o atual panorama da produção agropecuária do RS. Percebe-se, então, que as expansões de áreas de cultivo ocupam uma parcela importante do percentual de uso e ocupação do solo. É provável que a evolução do crescimento demográfico e econômico do RS tenha contribuído para a alteração dos padrões de chuva ao longo do século, levada em conta a quantidade de áreas florestadas removidas em função do crescimento das cidades e campos de cultivo. A remoção de uma área florestada pode diminuir o aporte de chuvas da região, tendo em conta a diminuição da evapotranspiração. Logo, o fator antrópico pode ser uma das causas de mudança nos padrões de precipitação do RS ao longo do século XX.

## **3.2 – Registros históricos**

### **3.2.1 – Construção do banco de dados**

Como se tem séries históricas seculares, a interpretação das possíveis causas destas anomalias climáticas extremas foi feita por processos investigativos onde se relacionou informações a respeito de fatos históricos impactantes para as atividades humanas do RS no último século. Dentre estes fatos históricos, foram procuradas informações a respeito de episódios de enchentes, secas, eventos extremos de precipitação (positivas e negativas) e ciclones.

Também há uma complexa cadeia de sistemas que deve ser levada em conta em associação aos episódios extremos. Esses sistemas podem ser

descritos pela influência, direta ou indireta, aos padrões atmosféricos do Estado. São estes: o relevo, principal explicação para fatores climáticos locais; o impacto antrópico, visto que a cobertura vegetal foi alterada ao longo do século em função do crescimento populacional. Este fator populacional é importante, pois, como já foi explicado anteriormente, descreve a ação antrópica sobre o meio ambiente e a influência que tal proporciona nos padrões climáticos, que podem modificar e/ou intensificar a ocorrência de episódios extremos.

Portanto, a metodologia para arrecadação destes dados históricos se constituiu em pesquisas, tanto no meio virtual como em campo, a dados históricos que descrevem algum episódio extremo ou alguma outra informação climática para o período 1901-2000.

A tabela 9 descreve o processo de investigação das notícias, relatos e dados meteorológicos que expressem as anomalias climáticas ocorridas no RS durante o século XX.

As informações coletadas nestes lugares foram analisadas e comparadas com os episódios extremos. Além disso, foi feito um filtro dos casos registrados com a climatologia do RS do século passado, para identificar diferentes níveis intensidade entre as anomalias e determinar quais notícias podem realmente estar relacionadas às anomalias climáticas de precipitação.

Tabela 9 - Lugares e notícias investigadas

Temas procurados em notícias	Onde procurar
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enchentes</li> <li>• Chuvas</li> <li>• Granizo</li> <li>• Secas</li> <li>• Eventos Extremos de temperatura</li> <li>• Ciclones</li> <li>• Relatos de viajantes do Século XX</li> <li>• Crises econômicas ocasionadas por alguma catástrofe natural</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arquivos históricos municipais</li> <li>• Bibliotecas públicas e universitárias</li> <li>• Departamentos (estaduais e federais) de cunho ambiental especializados em registros econômicos e ambientais</li> </ul>

O critério de seleção dos municípios a serem visitados foi, baseado em Galarça (2003), a disponibilidade de material existente nestes. Alguns por serem os primeiros a realizar observações meteorológicas e outros pelo envio do material registrado com propósito de coletar o material existente e preservá-lo em bibliotecas (maiores centros urbanos do Estado). As primeiras observações meteorológicas foram realizadas por fazendeiros interessados em conhecer o comportamento climático da região que viviam para auxiliar seus cultivos como também foram feitas pelas primeiras faculdades e centros de meteorologia, durante o século XX, e atualmente, continuam a estudar o comportamento climático do Estado.

Há famosos episódios de enchentes no RS, onde se pode encontrar facilmente materiais meteorológicos e jornalísticos devido à magnitude do evento. O caso mais famoso é a enchente de 1941. Não só por ter alagado o centro de Porto Alegre, mas também pelas cidades banhadas pelos rios que abastecem o lago Guaíba, igualmente inundadas.

A pesquisa a esses dados visou acumular material para ser comparado com séries temporais de precipitação de pontos distintos do RS. A interação das análises históricas e estatística gerou séries únicas de pontos de grade oriundos de diferentes partes do RS, separadas conforme o relevo do Estado, a fim de reforçar a precisão das séries temporais.

### **3.2.2 – Estações Meteorológicas**

Para completar o banco de dados das séries temporais observadas, utilizaram-se nos últimos quarenta anos do século XX os registros de estações meteorológicas distribuídas ao longo do RS. Os dados foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Ressalta-se que as estações não possuíam o mesmo período de registro, devido à época de instalação ser diferente. Portanto, optou-se por escolher apenas os arquivos com registros constantes desde a década de 1960 até o final da série. Como resultado, obtivemos 17 estações meteorológicas descritas na tabela 10. Ressalta-se que em todas as estações há uma falha de registro durante a segunda metade da década de 1980, de modo que este período não consta na análise.

Tabela 10 - Código e localização das estações meteorológicas utilizadas.

Cidade	Código	Localização (lat/lon)
Bagé	83980	-31,33 / -54,10
Bento Gonçalves	83941	-29,15 / -51,51
Bom Jesus	83919	-28,66 / -50,43
Caxias do Sul	83942	-29,16 / -51,20
Cruz Alta	83912	-28,63 / -53,60
Encruzilhada do Sul	83964	-30,53 / -52,51
Irai	83881	-27,18 / -53,23
Lagoa Vermelha	83916	-28,21 / -51,50
Passo Fundo	83914	-28,21 / -52,40
Pelotas	83985	-31,78 / -52,41
Porto Alegre	83967	-30,05 / -51,16
Rio Grande	83995	-32,03 / -52,10
Santa Maria	83936	-29,70 / -53,70
Santa Vitória do Palmar	83997	-33,51 / -53,35
São Luiz Gonzaga	83907	-28,40 / -55,01
Torres	83948	-29,35 / -49,73
Uruguaiiana	83927	-29,75 / -57,08

### 3.3 – Banco de dados DLW

O banco de dados de reanálise disponibilizado pela Universidade de Delaware foi criado a partir dados de estações meteorológicas e outras fontes atualizadas de centros de pesquisas atmosféricas de diferentes partes do globo (MATSUURA E WILLMOTT, 2012). Os dados fornecidos possuíam coordenadas geográficas, criando assim uma rede global. Estes dados continham um arquivo referente a sua localização (espaço) e os valores mensais (tempo) de cada estação. Para a criação da rede, os valores mensais eram calculados a partir de composições, onde era realizado o cálculo das médias e medianas. Com isto, era possível obter dados para pontos do globo sem uma estação meteorológica por meio de interpolação espacial bem como para períodos onde os dados meteorológicos eram inexistentes para um mês

específico por meio de validação cruzada. Portanto, a reanálise dos dados DLW é útil para preencher lacunas temporais em uma série de dados incompleta (Figura 12). Da mesma forma, toda a série de reanálise pode ser utilizada se for validada por meio de um teste estatístico com um dado contínuo observado.

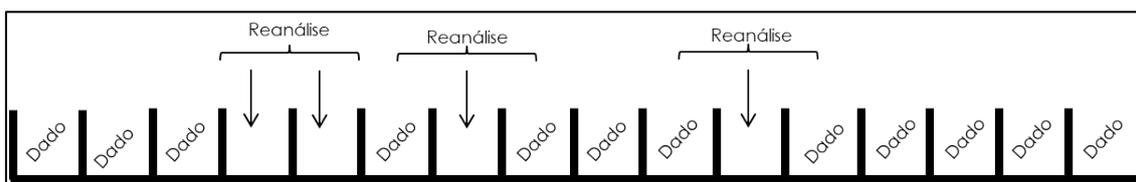


Figura 12 - Exemplo da importância das reanálises no preenchimento de lapsos em uma série de dados.

### 3.4 - Métodos

#### 3.4.1 – Análise estatística e validação dos dados

Primeiramente, optou-se por utilizar médias mensais de precipitação provenientes da compilação de observações disponibilizadas pela Universidade de Delaware, conforme descrito por Matsuura *et al.*, (2009). Estas reanálises correspondem ao período de um século (1901-2000), com uma resolução espacial da grade de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  (MATSUURA *et al.*, 2009). Para garantir a confiabilidade desses dados, eles foram comparados com um período de 40 anos (1961–2000) de dados de quatro estações meteorológicas espalhadas pela área de estudo (Porto Alegre, Santa Maria, Bagé e Uruguaiana). A figura 13 demonstra os pontos de grade das reanálises de DLW, indicando que há 101 pontos de grade na área do Estado.

O procedimento estatístico aplicado para validação dos dados foi o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), utilizado quando se deseja verificar se duas amostras são provenientes da mesma população, levando em consideração a magnitude de cada evento, agrupando-as por semelhança e aceitando um nível de significância de 95% (ASSIS, 1996). Ou seja, se as amostras possuísem 95% de semelhança seriam aceitas como base de dados para dar continuidade à pesquisa.

A equação 1 indica que o teste KS confronta duas distribuições de frequência acumuladas,  $F'(x)$  e  $F(x)$ , sendo  $F'(x)$  uma distribuição de probabilidade teórica, com seus parâmetros especificados e  $F(x)$  uma distribuição de probabilidade empírica. Como dito anteriormente, é necessário que as amostras possuam até 5% de diferença entre elas para  $F'(x)$  ser validada, neste caso.

$$D_{max} = \text{MAX}|F'(x) - F(x)| \quad (1)$$

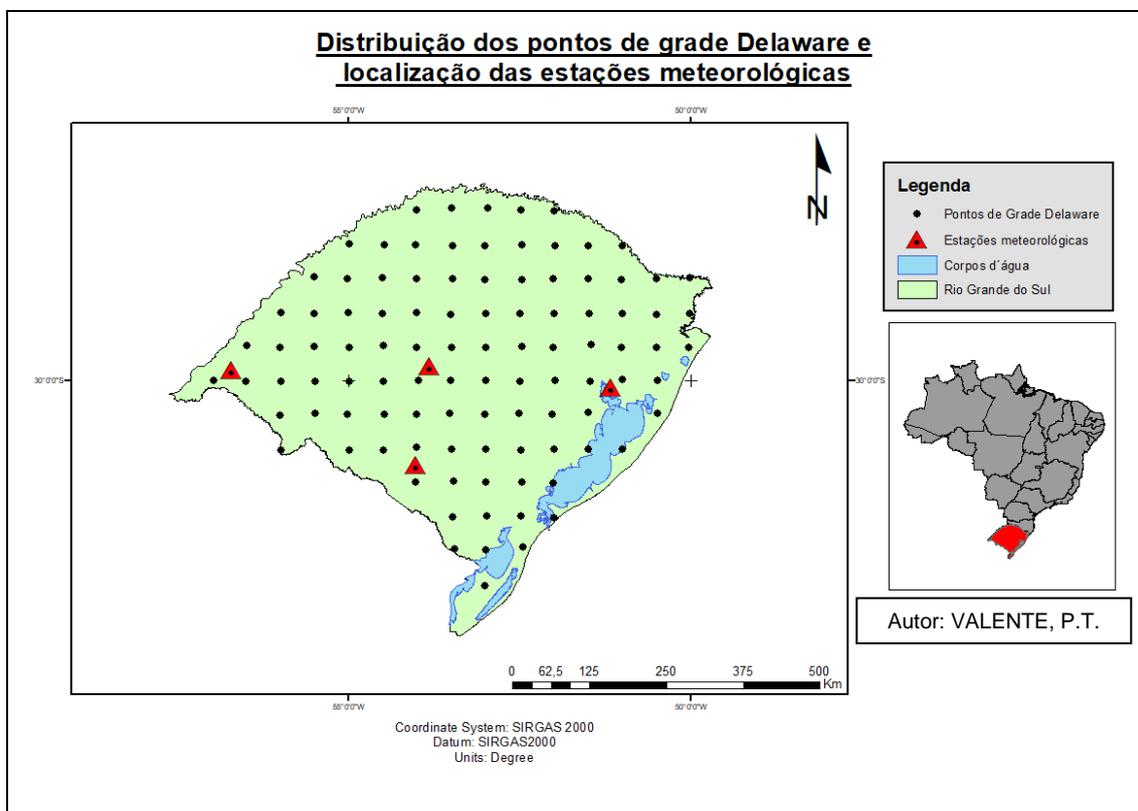


Figura 13 – Distribuição dos pontos de grade e localização das quatro estações meteorológicas utilizadas para validação.

### 3.4.2 – Técnicas e operação

Após a elaboração do banco de dados, as médias mensais foram subtraídas das amostras, gerando o conjunto de anomalias (Equação 2). A anomalia é obtida pela seguinte equação, onde  $x$  corresponde ao dado,  $a$  ao dado e  $\bar{X}$  à média mensal :

$$x = a - \bar{X} \quad (2)$$

Todas as séries anômalas (de cada ponto da grade) foram submetidas à distribuição de frequência pelo método dos quartis: medida que divide o conjunto de dados em quatro intervalos iguais (Figura 14), representando assim um quarto da amostra. O primeiro e o quarto quartil selecionam amostras que possuem magnitudes menores ou maiores do que a média, respectivamente (ASSIS, 1966). Portanto, as amostras selecionadas pelo primeiro e o quarto quartil podem ser consideradas eventos extremos. Por exemplo, o primeiro quartil seleciona todos os registros de meses muito secos e o quarto quartil seleciona os meses muito chuvosos da série de chuva. Adicionalmente, o segundo e o terceiro quartil não foram utilizados, pois representavam pequenas variações entorno da mediana. Os valores encontrados para os limiares do primeiro e quarto quartis foram de -50 mm e 50 mm mensais, respectivamente. Ou seja, todos os casos do Q1 apresentam anomalias inferiores a -50 mm abaixo da média e, para os eventos em Q4, anomalias superiores a 50 mm acima da média.

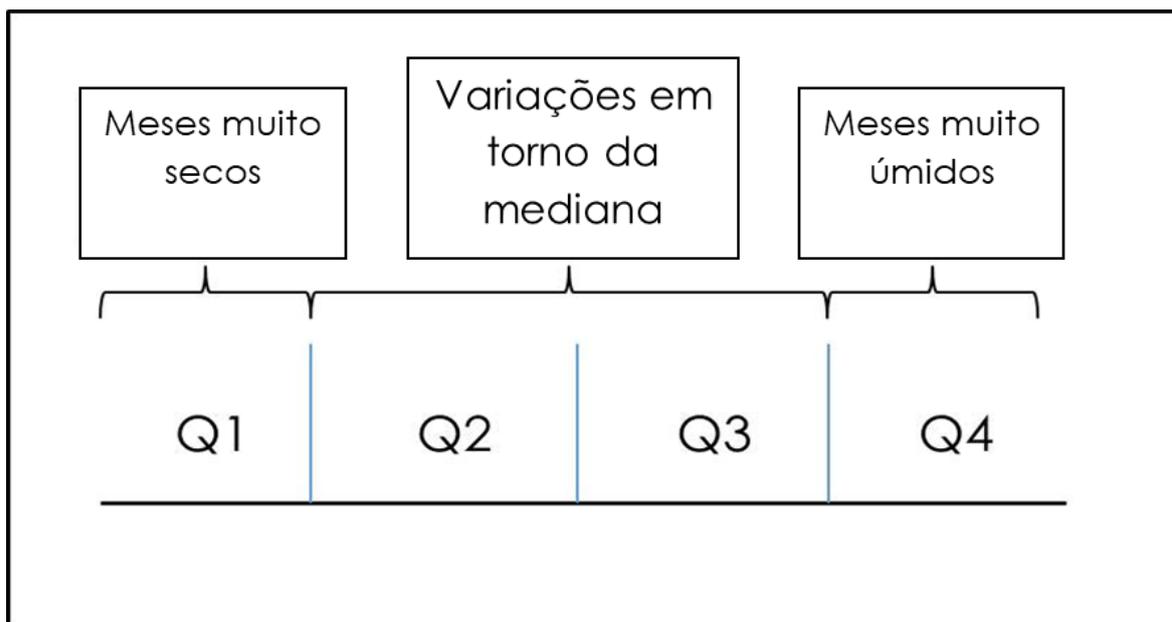


Figura 14 - Demonstração do método dos quartis.

A seguir, as anomalias descobertas nos pontos de grade foram especializadas por zonas, ou seja, os 101 pontos de grade da reanálise de DLW foram inseridos no mapa do RS. Esta distribuição representa a ocorrência de meses com secas ou tempestades severas em zonas no RS. As zonas foram distribuídas conforme seus padrões de anomalias e segundo o relevo do Estado. Viana (2009) realizou um zoneamento climático do RS baseado nos padrões de precipitação e relevo (Figura 15). Portanto, a divisão dessas zonas foi composta segundo os resultados de Viana (2009), do relevo do Estado e do padrão das anomalias, positivas e negativas (Figura 16). Salienta-se também que os episódios de El Niño e La Niña estão destacados nas séries temporais para se identificar quais anomalias climáticas mensais ocorreram durante seus episódios.

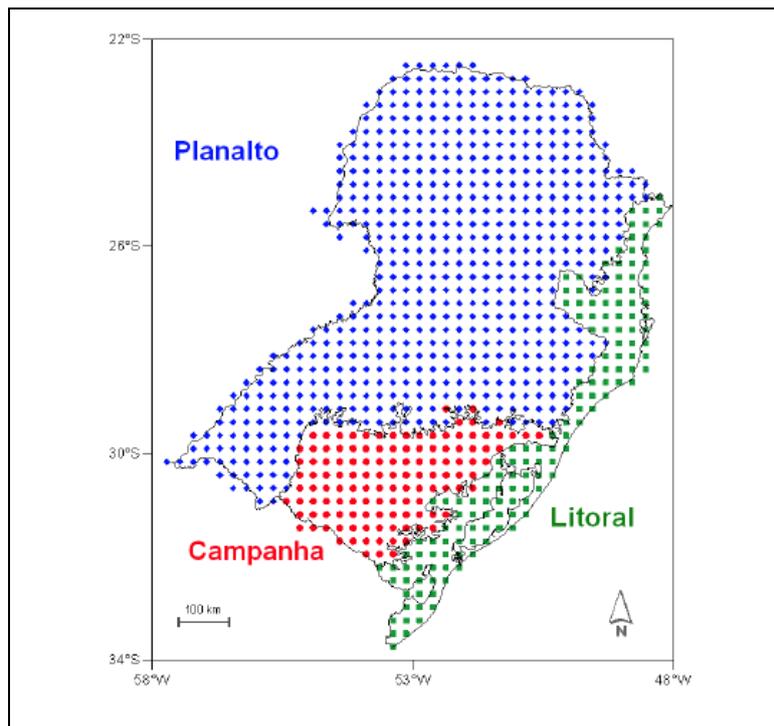


Figura 15 - Proposta de regionalização da precipitação da Região Sul do Brasil. Fonte: Viana (2009).

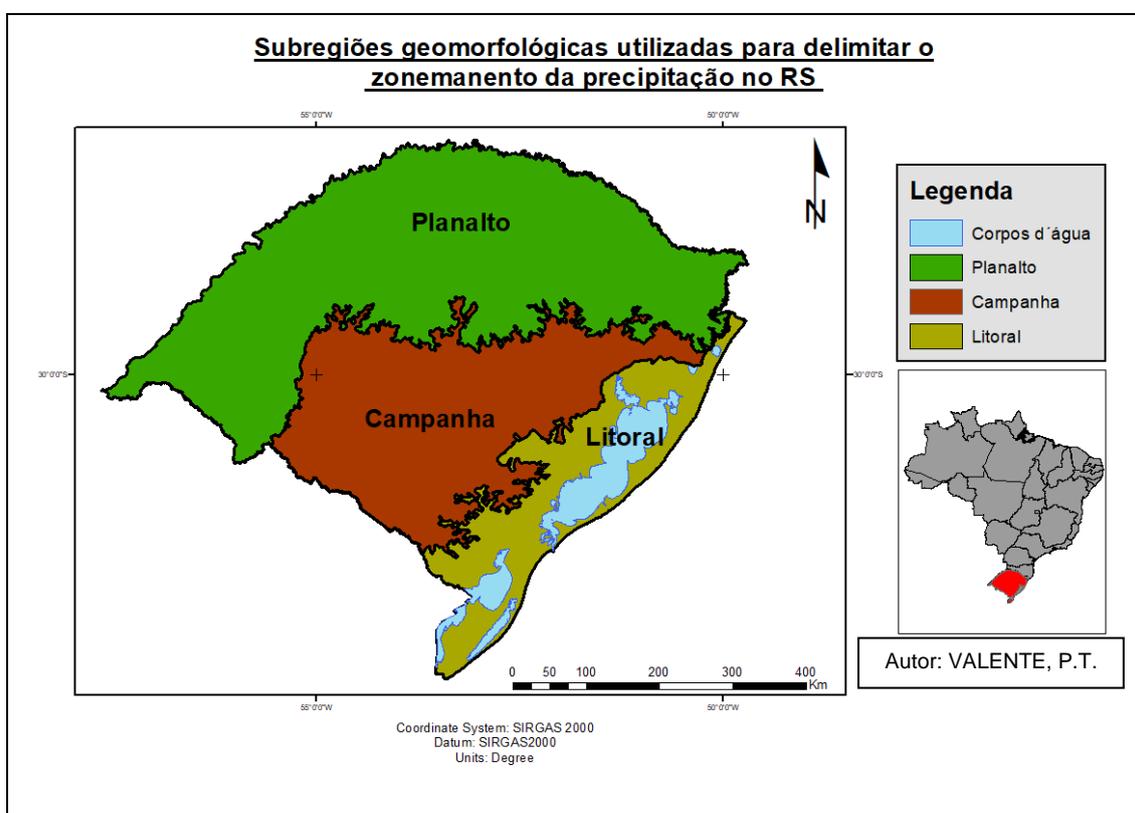


Figura 16 - Proposta de zoneamento da precipitação do RS. Fonte: Adaptado de Viana (2009).

### **3.4.3 - Identificação dos eventos extremos a partir dos dados DLW**

Com as séries anômalas obtidas, os eventos ficam expostos cronologicamente. Portanto, compararam-se as séries temporais o modo de variabilidade do ENOS a fim de se saber qual a sua influência na variabilidade climática da precipitação do RS. A finalidade desta etapa é justamente especificar as anomalias extremas ocorridas em períodos neutros e nas duas fases do ENOS. A tabela 2 (página 30) apresenta o histórico de El Niños e La Niñas para o século XX. Portanto, foram feitos cruzamentos das séries temporais para se identificar quais anomalias ocorreram em ambas as fases do ENOS. Assim, a série seria dividida em três fases: El Niño, La Niña e períodos neutros. Com isto, podem-se evidenciar os maiores e menores casos das três fases.

O segundo passo foi criar uma tabela de contagem do número de anomalias mensais de precipitação para cada mês. Conforme a divisão dos quartis, os pontos de corte das anomalias são de -50 mm e 50 mm para as anomalias negativas e positivas, respectivamente. Após, os eventos classificados no primeiro e quarto quartil foram distribuídos em uma nova série (com as três fases) conforme o mês e ano de sua ocorrência.

### **3.4.4 – Análise das séries de registros históricos**

Diferentemente dos resultados das séries de reanálises, as séries históricas foram geradas através de uma análise qualitativa. Foi inserida em uma única série, indicando o mês e o ano do ocorrido conforme os registros encontrados. Desta maneira, os primeiros sessenta anos do século XX estão distribuídos na série histórica de forma qualitativa, representando apenas a ocorrência de um evento. Para isto, atribuiu-se um valor genérico para todos os eventos (-200 mm para negativos e +200 mm para positivos) para que os casos pudessem ser inseridos nas séries DLW, originadas da reanálise.

Por sua vez, os últimos quarenta anos, que possuem registros meteorológicos (INMET) para as três zonas climáticas estudadas, estão distribuídos na série de forma quantitativa, evidenciando todos os eventos de

1961 a 2000. Com isto, pôde-se analisar a semelhança entre as seis séries temporais finais.

#### **3.4.5 – Classificação dos eventos ENOS para o RS**

Após o cruzamento das séries históricas e DLW, foi feita uma classificação dos eventos ENOS para o RS. A classificação leva em conta as intensidades dos episódios de El Niño e La Niña ocorridos no século XX e categorizados por Kousky e Bell (2000) conforme a tabela 2. Essa classificação analisou as intensidades do ENOS na região Niño 3.4 baseada nas anomalias de TSM e pressão no oceano Pacífico Equatorial e as dividiu em três categorias: fraco, moderado e forte.

Para classificar a influência dos episódios ENOS no RS, os intervalos de tempo correspondentes às fases do módulo de variabilidade foram selecionados nas séries DLW e, após se obter a cronologia das anomalias de precipitação ocorridas durante todos os episódios ENOS no RS equivalente às três zonas adotadas, foi feita a média de todo o episódio. Os valores limites de todo o evento para a classificação foram, referente a média das três zonas: fraco (50 a 100 mm), moderado (100 a 150 mm) e forte (superior a 150 mm) para anomalias positivas e os mesmos valores, porém negativos, para as anomalias negativas.

Com isto, inseriu-se uma nova coluna na classificação de Kousky e Bell (2000) que classifica o impacto do evento ENOS no RS. Desta forma, o resultado possui o período de ocorrência, tipo de fase (El Niño ou La Niña), a intensidade do evento na região Niño 3.4 e o impacto deste nas anomalias de precipitação no RS.

Para facilitar a compreensão do procedimento de validação dos dados DLW, o fluxograma da figura 17 apresenta a sequência dos passos tomados, bem como os programas utilizados nesta etapa. O fluxograma está dividido em dados (seção que demonstra quais dados foram utilizados para o processo de validação); técnica (estatística utilizada) e operação (procedimentos realizados com base nas análises estatísticas).

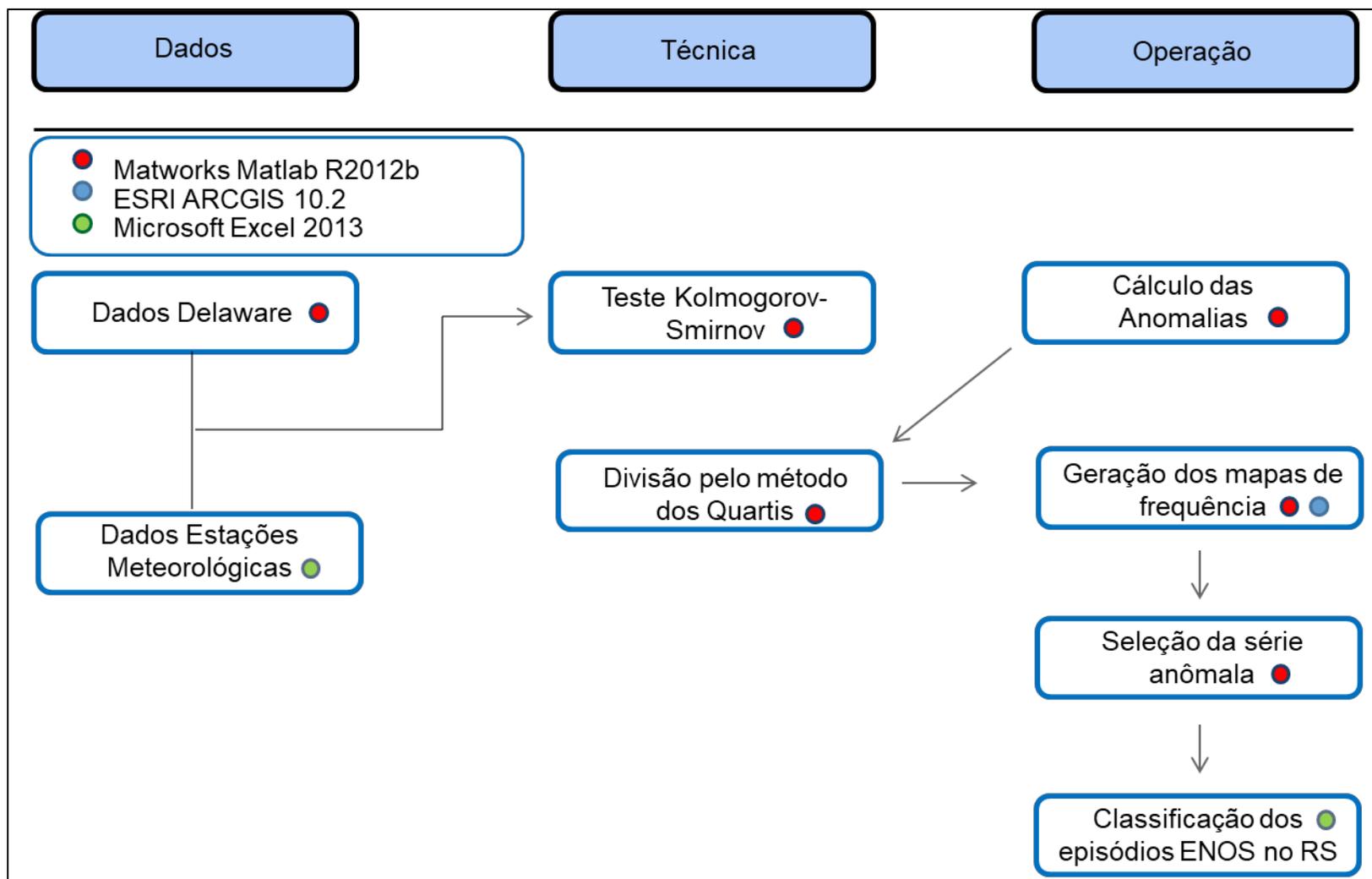


Figura 17 - Fluxograma da validação dos dados de precipitação, 1901-2000, das reanálises da Universidade de Delaware.

## **4 – RESULTADOS**

### **4.1 - Série histórica**

A série história descrita a seguir possui os principais relatos e notícias encontrados em meios virtuais e físicos e referem-se a algum evento de enchente, estiagem ou precipitação (A Federação, 2016; Jornal do dia, 2016; Diário de notícias, 2016; O Momento, 2017; A Época, 2017). Alguns gráficos e mapas também foram descritos com base no material encontrado. As notícias do jornal “A Federação” estão subdivididas nos itens 4.1.1 e 4.1.2 em anomalias positivas e negativas, respectivamente.

#### **4.1.1 – Jornal “A Federação” – Anomalias Positivas**

A pesquisa histórica do jornal “A Federação”, original de Porto Alegre, foi realizada virtualmente. O veículo de comunicação publicou notícias de 1884 até 1937, quando o jornal encerrou suas atividades. Como este estudo trata apenas do século XX, optou-se por usar apenas as publicações feitas de 1900 a 1937.

O jornal foi digitalizado e todo o seu conteúdo encontra-se disponível na rede (<https://caminhosdosmuseus.wordpress.com/2013/09/16/jornal-a-federacao-1884-1937-digitalizado/>). O link disponibiliza uma ferramenta de consulta onde, inserindo uma palavra, ela traz todas as publicações que contém a mesma. Contudo, deve-se analisar notícia por notícia, pois algumas palavras tinham significados diferentes naquela época, bem como pode haver um erro de digitação ou até mesmo um erro no reconhecimento da digitalização da página, que pode estar em mal estado ou simplesmente tremida, dificultando o reconhecimento.

Foram utilizadas duas palavras como filtro: “enchente” e “inundação”. A palavra “enchente” trouxe 1170 resultados. Destes, 1055 ocorreram no século XX. Contudo, como mencionado anteriormente, a palavra enchente possuía um duplo significado, podendo ser o evento natural ocorrido pela cheia dos rios, que ultrapassam o limite de seu leito em estado normal, bem como também poderia significar um espetáculo de grande porte, no qual muitas pessoas

compareceram. Logo, cada resultado da pesquisa foi verificado individualmente a fim de ter o número exato de notícias sobre enchentes. Outro fato importante a se mencionar é que, de todos os casos de enchente no período analisado, só seriam computadas as ocorridas em algum município do RS, filtrando ainda mais a pesquisa. Dos 1055 registros contidos no século XX, 204 são notícias de enchentes ocorridas no RS.

A palavra “inundação” denota um significado mais preciso, referindo-se apenas ao evento extremo natural dos rios. Logo, dos 402 casos encontrados, 317 estavam no século XX e foram validados e filtrados da mesma maneira que a palavra anterior: somente as ocorridas dentro do Estado. Destes 317 casos, apenas 27 foram utilizados para o atual estudo.

Após a seleção das notícias, gerou-se gráficos com o número de registros contidos por municípios, a fim de se saber quais são os mais impactados pelos eventos extremos de inundação.

Os resultados da pesquisa foram transformados em gráficos de ocorrência indicando quais cidades registraram a maior quantidade de observações. Dos 204 casos registrados com a palavra-chave “enchente” em 52 municípios, 44 deles ocorreram em Porto Alegre, sendo este o município que registrou o maior número de casos (Figura 18), com 21,6% do total. Rio Grande está em segundo lugar com 14 ocorrências (6,9% do total), seguido de Montenegro e Pelotas, ambas com 12. Ainda se nota que os municípios de Lajeado, Uruguaiana, Cachoeira do Sul, Itaqui e Alfredo Chaves (conhecida por Veranópolis atualmente) também registram valores superiores a cinco casos ao longo dos 37 anos analisados.

Na figura 19, referente à pesquisa da palavra “inundação”, Porto Alegre também aparece em primeiro lugar, porém desta vez com 12 dos 27 registros, contabilizando 44,4% das notícias encontradas sobre o tema. Rio Grande novamente aparece em segundo lugar com 3 casos dentro do período estudado. Todos os outros 13 municípios registrados contabilizam apenas um único caso. Como o jornal era vinculado ao município de Porto Alegre, é compreensível que a maior parte das notícias sejam a respeito do município. Entretanto, o meio de comunicação possui a maior quantidade de notícias sobre os temas “enchente” e “inundação” para a primeira metade do século XX.

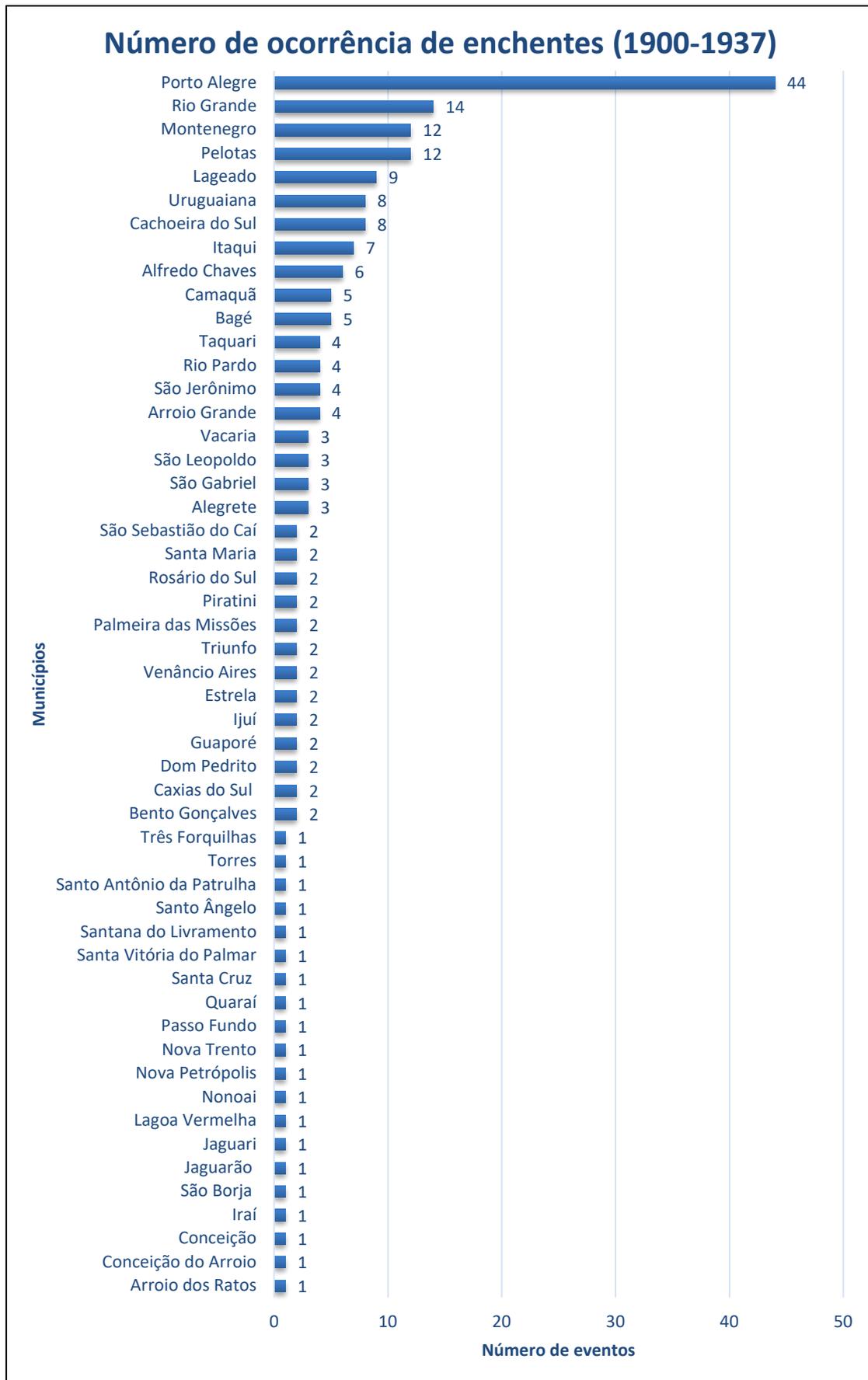


Figura 18 - Municípios com registros de enchentes no RS entre 1900 e 1937.

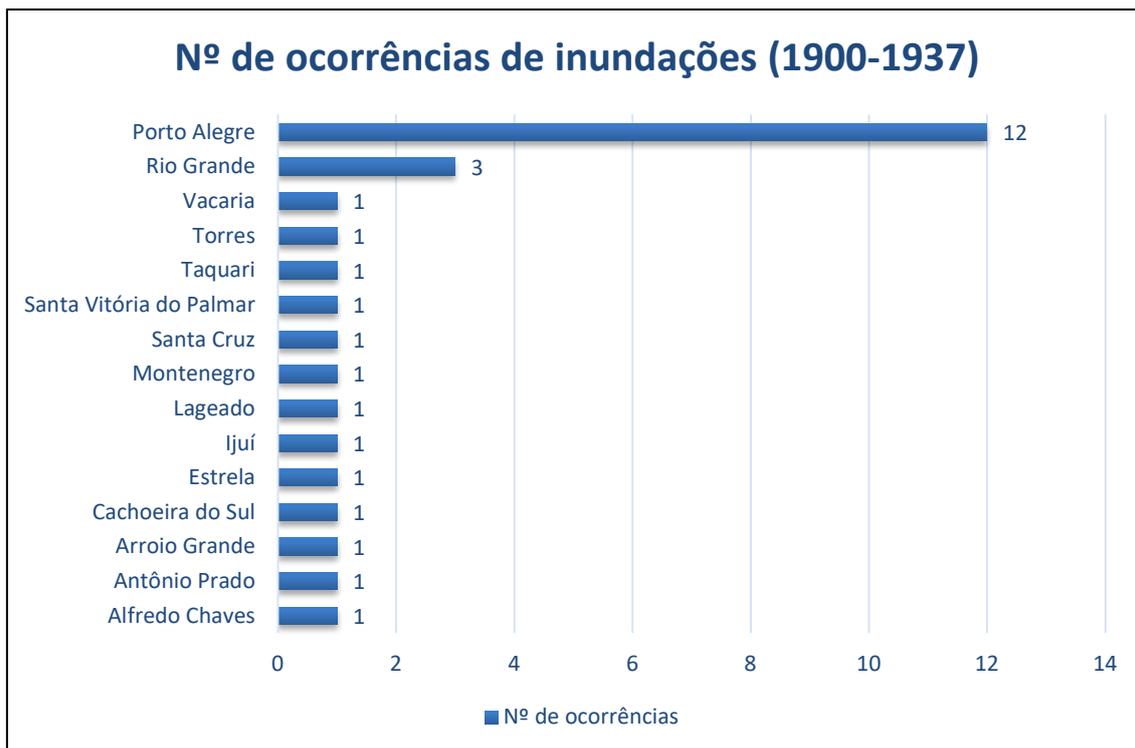


Figura 19 - Municípios com registro de inundação no RS entre 1900 e 1937.

A distribuição espacial dos municípios com registros de enchentes encontrados (Figura 20) aponta que a maior parte dos municípios vitimados por um evento extremo de enchente ou inundação se localizam ao leste do Estado, indicando que o crescimento populacional da época contribuiu para a ocorrência de enchentes, pois as cidades com os maiores números de ocorrências estão, quase todas elas, na zona Litoral, onde os municípios são de baixa altitude ou planos. Isto oferece um terreno ideal para eventos extremos de enchente e inundação, pois seus perímetros urbanos estão localizados próximos a grandes corpos d'água (Figura 21).

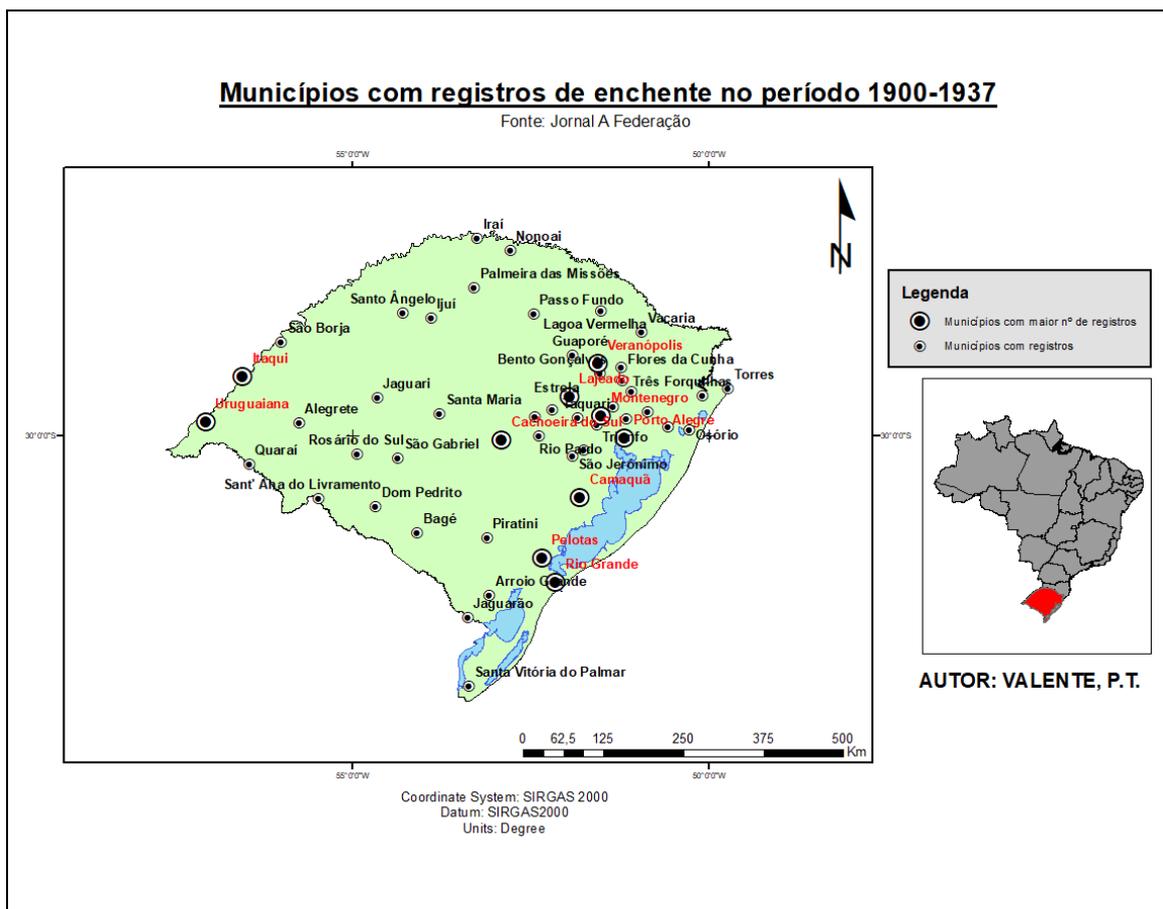


Figura 20 - Municípios com registro de enchente e inundação no período 1900-1937. Estão destacados em vermelho os dez municípios com maior número de registros.

Dos dez primeiros municípios da figura 18, apenas dois não estão no eixo de Porto Alegre ou Pelotas/Rio Grande, sendo estes Itaqui e Uruguai. Contudo, menciona-se que ambos estão próximos do rio Uruguai, o segundo rio com maior número de casos, perdendo apenas para o Jacuí. Ressalta-se que outros municípios próximos a este corpo d'água também registraram eventos extremos, porém em número menor. Normalmente, as notícias de enchente ocorriam sequencialmente na mesma semana, iniciando pelos municípios mais próximos à montante e, em poucos dias, impactando os à jusante. Menciona-se que os afluentes destes grandes rios, conseqüentemente, inundavam quando havia uma cheia nos de ordem maior, aumentando o número de municípios impactados.

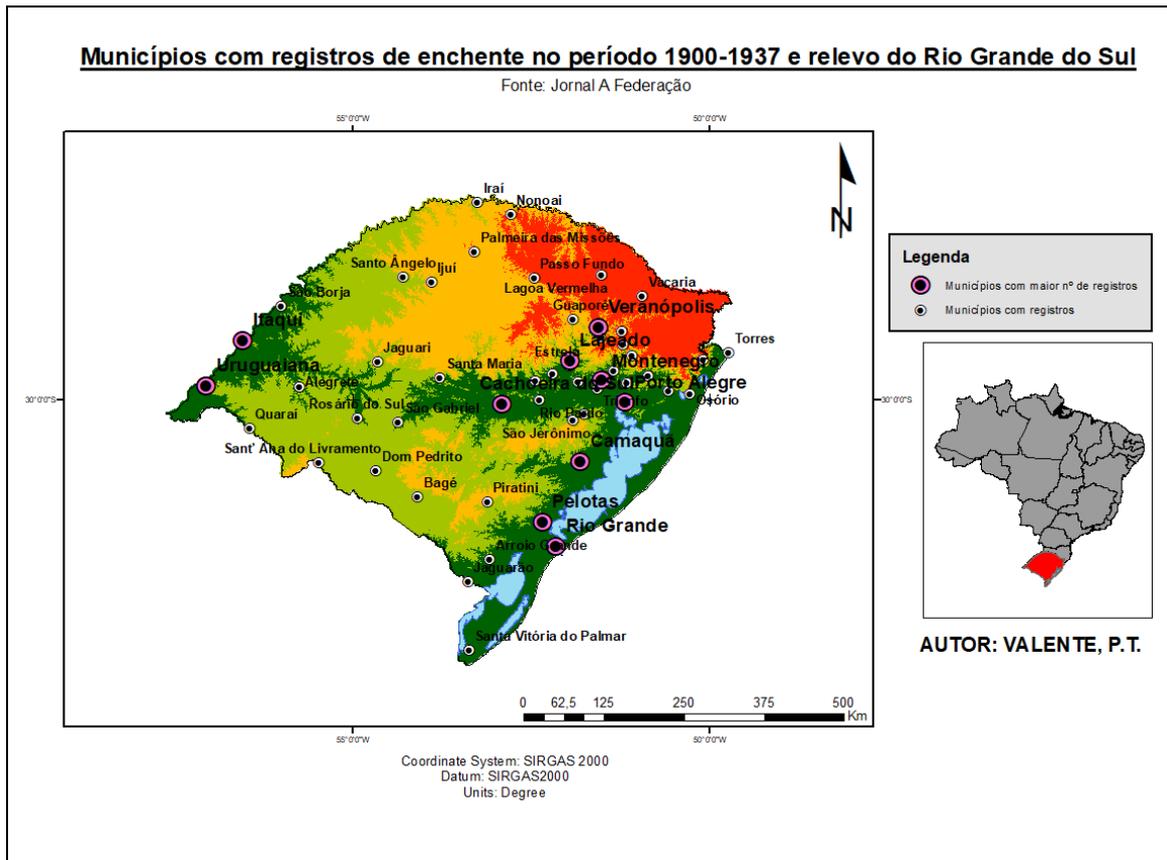


Figura 21 - Relevo, hidrografia e municípios com registros de enchente.

A figura 22 exemplifica a área de registros de enchentes e inundações que os municípios possuíam. Suponha-se que uma cidade fictícia foi construída no leito de um determinado rio em um momento anterior ao período estudado nesse trabalho. No início do século XX, a área urbana do município era menor, conforme pode ser observado no círculo 1 da figura 22. Logo, quando havia uma enchente, a única área registrada em notícias de jornais era a porção habitada em torno do rio, mesmo que o mesmo estivesse cheio em todas as suas partes.

Com o tempo, esta mesma cidade se desenvolveu, expandindo sua área urbana, como pode ser visto no círculo 2 da figura 22. Devido à expansão, uma enchente pode ser sentida e registrada em uma área muito maior. Logo, o desenvolvimento de uma cidade e sua expansão leva a uma expansão da área de registro, mesmo que a enchente ocorra em toda a parte do rio.

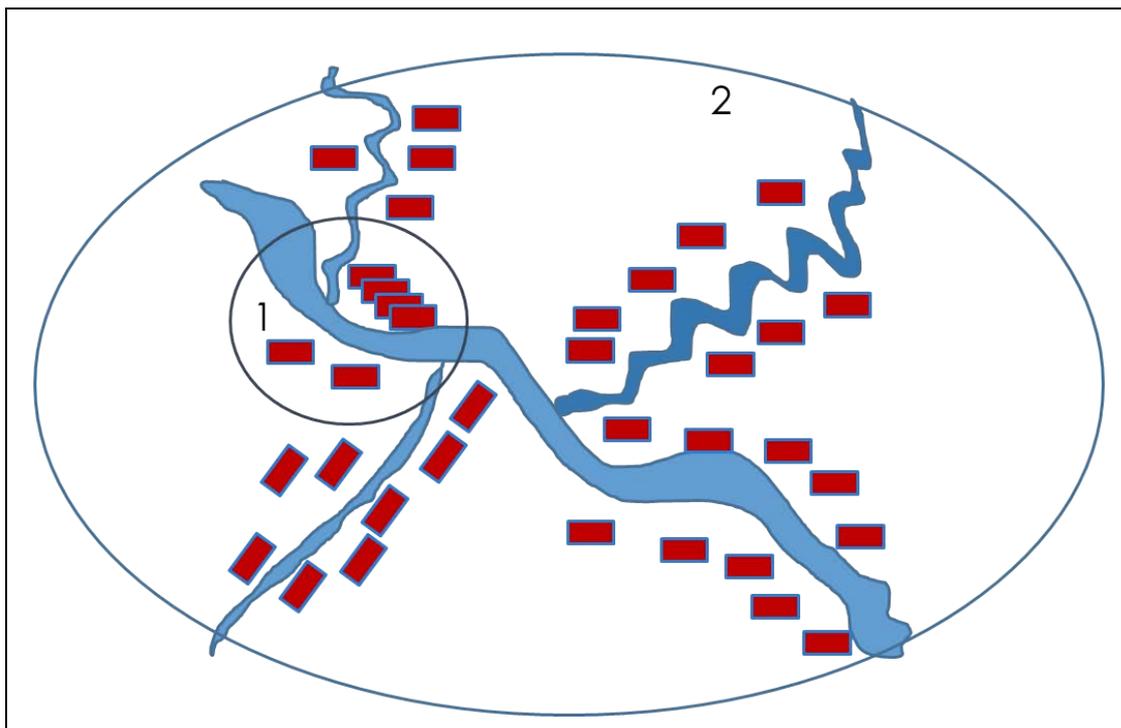


Figura 22 - Exemplo da expansão da área de registros de enchente em um município ao longo do seu crescimento.

Além dos produtos gerados a partir do que foi encontrado no jornal “A Federação”, informações originais do meio de comunicação também contribuíram para o banco de resultados deste trabalho. A figura 23 demonstra os níveis que o Guaíba alcançou nas enchentes de 1899 até 1914. Percebe-se que, dos quinze eventos noticiados, onze deles ocorreram no final do inverno e início da primavera, época que mais chove no Estado (BERLATO e FONTANA, 2003; GRIMM, 2009).

Ressalta-se que, segundo a tabela 2, sete destes eventos aconteceram em períodos de El Niño e seis em épocas de La Niña. Todos os casos ocorridos em El Niños datam do final do inverno e início da primavera. Os casos de La Niña ocorrem, em quase sua totalidade, durante o inverno.

**As enchentes no porto desta capital**—Por ser interessante, publicamos abaixo as alturas das enchentes no porto desta capital, nos ultimos annos.

As observações começaram a ser feitas pela Directoria da Viação Fluvial da Secretaria das Obras Publicas, em 1899, mediante uma escala collocada no trapiche daquelle repartição, na rua Sete de Setembro.

As enchentes maximas observadas desde aquelle anno até a ultima foram as seguintes:

	alturas m.
Setembro de 1899 .....	2,65 "
Outubro " 1900 .....	1,15 "
Janeiro " 1901 .....	1,07 "
Setembro " 1902 .....	2,04 "
Junho " 1903 .....	1,65 "
Julho " 1904 .....	1,50 "
Agosto " 1905 .....	2,40 "
Setembro " 1906 .....	1,90 "
Agosto " 1907 .....	2,00 "
Setembro " 1908 .....	1,80 "
Julho " 1909 .....	1,55 "
Agosto " 1910 .....	1,31 "
Outubro " 1911 .....	2,06 "
Setembro " 1912 .....	2,15 "
Novembro " 1913 .....	1,30 "
Setembro " 1914 .....	2,60 "

Segundo informações de pessoas fidedignas, a enchente de 1873 alcançou a 2,80 m.

O capeamento do caes da praça Senador Florencio acha-se na cota de 3 metros.

Figura 23 - Níveis do lago Guaíba das enchentes dos primeiros quatorze anos do século XX. Fonte: A Federação (12/09/1914). Local: Porto Alegre.

A figura 24 aponta os totais pluviométricos do período 1908-1918 com detalhes preciosos para o estudo. Nela é possível ver uma tabela com os valores de evaporação, altura total de maré e outras variáveis que cooperam no encontro de anomalias para esta época.

ANOS	Medias pluviométricas. Milímetros	Evaporação. Milímetros	Observações anemoscópicas	Altura média da maré no ponto sul da barra, em metros	Cubo de enchente pelo canal do norte. Metros cúbicos.	Cubo de vazante pelo canal do norte. Metros cúbicos.	Saída total de águas da vertente oriental pelo canal do norte. Metros cúbicos.
1908	1322	1066	N. E.	0,40	49.320.000.000	180.129.000.000	130.797.000.000
1909	1178	1181	N. E.	0,39	—	—	—
1910	1002	1127	N. E.	—	—	—	—
1911	1319	1091	N. E.	0,44	55.619.000.000	160.182.000.000	104.543.000.000
1912	1511	1039	N. E.	0,50	58.240.000.000	150.956.000.000	92.716.000.000
1913	878	1010	N. E.	0,45	102.651.000.000	82.978.000.000	39.673.000.000
1914	2358	907	N. E.	0,61	63.303.000.000	156.460.000.000	98.037.000.000
1915	1442	988	N. E.	0,53	66.642.000.000	100.814.000.000	94.172.000.000
1916	999	1129	SW. NE	0,47	—	—	—
1918	668	1268	N. E.	0,33	—	—	—

Figura 24 - Descrição dos totais pluviométricos e outras variáveis para as Lagoas dos Patos e Mirim no início do século XX. Fonte: A Federação (11/06/1918). Local: Rio Grande.

#### 4.1.2 – Jornal “A Federação” – Anomalias Negativas

Os eventos extremos negativos de precipitação, estiagens, possuem um padrão diferente dos extremos positivos. Uma chuva anômala pode inundar um curso d’água em questão de horas e, da mesma maneira, escoar o suficiente para que o corpo hídrico volte ao seu estado normal em menos de um dia. As estiagens ocorrem em uma escala de tempo maior, pois a falta d’água precisa ser sentida conforme o passar dos dias.

Destaca-se que não existe uma convenção mundial que determina o tempo mínimo para um evento ser considerado seco. Barry e Choley (2013) ressaltam que o termo “seca” possui mais de 150 definições, oriundas de diversos ramos da ciência, e decorre da ausência de precipitação ao ponto de causar déficits de umidade no solo por evapotranspiração e redução nos fluxos

dos córregos. Trenberth *et al.* (2014) ressalta que a disponibilidade de água é de preocupação social e ambiental, pois tanto o meio urbano quanto o rural são afetados diretamente por secas. Segundo os autores, a região dos trópicos e latitudes médias pode apresentar secas de até seis meses devido a variabilidade climática interanual. Para as regiões de latitudes mais altas, é possível observar secas atmosféricas de sete meses a um ano.

Barry e Choley (2013) também ressaltam a contribuição antrópica para as secas. A remoção da vegetação leva ao aumento do albedo superficial, reduzindo a evapotranspiração e, conseqüentemente, a pluviosidade. Outro problema frequente é o desvio inadequado de um córrego para irrigação ou pastoreio, que também modifica a cobertura superficial do solo. Em Trenberth (2014), é descrito que, devido às mudanças climáticas nos últimos 70 anos, lugares com frequente ocorrência de secas tendem a produzir mais secas, assim como lugares úmidos tendem a se ter eventos mais úmidos.

As figuras 25 a 31 exemplificam algumas reportagens que foram encontradas com a palavra-chave “estiagem”. Nota-se que há relatos do início do século que não sincronizam com os casos de ENOS. Contudo, elas relatam episódios de secas e estiagens de, no mínimo, um mês em diferentes partes do Estado do RS.

Estação Agronômica		Elementos climatológicos	
Resumo das observações meteorológicas do mez de fevereiro de 1906 :			
Temperatura . . . . .		Média	
Pressão observada m/m . . . . .	25° 20'		
Altura da chuva caída . . . . .	759,4	Maxima	
Dias chuvosos . . . . .			
Dias de trovada . . . . .		Minima	
Nebulosidade de 0 a 10 . . . . .			
Predominaram os ventos de leste . . . . .			
		Maxima abs.	
		Minima abs.	
		Total	
			43,2
			5
			1,7
<i>Considerações gerais</i>			
Esperava-se que a falta de chuva terminasse em fevereiro, entretanto a estiagem perdura e cada vez aumenta, concorrendo desse modo para			

tornar mais criticas e precarias as condições da nossa lavoura.

Para se ter um conceito da grande secca que nos atormenta, basta historiar os factos climatericos fluviaes do trimestre decorrido. Até os meados de janeiro, as plantações conservavam-se em bom estado, embora em alguns logares as chuvas tivessem cessado já na segunda decada de dezembro. Daquelle tempo em diante, os fortes calores e os ventos de levante começaram a estiolar as alturas chegando até a aniquilal-as por completo. Assim julgamos que em certas regiões somente choveu no dia 15 e no dia 25 a 26 de fevereiro, por terem sido estas duas chuvas geraes; essas, porém, quasi de nada serviram, pois a precipitação maxima foi de 21 mm.

A temperatura conservou-se alta: alta tambem conservou-se a columna barometrica, os ventos oceanicos foram frequentissimos e a nebulari- dade quasi nulla, digna de nota foi a do dia 4, essa attingiu a 37°6; foi a maxima absoluta mais alta observa- da desde o anno de 1900.

Em vista tambem da presença dos gafanhotos que desolaram muitas zonas productivas, a situação agri- cola é tristissima, porém, pôde-se di- zer que a secca ainda fez maiores estragos que as locustas.

Estação Agronômica Expirimental, 1-3-1906.

João M. Paldaof.

Figura 25 - Nota da estação agrônômica, atual estação agrônômica da UFRGS próxima ao município de Arroio dos Ratos. Fonte: A Federação (03/03/1906).

É comum encontrarmos relatos de períodos secos que foram interrompidos por um evento de precipitação, não necessariamente anômala. Estas quebras costumavam gerar notícias, como demonstram as figuras a seguir:

Em Uruguayana, depois de tres mezes de **estiagem**, caiu uma chuva forte no dia 10 do corrente. Os gafanhotos passaram por ali fazendo estragos.

Figura 26 - Notícia do fim de um período de três meses de estiagem em Uruguaiiana. Fonte: A Federação (21/03/1906).

**Mortalidade de gado** — As chuvas que têm caído, no municipio de Uruguayana, desde a vespera da entrada do anno novo, causaram mortalidade de gados.

Os animaes, pela longa **estiagem** que o municipio atravessara, achavam-se bastante magros e muito sofferam, principalmente com as bategas d'agua de primeiro de janeiro. Como aggravante a todos os males, a chuva foi um pouco fria.

O sr. Patricio Rdrigues de Freitas, fazendeiro em Guapitangay, perdeu, com as primeiras chuvas, 380 rezes.

O sr. Luiz Duarte, nos dias 31 de dezembro e 1º de janeiro, perdeu mais 120 cabeças.

O sr. Manoel Thomaz da Silva, com a primeira chuva, perdeu 64 rezes.

O sr. Leonido Pintos, fazendeiro em Boa Vista, das 300 rezes de cria que possuia, num campo, perdeu 200 cabeças, segundo fomos informados.

Entre os estancieiros que perderam maior numero de gados, com as chuvas, contam-se os senhores Anthero Marty, Luiz Benito Pinto e Manoel Ribeiro Sigaran.

Figura 27 - Reportagem sobre a mortandade do gado devido à estiagem, na região de Uruguaiiana. Fonte: A Federação (16/01/1918).

Reportagens sobre a perda de gado e a quebra de uma estiagem são recorrentes no Estado. Contudo, na época a informação possuía uma velocidade menor do que atualmente. Devido a isto, era comum a repetição da notícia ao longo dos dias ou o acompanhamento contínuo de algum evento, que normalmente ocorria nas secas de maior duração. Isto explica a sequência

de registros dentro de um mesmo ano ou mês a fim de evidenciar que naquele período houve uma anomalia negativa de precipitação.

<p><b>A secca e os canaes interiores —</b> A prolongada estiagem que se vem fazendo sentir no Estado serviu para pôr em evidencia o merito da obra systematica do governo do Estado na abertura e conservação dos canaes interiores.</p> <p>Como é natural, a secca produziu consideravel abaixamento do nível d'agua nas lagoas dos Patos e Mirim e no rio Gualyba. Por effeito da ultima nordestia, de curta duração, porém de grande intensidade, a agua desceu, no porto desta capital, a 30 centímetros abaixo do zero da escala; no canal da Feitoria a 10 centímetros abaixo do zero e no Sangradouro a 40 centímetros acima do zero. Na barra do Rio Grande o abaixamento foi de 40 centímetros abaixo do zero.</p>	<p>Exactamente no momento em que se verificava essa baixa de nível, no Rio Grande, o dr. Faria Santos, director da Viação Fluvial, então naquella cidade, tinha a satisfação de assistir a entrada na barra do paquete allemão <i>Peraná</i>, calando 23 pés, sem nenhuma novidade.</p> <p>Quanto aos canaes entre Porto Alegre, Peiolas e Rio Grande, conservam a profundidade minima de 4,50 m. abaixo do zero, excepto na sahida do canal da Feitoria, na lagoa dos Patos, onde as lestadas formaram alguns alfaques de 3,60 e 4 m. de profundidade, mas somente no lado do canal que fica a S. E., o outro está franco até 4,50 m.</p> <p>No seu regresso de Rio Grande, a bordo de um dos vapores da Companhia Costeira, foi o dr. Faria Santos informado de que os raios dessa empresa têm navegado sempre bem, com 12 pés de calado.</p>	<p>Antes da abertura dos canaes a navegação, em épocas como a actual, não se faria em mais de 9 1/2 pés de calado, e mesmo assim com encalhes frequentes. Não vinham a esta capital, por falta d'agua, os vapores do Lloyd Brasileiro, que agora viajam regularmente para cá.</p> <p>Apezar de competir á União a conservação do Sangradouro, o governo do Estado mandou desobstruir-o pela sua draga "7 de Setembro", de sucção e recalque, que está prestando bons serviços.</p> <p>A profundidade desta canal era de 2 m. porém acha-se, no momento, reduzida a 1,10 m., na extensão approximada de 1 kilometro.</p>
---	---	---

Figura 28 - Reportagem sobre um evento de estiagem e a canalização de arroios no RS. Fonte: A Federação (17/03/1926).

**Alfredo Chaves —** Após trinta e poucos dias de estiagem, quinta-feira choveu na villa, mal dando para apagar o pó das ruas.

Entretanto, em alguns pontos do interior do municipio, choveu com abundancia, sendo que, na Linha Parreira Horta, a chuva se fez acompanhar de forte cyclone, que causou grandes prejuizos materiaes aos moradores.

Um que muito soffreu com o temporal foi o colono Serafim Piovesam que, além de ver sua casa e um paiol arrebatados pelo furacão, teve a desventura de perder uma filha de 12 annos, a qual, para resguardar-se da tempestade, havia entrado em um paiol que, pouco depois, foi derribado pelo vento, cahindo-lhe as respectivas madeiras em cima, matando-a.

— Assumiu o juizado da comarca o dr. Luiz de Freitas e Castro.

— Após longos padecimentos, falleceu, em sua residencia, o industrialista sr. Pasquale Andreghetti.

A noticia de sua morte causou funda magua á população.

Figura 29 - Notícia sobre uma estiagem em Alfredo Chaves (atual município de Venancio Aires). Fonte: A Federação (30/03/1926). Notar o grau de imprecisão da notícia, não contendo a data exata de dias sem chuva.

Depois de longa estiagem, tem chovido aqui, copiosamente, considerando-se extinta a seca.

Figura 30 - Notícia de estiagem em Santana do Livramento. Fonte: A Federação (09/04/1929).

gros.  
A longa e excepcional estiagem que assolou a nossa campanha, desde dezembro até poucos dias, não permittiu o engorde normal dos gados.

Figura 31 - Estiagem na região da campanha com duração de, aproximadamente, seis meses. Fonte: A Federação (24/05/1929).

Como o número de notícias sobre secas é inferior e não o número de notícias não variou muito em relação aos municípios, optou-se por fazer o percentual das notícias sobre os temas “seca” e “escassez” por meio do zoneamento proposto para o estudo. A tabela 11 expressa o percentual de registros históricos encontrados:

Tabela 11 - Porcentagem dos registros de anomalias negativas encontrados conforme o zoneamento adotado.

Zonas	Porcentagem dos registros negativos
Campanha	22,22
Litoral	28,65
Planalto	49,12
Total %	100
Total de registros	171

Percebe-se que a zona Planalto possui quase metade dos eventos encontrados. Pelo fato de ter a maior parte do RS dentro do zoneamento, era esperado que o Planalto possuísse a maior porcentagem. Portanto, é provável que o elevado número de notícias decorra da escolha do zoneamento.

#### **4.1.3 – Pesquisa histórica: Superintendência de Portos e Hidrovias**

Além da pesquisa realizada em meio virtual, houve também a procura por arquivos históricos que possam ser interessantes ao estudo em meio físico. Na Superintendência de Portos e Hidrovias do RS (SPH), foram encontrados alguns materiais que relatam sobre enchentes, registros de níveis de rios e precipitações excepcionais.

Nas pesquisas de campo, era comum encontrar dados já computados nos jornais digitalizados. Alguns destes dados, porém, apresentaram maior confiabilidade por trazerem consigo um valor medido por um profissional de algum órgão especializado em observações atmosféricas (como SPH e INMET). A figura 33 e tabela 12, por exemplo, indicam valores médios das descargas fluviais em Rio Grande e os totais pluviométricos referentes às precipitações de abril e maio de 1941, respectivamente.

Destaca-se a tabela 12 por apresentar valores numéricos para o caso mais famoso do século. Era comum que as notícias dos jornais relatassem os limites da inundação e o tempo de chuva, porém nenhum registro foi encontrado indicando os totais pluviométricos. Portanto, a obtenção de um dado quantitativo auxiliou na compreensão da espacialização e intensidade do evento.

A figura 32 exibe uma média de descargas fluviais na barra de Rio Grande. Nela, percebe-se um aumento do valor anual nos trinta anos analisados. O ápice do valor da análise ocorre no início da década de 1960, época na qual o Oceano Pacífico se encontrava em estado normal, conforme o índice Niño da NOAA. Analisando a série completa, nota-se que a descarga fluvial parece ser influenciada pelo ENOS, pois as oscilações sobrepostas a tendência linear coincidem com as fases do mesmo.



Figura 32 - Média anual das descargas fluviais na barra de Rio Grande. Período (1944-1975).

A tabela 12 expressa o total de precipitação de, aproximadamente, um mês entre abril e maio de 1941, época da qual houve a grande enchente de Porto Alegre. Nela pode se observar que os municípios tiveram uma média de 16 dias de chuva, com totais superiores a 200 mm. Em Santa Maria e Soledade os valores ficaram próximos a 900 mm. Na capital e cidades banhadas pelo Rio Jacuí os totais encontram-se entre 400 e 650 mm.

Tabela 12 - Precipitação acumulada de 10 de abril a 14 de maio de 1941 nas principais cidades do Estado.

Município	Precipitação total (mm)	Nº dias com precipitação
Bagé	468,3	21
Bento Gonçalves	432	15
Caçapava do Sul	489,5	22
Cachoeira do Sul	543,5	21
Caxias do Sul	545,6	19
Cruz Alta	728,7	16
Encruzilhada do Sul	610,9	23
Guaporé	706,7	20
Jaguarão	545	21
Júlio de Castilhos	603,7	16
Lagoa Vermelha	315,7	13
Passo Fundo	425,4	19
Piratini	325	22
Porto Alegre	619,4	22
Rio Grande	379,7	24
Santa Cruz do Sul	757,8	24
Santa Maria	905,3	20
Santa Vitória do Palmar	431,6	21
São Francisco de Paula	498,9	19
São Gabriel	515	17
Soledade	895	19
Tapes	462,5	23
Taquara	330,8	14
Taquari	623,6	19
Vacaria	271,2	15

A figura 33 apresenta a espacialização os dados dos 25 municípios afetados pelas chuvas do outono de 1941, onde boa parte deles, no centro e leste do Estado. Segundo o relevo do RS, observa-se que a maior parte dos municípios palco das chuvas está na depressão central e no planalto.

É importante ressaltar que, devido ao pacote de medidas realizado pelo governo do Estado (RIO GRANDE DO SUL, 2016), alguns órgãos públicos que continham dados de precipitação do RS foram extintos, sob alegação de redução de custos. Com isto, as pesquisas de campo à SPH e Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) foram interrompidas e os dados não puderam mais ser acessados.

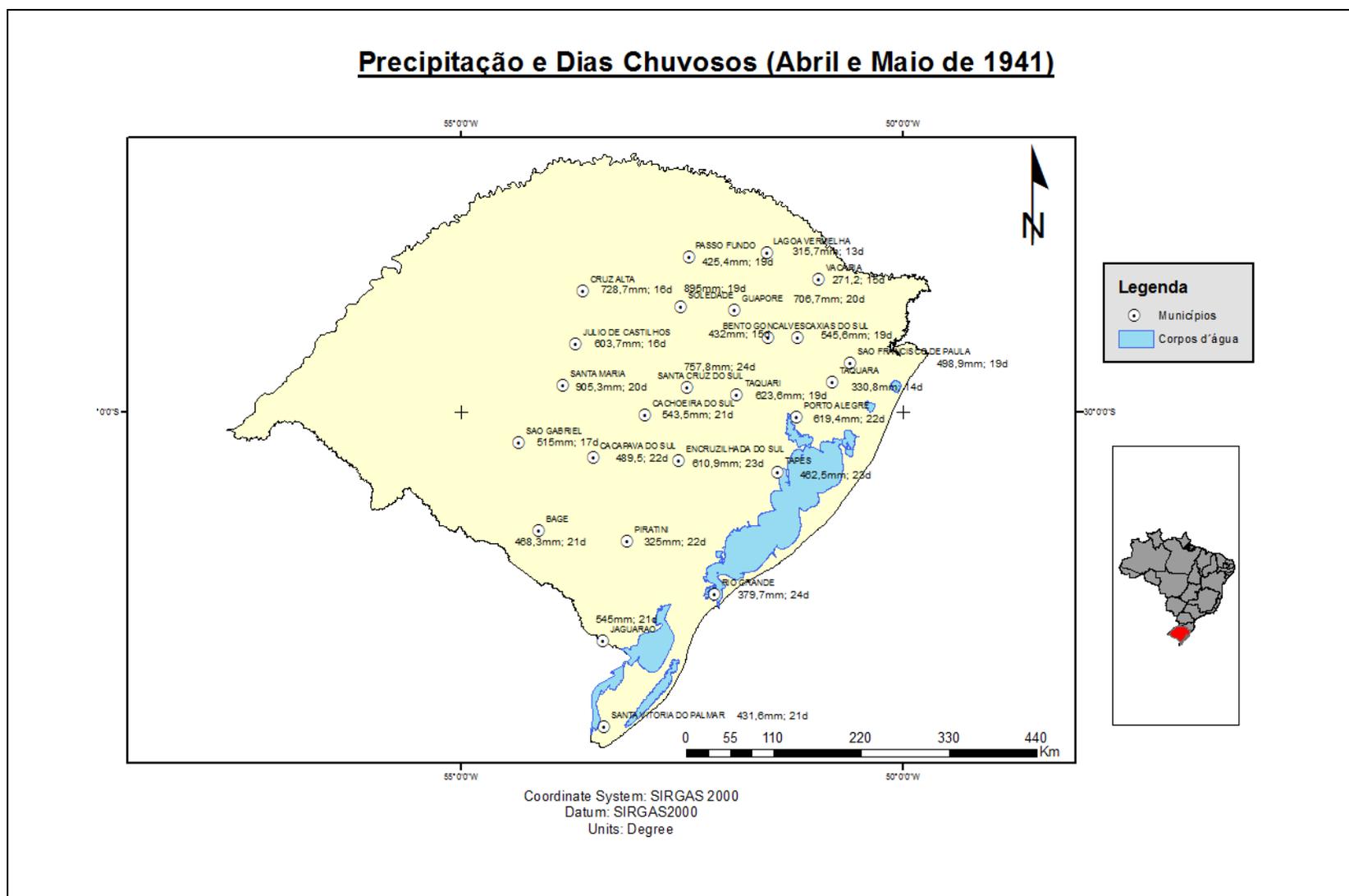


Figura 33 - Mapa do número de dias e o total da precipitação acumulada (mm) entre abril e maio de 1941.

A figura 34 demonstra as dificuldades e vantagens da análise dos dados e construção das séries históricas. Para o início do século XX, a quantidade de registros era menor, facilitando a padronização dos mesmos. Conforme a busca era focada em dados mais recentes, esta dificuldade de procura diminuía, ao passo que a quantidade de dados aumentava, tendo em conta que o do século XX, a partir de 1940, possui maior número de registros históricos, bem como os dados das estações meteorológicas a partir de 1960, que foram submetidos aos testes dos quartis para serem inseridos no cruzamento das séries temporais. Logo, pode-se dizer que a dificuldade para os dados da segunda metade do século XX era a observação e padronização dos dados.

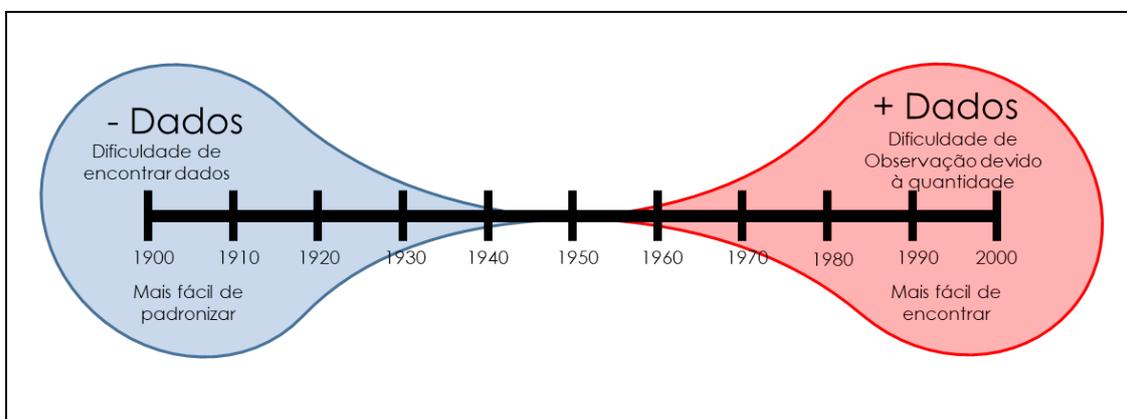


Figura 34 - Avaliação das facilidades e dificuldades de busca e padronização dos dados de registros históricos.

## 4.2 – Séries Delaware

Nesta seção, são descritas as séries temporais geradas pelo banco de dados fornecido pela Universidade de Delaware.

### 4.2.1 – Séries temporais

As figuras 35, 36 e 37 expressam as séries temporais com todos os registros de eventos extremos ocorridos no século XX. A média corresponde ao valor zero. Percebe-se uma similaridade entre as anomalias da zona Campanha com as da zona Planalto.

Antes de efetuar a análise das anomalias climáticas extremas, optou-se por fazer uma distribuição de frequência, que será explicada no item seguinte. As análises das fases do ENOS serão feitas a partir destas séries, dividindo-a

em três fases: El Niño, Neutro e La Niña. Nesta distribuição, foram colocados os eventos divididos nos quatro quartis analisados. O primeiro e o quarto quartil encontram-se destacados para indicar quais dados foram utilizados para a elaboração da série temporal de eventos extremos.

Sobre as séries temporais, percebe-se que as três zonas possuem o maior pico no mês de abril de 1959, apontando que, neste período, provavelmente ocorreu a maior anomalia climática do século XX. Outros casos facilmente perceptíveis de anomalias positivas ocorreram nos anos de 1932 e 1941. Este último, como dito anteriormente, é historicamente conhecido no Estado.

Quanto às anomalias negativas, as séries demonstram que há um grande evento a cada dez anos. As décadas de 1920 e 1950 apresentaram as maiores quantidades de eventos extremos negativos de precipitação. Vale ressaltar que as anomalias negativas são as que mais variam de zona para zona, havendo menos relação que as positivas.

Uma análise mais profunda das séries DLW será realizada no item 4.3, onde as séries temporais DLW serão cruzadas com as séries de registros históricos e estações meteorológicas a fim de evidenciar os casos registrados em ambas as fontes.

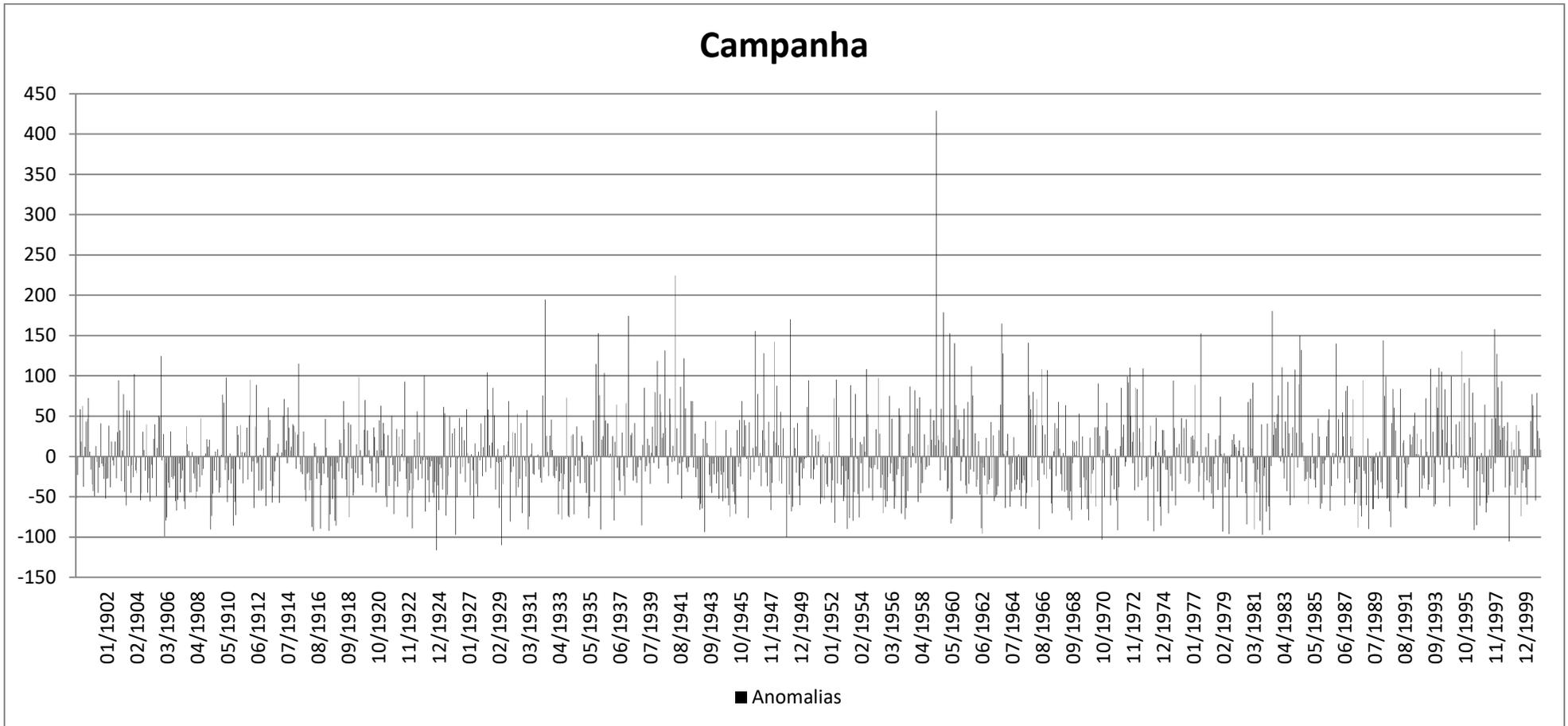


Figura 35 - Série temporal dos eventos anômalo de precipitação da zona Campanha (1901 a 2000).

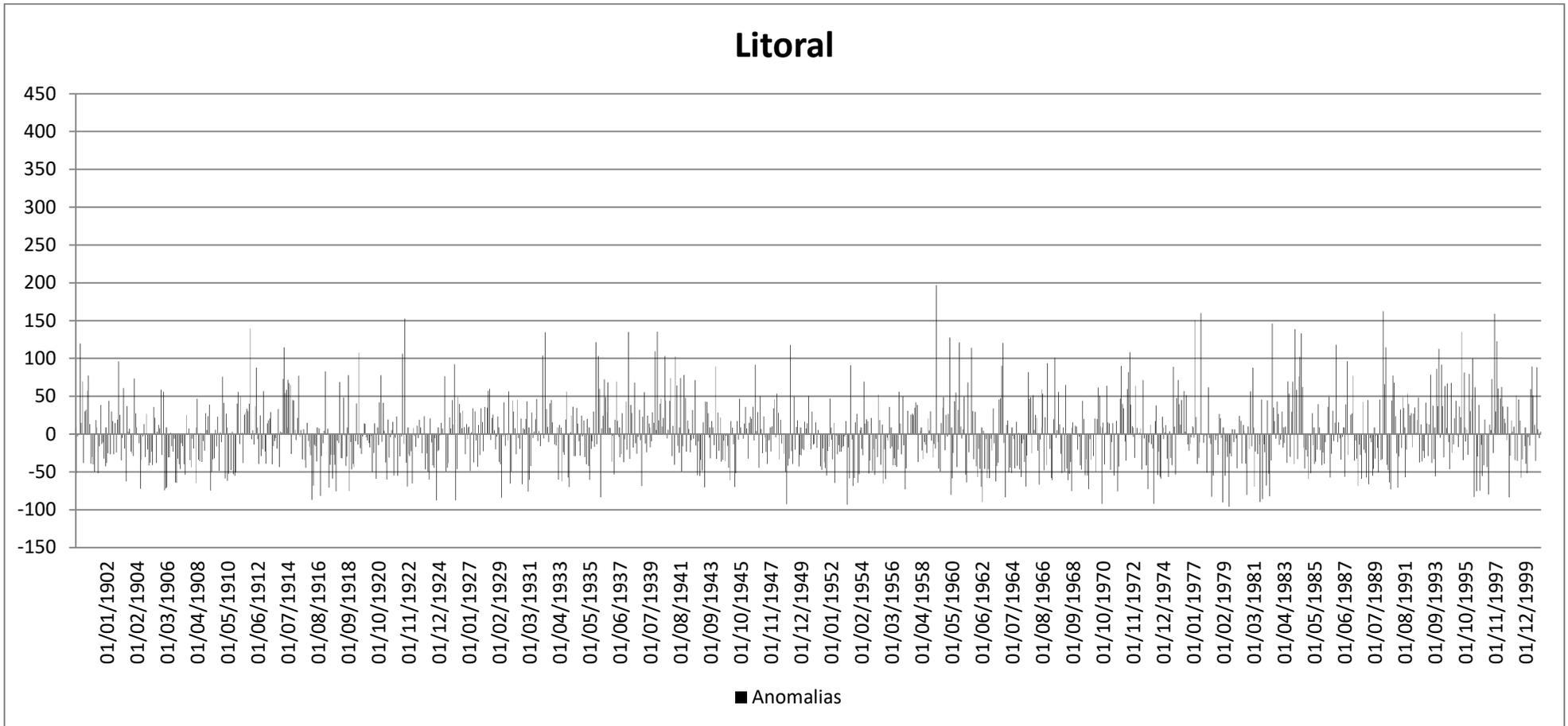


Figura 36 - Série temporal dos eventos anômalo de precipitação da zona Litoral (1901 a 2000).

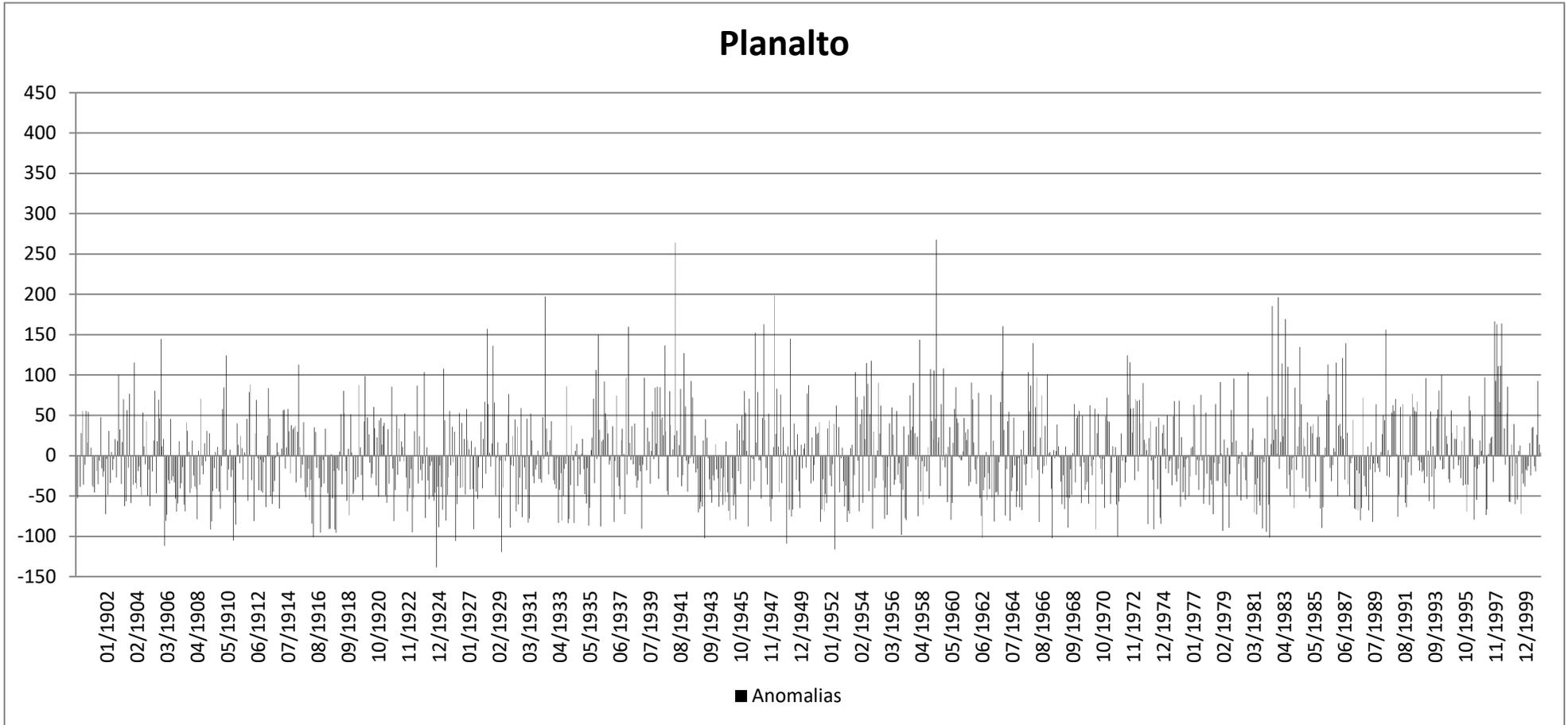


Figura 37 - Série temporal dos eventos anômalos de precipitação da zona Planalto (1901 a 2000).

#### 4.2.2 – Distribuição de frequência

Para a análise das séries temporais das reanálises de Delaware, optou-se por fazer uma distribuição de frequência das anomalias mensais de precipitação que serão descritas conforme o zoneamento de Viana (2009). Como descrito no item 3.4.2, apenas as amostras referentes ao primeiro e quarto quartil foram utilizadas para as análises a seguir, pois, conforme a técnicas dos quartis, estes foram os limites para a delimitação das anomalias climáticas extremas.

##### 4.2.2.1 – Campanha

A zona campanha obteve 346 anomalias mensais extremas de precipitação, sendo 179 anomalias negativas e 167 anomalias positivas durante o período de estudo, conforme descrito na tabela 13.

Tabela 13 – Contagem dos eventos anômalo da zona Campanha dividida nas três fases analisadas.

<b>Campanha</b>				
Anomalias	Fases			Total
	El Niño	Neutro	La Niña	
<b>Negativas</b>	<b>37</b>	<b>86</b>	<b>56</b>	<b>179</b>
Em torno da média	241	401	212	854
<b>Positivas</b>	<b>63</b>	<b>72</b>	<b>32</b>	<b>167</b>
Total	341	559	300	1200

A figura 38 expressa a distribuição de frequência dos meses anômalo. Estão destacadas, em azul, as anomalias utilizadas para a construção das séries temporais. A maior anomalia mensal ocorreu em um período neutro (428 mm em abril de 1959). A menor anomalia ocorreu em um mês de La Niña (-116,18 mm em outubro de 1924).

Das duas classes utilizadas (Q1 e Q4), a média das anomalias negativas para as três fases foi de -65,69; -72,55 e -46,98 mm, respectivamente. Para as anomalias positivas, as médias foram de 91,19; 86,69 e 115,19 mm, respectivamente. A maior anomalia mensal para os meses de El Niño foi de 224,51 mm e, para os meses de La Niña, 174,55 mm. A fase neutra apresentou não apenas a maior quantidade de anomalias positivas e negativas, como também obteve o maior valor. Contudo, a figura 38 indica que os meses de El

Niño apresentam casos com valores menores ao maior evento, porém superiores a 100 mm com mais frequência do que as anomalias neutras positivas. Por sua vez, os meses de La Niña apresentam anomalias negativas menores que as de período neutro, indicando que as estiagens em fases de La Niña, dentro do período analisado são mais intensas, conforme o afirmado por Berlato e Fontana (2003).

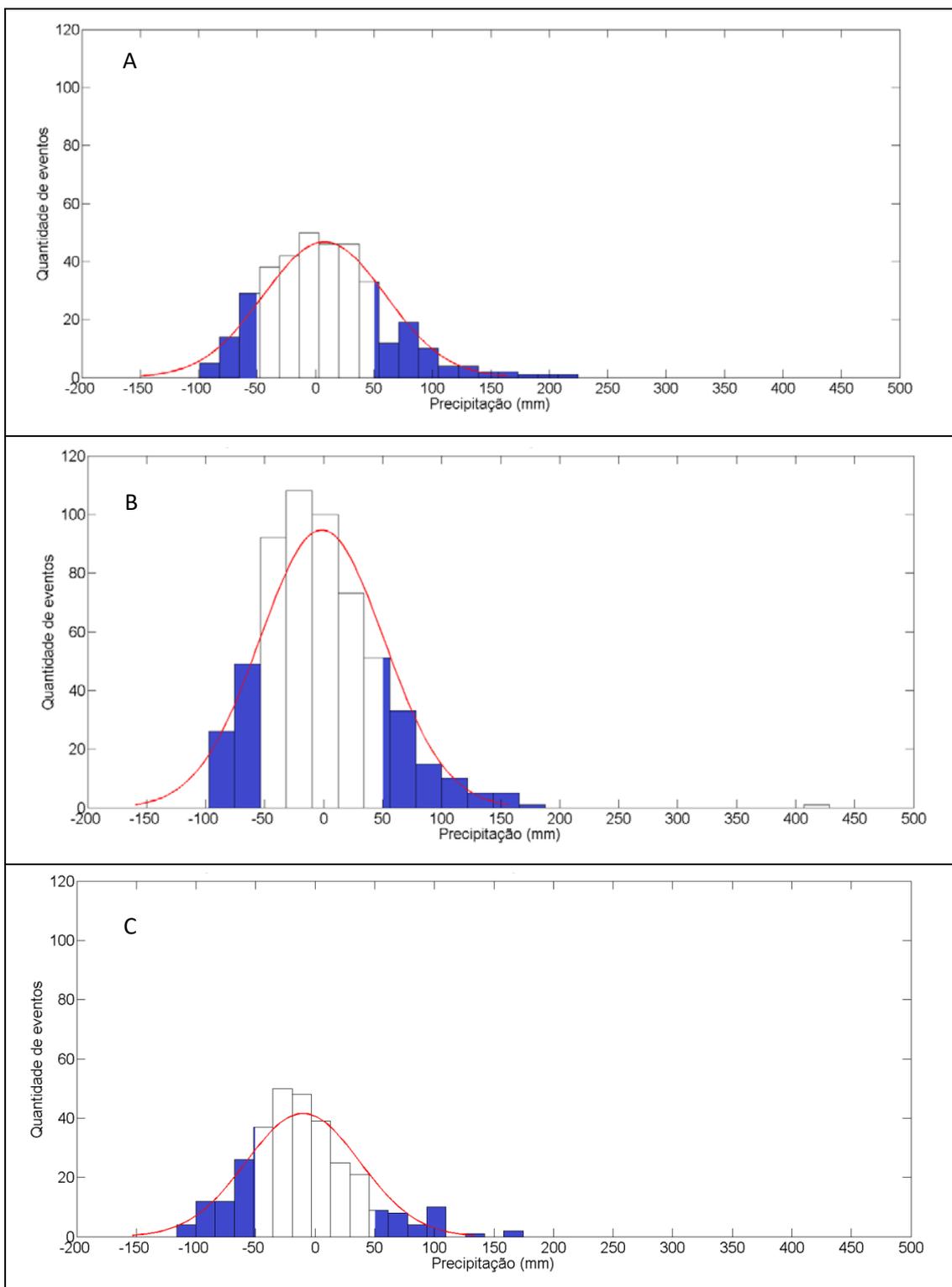


Figura 38 - Distribuição de frequência das anomalias de precipitação mensal da zona Campanha em fases de El Niño (a), Neutra (b) e La Niña (c).

#### 4.2.2.2 – Litoral

Na zona litoral, foram encontradas 274 anomalias de precipitação dentro dos valores analisados. Destes, 138 anomalias eram negativas e 136 positivas como podem ser vistas na tabela 14. Novamente, a fase neutra concentrou o maior número de anomalias mensais de precipitação.

Tabela 14 - Contagem dos eventos anômalos da zona Litoral dividida nas três fases analisadas.

Litoral				
Anomalias	Fases			Total
	El Niño	Neutro	La Niña	
<b>Negativas</b>	<b>21</b>	<b>73</b>	<b>44</b>	<b>138</b>
Em torno da média	278	413	235	926
<b>Positivas</b>	<b>48</b>	<b>60</b>	<b>28</b>	<b>136</b>
Total	347	546	307	1200

A partir da figura 39, percebe-se a mesma distribuição de frequência da zona Litoral. Assim como na zona Campanha, a maior anomalia encontrada também ocorreu em um período neutro (196,94 mm também em abril de 1959). A menor anomalia também foi encontrada em um período neutro (-95,92 mm, em junho de 1979). As análises dos eventos extremos indicam que as médias das anomalias negativas, para as três fases, foi de -65,76 mm para períodos de El Niño, -65,19 mm para períodos neutros e -65,83 mm para períodos de La Niña. Desta maneira, percebe-se uma similaridade entre os valores das anomalias mensais negativas dentro da zona Litoral, diferentemente do que foi visto na zona Campanha. Nas anomalias positivas, as médias foram de 86,49 mm (El Niño); 86,16 mm (neutro) e 75,08 mm (La Niña). Portanto, a média dos eventos extremos em períodos de La Niña apresenta 10 mm a menos que as outras duas fases. Nesta zona, a fase neutra apresentou a maior e a menor anomalia da série. Quanto à distribuição dos eventos extremos, percebe-se que a variabilidade da precipitação anômala não apresenta variação superior a 10 mm entre as fases. Schossler (2016), afirma que o litoral gaúcho apresenta uma diferença de comportamento entre a parte norte a parte sul, sugerindo que estas partes sejam analisadas separadamente. Esta seria uma hipótese para a similaridade das anomalias em ambas as fases.

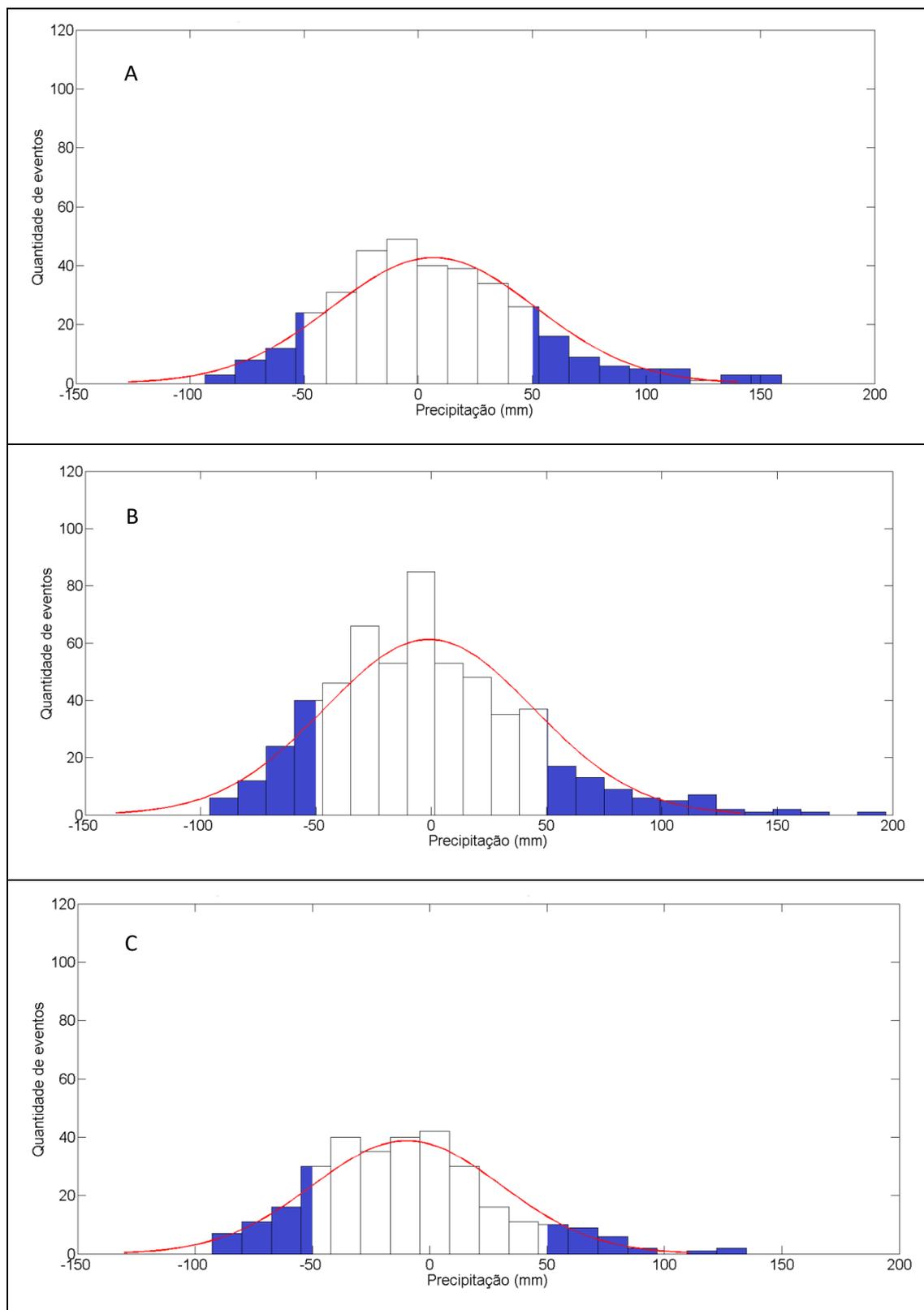


Figura 39 - Distribuição de frequência das anomalias climáticas da zona Litoral em fases de El Niño (a), Neutro (b) e La Niña (c).

#### 4.2.2.3 – Planalto

O planalto, como mostra a tabela 15 apresentou 389 anomalias climáticas dentro das faixas analisadas. Destas, 200 eram negativas e 189 positivas. Ressalta-se que esta foi a região com o maior número de anomalias climáticas extremas na série de reanálise DLW. Quase metade dos eventos negativos ocorreram em período neutro, ao passo que, entre os eventos positivos, há um equilíbrio no de eventos em El Niño e neutro. Esta é a única zona onde os eventos de El Niño superaram os eventos neutros.

Tabela 15 - Contagem dos eventos anômalos da zona Planalto dividida nas três fases analisadas.

Planalto				
Anomalias	Fases			Total
	El Niño	Neutro	La Niña	
<b>Negativas</b>	<b>43</b>	<b>92</b>	<b>65</b>	<b>200</b>
Em torno da média	224	376	211	811
<b>Positivas</b>	<b>80</b>	<b>72</b>	<b>37</b>	<b>189</b>
Total	347	540	313	1200

Como nas duas zonas anteriores, a maior anomalia também ocorreu em um período neutro (267,60 mm também em abril de 1959). Entretanto, salienta-se que a maior anomalia ocorrida em período de El Niño é da mesma magnitude que a do período neutro (264,29 mm em abril de 1941, ano historicamente conhecido pelos eventos extremos de precipitação). Por sua vez, a menor anomalia negativa também ocorreu em um período de La Niña (-138,67 mm, em outubro de 1924, assim como na zona Campanha).

Observando as anomalias climáticas extremas (Figura 40), para El Niño, neutro e La Niña, as médias negativas encontradas foram de -68,89; -73,87 e -74,32 mm, respectivamente. Para os eventos positivos, a média foi de 94,41; 83,24 e 85,46 mm. Portanto, as médias das anomalias climáticas extremas são semelhantes. Como dito anteriormente, os valores e a época que as maiores e menores anomalias ocorreram são similares aos da zona Campanha, indicando uma maior relação entre a precipitação das duas zonas em comparação com a zona Litoral.

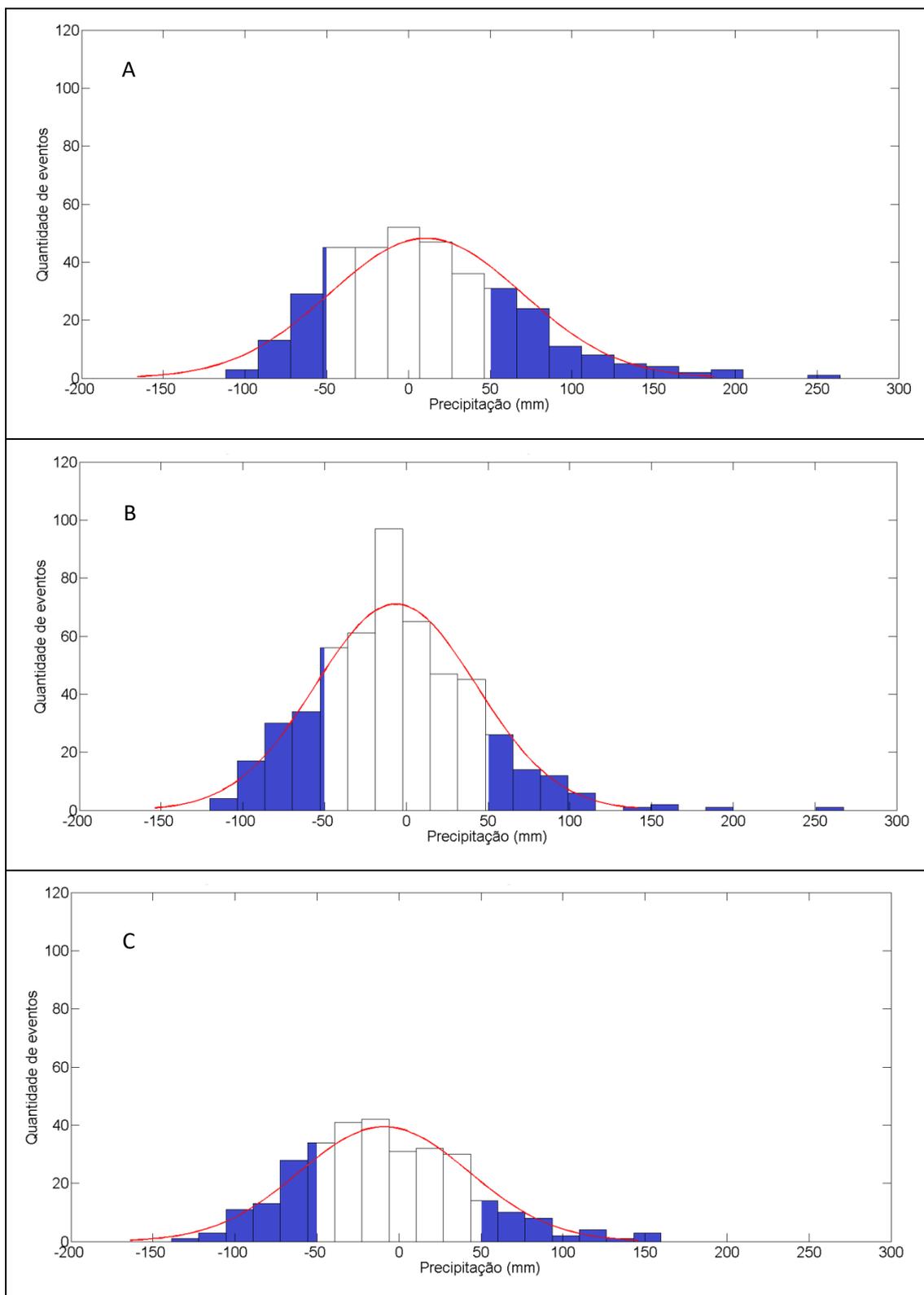


Figura 40 - Distribuição de frequência das anomalias climáticas da zona Planalto em fases de El Niño (a), Neutro (b) e La Niña (c).

### **4.3 – Variabilidade dos Eventos Extremos no RS no século XX**

#### **4.3.1 – Campanha**

A zona Campanha apresentou as maiores anomalias entre as décadas de 1930 e 1960. Como pode se notar, quase todos os registros históricos coincidem com alguma anomalia climática extrema (Figura 41). Para a campanha, encontrou-se 94 registros históricos sobre precipitações extremas no RS, sendo destes 56 para anomalias positivas e 38 para anomalias negativas.

Quanto às estações meteorológicas, os dados foram cortados nos mesmo limiares escolhidos para as reanálises DLW. A zona Campanha registrou 72 eventos positivos, sendo estes 27 ocorridos em períodos de El Niño, 27 em períodos neutros e 18 em períodos de La Niña. Para as anomalias negativas, foram encontrados 91 casos, divididos em 13 episódios em períodos de El Niño, 48 em neutros e 30 em La Niña.

Conforme os dados DLW, é possível observar anomalias positivas e negativas de 100 (-100) mm acima (abaixo) da média. Quando comparadas aos registros históricos, é possível perceber uma concentração de casos no maior pico positivo da década de 1900, localizado em 1906. Este é um indicador de que o El Niño de 1905/06 tenha sido o episódio mais forte da década. Quanto às anomalias negativas, não foi encontrado nenhum dado anterior a 1910.

Há uma concentração de notícias nos episódios de El Niño positivos de 1920, 1926, 1932 e 1941 (caso mais famoso do século no RS). Os casos neutros registram apenas uma concentração de eventos, ocorrendo nas anomalias negativas de 1928. Para os eventos de La Niña, há concentração de dados nos episódios negativos do final da década de 1940 e início da década de 1950.

As séries DLW indicam que as anomalias positivas em períodos neutros na segunda metade do século XX estão no mesmo nível das anomalias encontradas em fases de El Niño. O mesmo ocorre com as anomalias negativas neutras em relação às anomalias negativas de La Niña. Ao que

competem aos dados de estações meteorológicas, há uma forte concentração de anomalias negativas concentradas às anomalias negativas de DLW entre as décadas de 1960 e 1980. Neste período, é possível ver casos em sequência, indicando que (a exceção dos períodos de El Niño com anomalias positivas) esta foi a época com as maiores estiagens no RS durante o século XX.

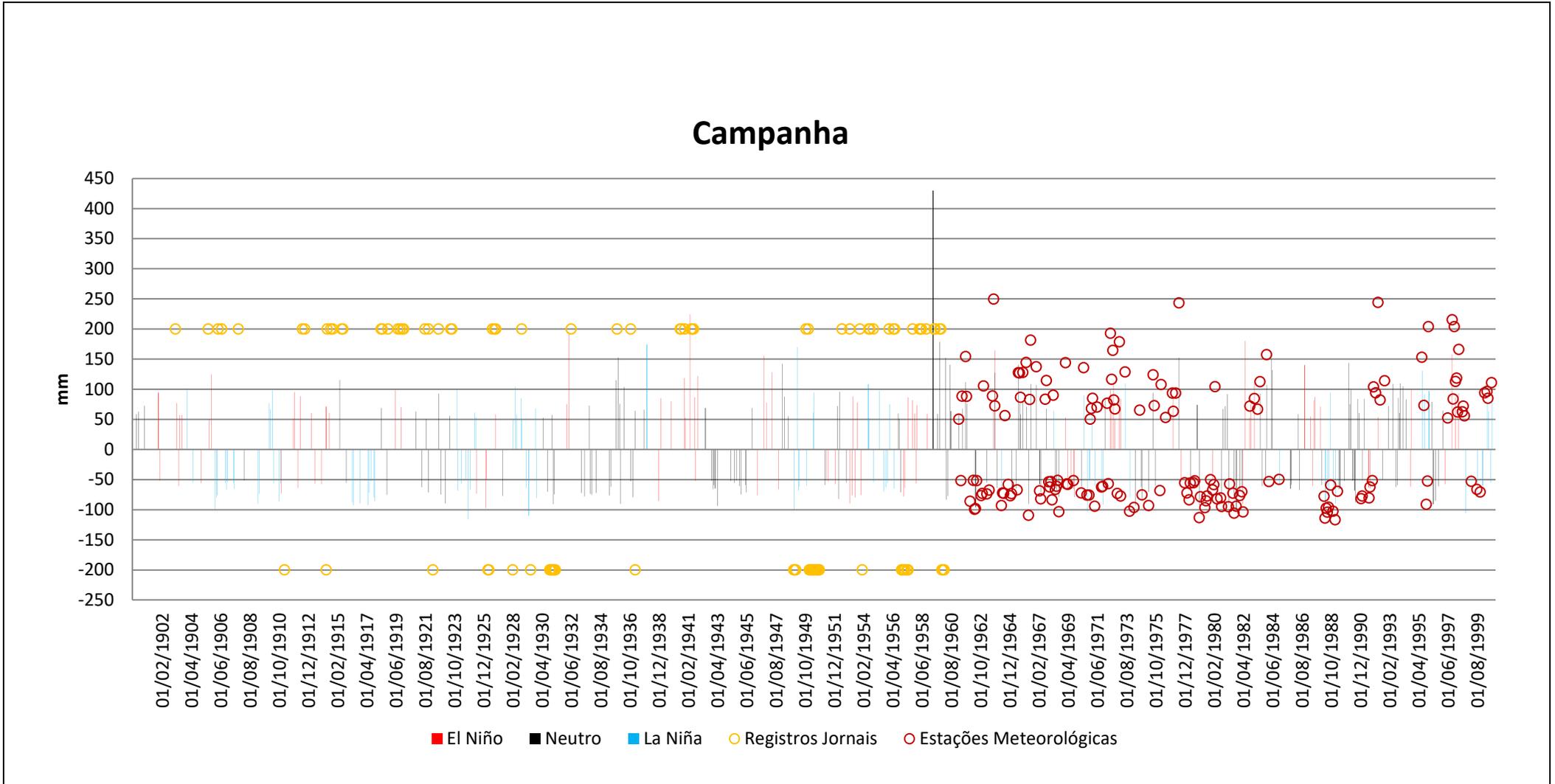


Figura 41 - Série das anomalias de precipitação DLW incluindo os registros históricos e meteorológicos para a zona Campanha (1901 a 2000).

Também é notável a diminuição dos intervalos entre as anomalias, seja de apenas uma fase, ou da sequência completa. Conforme os dados analisados, a partir da década de 1950, as anomalias de precipitação (positivas e negativas) não só são maiores, como mais frequentes.

#### **4.3.2 - Litoral**

A segunda zona possui a maior quantidade de registros históricos positivos dentre as três zonas (82 casos). Por sua vez, os registros negativos contabilizam 49 casos. Em relação às estações meteorológicas, esta é a zona com a menor quantidade de anomalias, negativas e positivas, contabilizando 67 meses anômalos positivos e 62 negativos.

Dentre os casos positivos, 23 aparecem em fases de El Niño, 29 para períodos neutros e 15 para La Niña. Nas anomalias negativas, 7 casos são em momentos de El Niño, 40 em fases neutras e 15 em La Niña. Novamente, a fase neutra apresenta a maior quantidade de eventos extremos registrados pelas estações meteorológicas.

Ao comparar a série histórico-meteorológica com a série DLW (Figura 42), nota-se uma grande quantidade de registros no primeiro episódio positivo de El Niño do século (1902-1903). Entretanto, a primeira década contém um número maior de eventos extremos negativos do que positivos na série DLW. A primeira grande concentração de registros históricos com anomalias climáticas da reanálise ocorre nos primeiros cinco anos da década de 1910, onde os episódios positivos de El Niño geram anomalias mensais de até 140 mm acima da média. Portanto, é perceptível que os episódios de El Niño de 1911/12 e 1912/13 tiveram maior influência nas precipitações do litoral do que na zona Campanha.

Na década de 1920, percebe-se o quarto maior mês anômalo (152 mm) em agosto de 1922 e muitas notícias sobre o ponto, também coincidindo registros. Segundo as notícias da época, houve inundações na capital e na região de Pelotas e Rio Grande.

A seguir, há uma seca presente tanto nos registros históricos quanto nas anomalias DLW em um evento neutro entre novembro de 1930 e março de 1931. Da mesma forma, há a mesma concentração nos eventos positivos do El

Niño de 1932 e nas anomalias neutras de 1935/36. Para o El Niño de 1939/41, percebem-se uma sequência de anomalias superiores a 100 mm da média mensal. Contudo, a figura 32 indica as anomalias registradas para abril e maio de 1941, época do mais famoso evento do século. É provável que o fato da série DLW expressar uma média de toda a zona tenha diminuído o valor dos eventos, visto que as chuvas não ocorreram em todas as partes do Estado.

Pode se perceber uma concentração de registros na década de 1940, apesar de não termos muitas anomalias negativas na série DLW nesta época. Da mesma forma, a década de 1950 também possui a mesma concentração. O período entre 1949 e 1951 concentra a maior quantidade de registros encontrados para esta série. No maior episódio da série (abril de 1959) é possível notar mais de 5 registros na mesma época.

Para a segunda metade do século XX na zona Litoral, nota-se a mesma intensificação das anomalias em intensidade e frequência, como na Campanha. Na comparação das estações meteorológicas, o mesmo padrão da zona campanha também é encontrado: uma grande concentração de casos em torno das anomalias negativas de DLW entre as décadas de 1960 e 1980. Percebe-se que os El Niños das décadas de 1960 e 1970 registraram uma sequência de anomalias positivas e negativas incomum para a intensidade do evento, conforme a tabela 2. Da mesma forma, há uma sequência de meses anômalos positivos em 1983 após o famoso episódio de El Niño de 1982/83, que provavelmente ainda é uma resposta da atmosfera às condições do evento que acabou meses antes do pico.

Na última década do século, há uma grande quantidade de anomalias positivas superiores a 100 mm nas três fases. O El Niño de 1997/98 destaca-se com a segunda maior sequência de anomalias positivas em meses de El Niño, com quase todos os meses superando os 100 mm. Da mesma forma, há muitas anomalias positivas em meses de La Niña, algo que não é descrito como o comportamento normal para nesta fase nos trabalhos de Berlato e Fontana (2003) e Ávila (1994).

A zona Litoral apresentou as menores anomalias dentre as três zonas. Juntamente a isto, é a série onde as anomalias positivas em meses neutros foram mais altas, indicando que o ENOS possui menor influência sobre esta região. Schossler (2016) aponta que a chuva no litoral norte gaúcho é

proveniente do efeito orográfico em razão da topografia do local. Já o litoral sul apresenta um padrão mais próximo ao da zona Campanha e o Uruguai. Estas explicações indicam que um subzoneamento climático da zona Litoral pode ser uma alternativa à diferença de precipitação entre o setor sul e o setor norte.

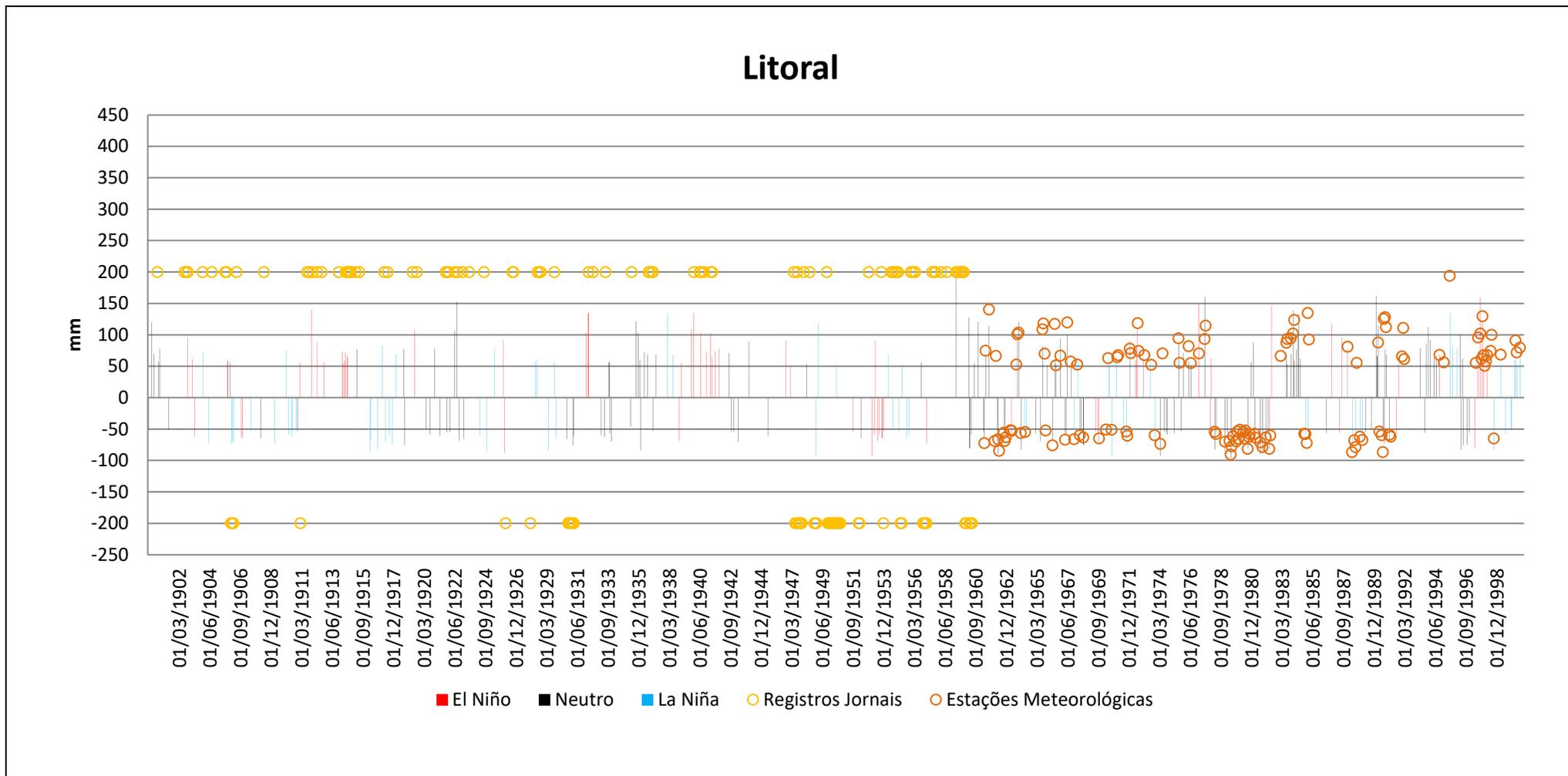


Figura 42 - Série das anomalias de precipitação DLW incluindo os registros históricos e meteorológicos para a zona Litoral (1901 a 2000).

### **4.3.3 – Planalto**

A série de registros da zona Planalto (Figura 43) apresentou 146 casos, sendo estes 62 positivos e 84 negativos. Por sua vez, os dados meteorológicos apresentaram 86 anomalias positivas, sendo estas 33 ocorridas em El Niño, 33 em neutros e 20 em La Niña. As anomalias negativas contabilizam 90 casos: 18 em El Niños, 48 em períodos neutros e 24 em La Niña.

Para as anomalias negativas, as mais intensas ocorreram em fases de La Niña. Entretanto, os meses mais negativos da série estão nos primeiros 25 anos do século XX, onde há poucos registros sobre o assunto. A maior quantidade de registros de anomalias negativas ocorre justamente em secas de períodos neutros. A La Niña de 1916-18 está demarcada com anomalias consecutivas de quase -100 mm.

A comparação dos registros históricos com a série DLW mostra as mesmas combinações da zona Campanha do início do século até o final da década de 1930. Entretanto, claramente se nota uma maior quantidade de registros entre o período 1940-60, onde quase todas as anomalias, positivas e negativas, coincidem com algum registro. É importante frisar que este período também aponta as duas maiores anomalias mensais de precipitação, sendo estas 264 mm acima da média em abril de 1941 (El Niño) e 267 mm em abril de 1959 (neutro). Além destas duas anomalias, há 35 casos que superam os 100 mm anômalos mensais. Metade destes casos ocorreram em fases de El Niño, a outra parte, a exceção de três casos em períodos de La Niña, corresponde eventos em período neutro, podendo ter origem tanto pela ciclogênese, CCM's ou outro módulo de variabilidade que tenha influenciado.

A série da zona Planalto também demonstra a maior diferença entre os dados das estações meteorológicas com as séries DLW. Apesar das anomalias negativas estarem muito próximas aos valores encontrados nas estações, percebe-se que as anomalias positivas estão até 150 mm abaixo do valor registrado pelas estações. Contudo, vale ressaltar que esta é a maior zona climática do Estado e sua amplitude topográfica é de 1200 m de altitude. Portanto, uma série que expresse as anomalias de toda a zona acabará amenizando os valores anômalos.

Os episódios de 1982/83 e 1997/98 apresentam sequências de meses anômalos superiores a 100 mm de até cinco casos consecutivos. Ressalta-se que não há anomalias de fase neutra na série DLW após 1982, demonstrando que, nos últimos 18 anos da série, todos os eventos extremos da reanálise aconteceram em El Niños ou La Niñas.

Apesar de o maior evento ocorrer em uma fase neutra (abril de 1959), é notável que a região seja sensível às influências do ENOS, visto que em todos os casos de ambas as fases as anomalias positivas e negativas são maiores. Relaciona-se isto ao fato desta ser a região que mais chove no RS e também a que possui a maior área de cultivo (BERLATO e FONTANA, 2003). Portanto, o fato de termos uma maior influência das fases do ENOS tem um impacto direto na produção agrícola anual, podendo gerar déficits ou superávits conforme o tipo de cultivo.

Assim como nas duas zonas anteriores, há o mesmo padrão de intensificação das anomalias, positivas e negativas, e a diminuição do tempo de recorrência das mesmas. Contudo, a diferença do Planalto para as demais zonas é o fato desta intensificação ocorrer a partir da década de 1940 e não a partir de 1960, como nos casos anteriores. Isto quer dizer que o Planalto é suscetível aos efeitos, tanto do ENOS quanto dos mecanismos atmosféricos, que já existem e são intensificados em fases de ENOS, geram eventos extremos há mais tempo.

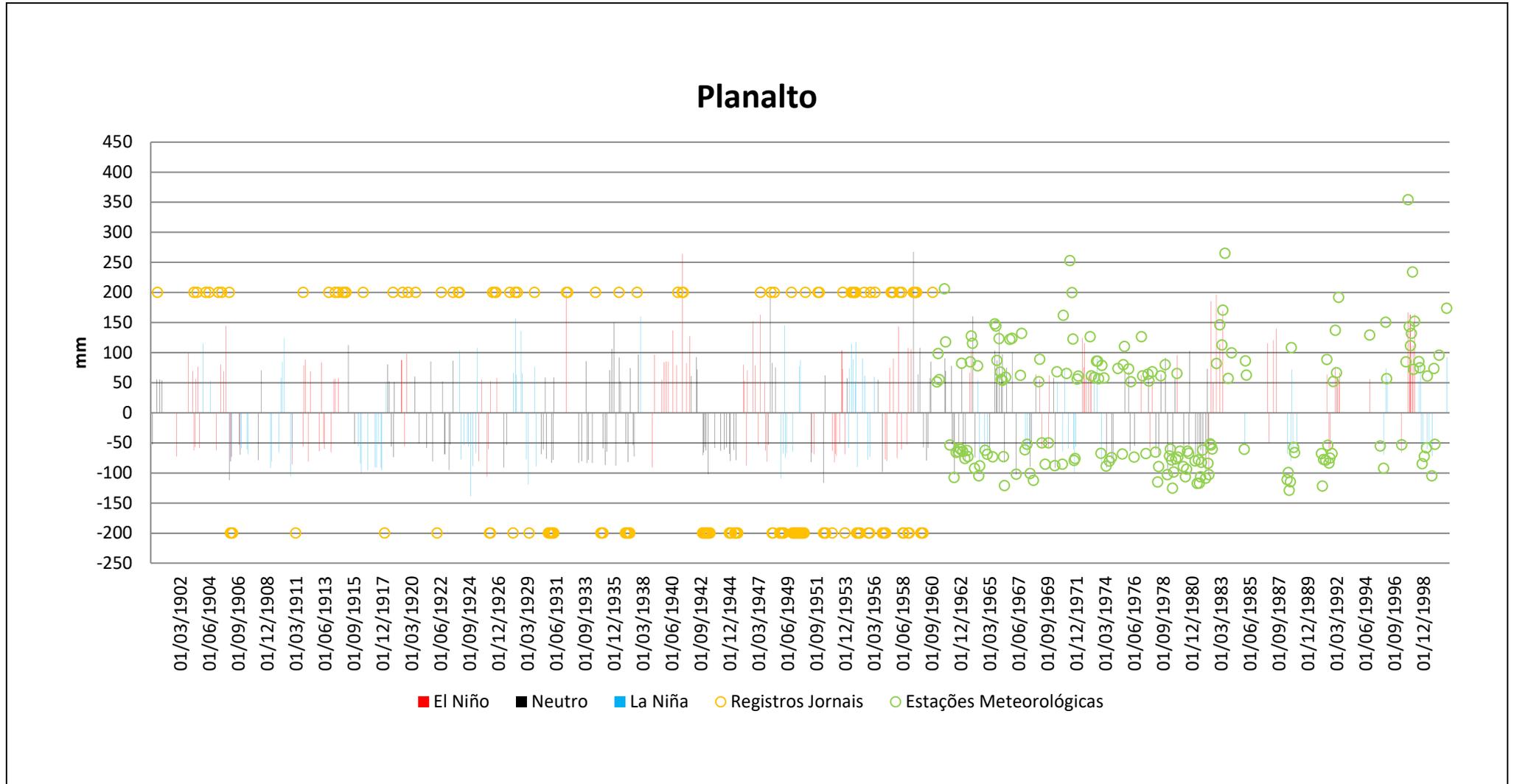


Figura 43 - Série das anomalias de precipitação DLW incluindo os registros históricos e meteorológicos para a zona Planalto (1901 a 2000).

#### **4.4 – Classificação dos eventos ENOS no RS no Século XX**

A partir das séries temporais do item 4.3, optou-se por classificar os episódios do ENOS no século XX, no RS. A tabela 2 indica a intensidade de um evento de El Niño e La Niña conforme sua formação no Oceano Pacífico. Portanto, a tabela 16 apresentará uma classificação dos mesmos eventos contendo a classificação de Kousky e Bell (2000) e uma classificação do impacto do ENOS na precipitação do RS nos mesmos padrões do estudo citado.

A classificação leva em conta os resultados encontrados para as três zonas: Campanha, Litoral e Planalto. De modo que cada fase é analisada nas três séries temporais e, após observação, é classificada como fraca, moderada ou forte.

Dos 42 episódios do ENOS ocorridos no Pacífico, 20 coincidem com a classificação de Kousky e Bell (2000), sendo estes 11 para El Niños e 9 para La Niñas para o RS. Isto indica que a intensidade de formação do evento no Oceano Pacífico (Niño 3.4) não necessariamente determina a intensidade da influência que este gera nas anomalias de precipitação do RS. Outro fator importante também é que as ocorrências de La Niña mudam sua intensidade mais do que as de El Niño, indicando alguma relação com outro componente atmosférico que pode estar contribuindo para esta mudança de intensidade, que na maior parte dos casos é alterada positivamente.

Outro fator que chama a atenção é a mudança nas intensidades das anomalias de precipitação a partir da segunda metade do século XX. Perceptivelmente houve uma alteração nos padrões atmosféricos que fez com que os episódios se tornassem mais intensos no RS. Os maiores casos do século XX (NOAA, 2017) mantiveram as mesmas intensidades. Apenas dois eventos classificados como forte não tiveram impacto forte no RS, na segunda metade do intervalo estudado.

Tabela 16 - Classificação do ENOS no Oceano Pacífico (Niño 3.4) adotada para comparar a intensidade dos eventos no RS (El Niño/La Niña).

Ano	Episódio	Intensidade	Intensidade no RS
1902-1903	El Niño	Fraco	Fraco
1903-1904	La Niña	Forte	Fraco
1905-1906	El Niño	Forte	Forte
1906-1908	La Niña	Forte	Forte
1909-1910	La Niña	Forte	Forte
1911-1912	El Niño	Forte	Forte
1912-1913	El Niño	Moderado	Moderado
1916-1918	La Niña	Forte	Forte
1918-1919	El Niño	Forte	Fraco
1923	El Niño	Moderado	Fraco
1924-1925	La Niña	Moderado	Forte
1925-1926	El Niño	Forte	Forte
1928-1929	La Niña	Fraco	Forte
1932	El Niño	Moderado	Forte
1938-1939	La Niña	Forte	Fraco
1939-1941	El Niño	Forte	Forte
1946-1947	El Niño	Moderado	Forte
1949-1951	La Niña	Forte	Fraco
1951	El Niño	Fraco	Fraco
1953	El Niño	Fraco	Moderado
1954-1956	La Niña	Forte	Forte
1957-1959	El Niño	Forte	Moderado
1963	El Niño	Fraco	Fraco
1964-1965	La Niña	Moderado	Forte
1965-1966	El Niño	Moderado	Moderado
1968-1970	El Niño	Moderado	Forte
1970-1971	La Niña	Moderado	Forte
1972-1973	El Niño	Forte	Forte
1973-1976	La Niña	Forte	Moderado
1976-1977	El Niño	Fraco	Moderado
1977-1978	El Niño	Fraco	Moderado
1979-1980	El Niño	Fraco	Fraco
1982-1983	El Niño	Forte	Forte
1983-1984	La Niña	Fraco	Forte
1984-1985	La Niña	Fraco	Forte
1986-1988	El Niño	Moderado	Forte
1988-1989	La Niña	Forte	Forte
1990-1993	El Niño	Forte	Moderado
1994-1995	El Niño	Moderado	Moderado
1995-1996	La Niña	Fraco	Forte
1997-1998	El Niño	Forte	Forte
1998-2000	La Niña	Forte	Forte

Fonte: Adaptado de Kousky e Bell (2000).

## **5 – CONCLUSÕES**

A série de variabilidade com registros históricos e de estações meteorológicas com as reanálises de DLW permitiu identificar as anomalias na precipitação no século XX para o RS, bem como se evidenciou que o ENOS não é sempre o principal fator de influência nessas anomalias.

Abril de 1959 teve a maior anomalia em todo o RS no século XX (200 mm, no mínimo entre as três zonas). Apesar de estar em um mês neutro, indica que o anterior (março de 1959) foi o último mês de um El Niño forte na região do Niño 3.4. Portanto, o maior pico de precipitação no RS pode ser um efeito estacionário das condições atmosféricas do El Niño recém finalizado. A mais negativa anomalia do século ocorreu em um período de La Niña, outubro de 1924 (-85 mm, no mínimo entre as três zonas), atuando conforme o indicado pela literatura para o RS.

As séries temporais das anomalias de precipitação não se adequaram perfeitamente ao zoneamento (três regiões) proposto por Viana (2009) para o RS. Provavelmente, o principal indicador seja que o autor analisou a Região Sul inteira enquanto esse trabalho utilizou um recorte espacial para o RS. Onde, o zoneamento do litoral gaúcho em uma única zona, apresenta dois padrões de comportamento da precipitação, um no litoral norte e outro no sul. O outro ponto deve ser a amplitude da altitude da zona Planalto (oeste-leste) onde se tem 200 m no ponto mais baixo e 1400 m no ponto mais alto.

A zona Campanha apresentou, na primeira metade do século, equivalência nas anomalias de precipitação em El Niño e La Niña (100 mm). Na segunda metade do século, houve uma intensificação das anomalias de precipitação nos períodos neutros (150 mm) e uma diminuição, tanto positiva quanto negativa, em eventos La Niña.

A zona Litoral teve melhor distribuição da precipitação nas três fases (El Niño, neutra e La Niña), possivelmente porque esta zona possui menor influência aparente do ENOS (pois o ciclo das anomalias não corresponde a eventos de El Niño e La Niña). Uma alternativa para a identificação da influência do El Niño/La Niña no litoral seria subdividir essa zona em dois

setores, visto a sua distribuição latitudinal referente à escarpa do planalto no litoral norte.

A zona Planalto apresentou um padrão similar ao da zona Campanha, porém maior (entre 100 e 200 mm). Esta zona se mostrou mais suscetível à influência da variabilidade do ENOS, não só pelo aumento dos valores das anomalias, mas também a diminuição do tempo de retorno destas. Esse retorno passou a ocorrer vinte anos antes das duas outras zonas (a partir de 1940).

Com a elaboração da classificação dos eventos ENOS para o RS, observou-se que os primeiros 50 anos do século XX apresentam intensificações equivalentes tanto na região do Niño 3.4 quanto no RS. Na segunda metade do século, os eventos considerados moderados no Oceano Pacífico foram classificados como fortes no RS, ou seja, houve um aumento (diminuição) médio de 50 (-25) mm das anomalias de precipitação positivas (negativas).

Como sugestão futura, pretende-se investigar variáveis não incluídas neste trabalho (temperatura e pressão, por exemplo). Outros módulos de variabilidade, como a inserção do ENOS podem ser elucidativas, tendo conhecimento da modulação do segundo sobre o primeiro. Outra possibilidade é a ampliação da área de estudo, aplicando a mesma metodologia, para os Estados da Região Sul do Brasil.

## 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**A Época: jornal da mocidade em prol das aspirações coletivas.** Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/docreader.aspx?bib=097209&pasta=ano%20195&pesq=>>. Data de acesso: 30/07/2017, 14:15.

**A Federação.** Disponível em: <https://caminhosdosmuseus.wordpress.com/2013/09/16/jornal-a-federacao-1884-1937-digitalizado/> >. Data de acesso: 18/06/2016, 18:32.

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.

AVILA, A.M.H, 1994. **Regime de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul com base em séries de longo prazo.** Porto Alegre. Dissertação de Mestrado no Curso de Pós Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 75 pp.

BARRY, R.; CHORLEY, R. 2013. **Atmosfera, Tempo e Clima.** 9ª ed. Bookman: Porto Alegre, 512 pp.

BERGAMASCHI, H. 1989. Variations of the Brazilian soybean production related to the drought occurrences – Preliminary analysis. In: **World Soybean Research Conference, 4. 1989, Buenos Aires. Actas Proceedings.** Buenos Aires: Orientación Grafica Editora. p. 2153 - 2158.

BERLATO, M.A, 1992. As condições de precipitação pluvial no Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia Aplicada à Irrigação.** 2.ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS.p.11 - 23.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C, 2003. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura.** Porto Alegre: Ed. da UFRGS. 110 p.

BJERKNES, J. 1969. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. **Monthly Weather Review**, v. 97, n. 3, p. 163 – 172.

BURROUGHS, W. J. 2007. *Climate Change: A Multidisciplinary Approach.* **Cambridge University Press:** Cambridge, 2ªed. UK. 378 pp.

CAMPOS, C.R.J.; LIMA, E.C.S.; PINTO, L.B. 2008. Complexo Convectivo de Mesoescala observado em 27/11/2002 no Nordeste da Argentina. **Anuário do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro.** 2008. Disponível em: [http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario\\_2008\\_2/2008\\_2\\_23\\_32.pdf](http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario_2008_2/2008_2_23_32.pdf).

**Comitê de Bacias Hidrográficas.** Disponível em: <<http://www.cbh.gov.br/DataGrid/GridRioGrande.aspx>>. Data de acesso: 20/03/2017, 15:13.

DETTINGER, M.D.; BATTISTI, D.S.; GARREAUD, R.D.; MCCABE, JR, G.J.; BITZ, C.M. Interhemispheric Effects of Interannual and Decadal ENSO-like Climate Variations on the Americas. In: Markgraf, V. **Interhemispheric Climate Linkages**. San Diego, Academic Press. p 1–16.

**Diário de Notícias.** Disponível em <[http://memoria.bn.br/DocReader/docreader.aspx?bib=093726\\_03&pasta=ano%20195&pesq](http://memoria.bn.br/DocReader/docreader.aspx?bib=093726_03&pasta=ano%20195&pesq)>. Data de acesso: 22/09/2016, 14:18.

DUHAMEL, P.; VETTERLI, M. 1990. Fast Fourier Transforms: A tutorial review and a state of the art. **Signal Processing**, v. 19, n. 4, p. 259–299.

DURKEE, J. D. e MOTE, T. L. 2009. A climatology of warm-season mesoscale convective complexes in subtropical South America. **International Journal of Climatology**, 30. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.1893/pdf>>. Data de acesso em: 07 março 2017.

FONTANA, D.C. e BERLATO, M.A. 1997. Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 2003, v.5, n.1, p.127-132.

GALARÇA, P.J.P. 2003. **O Clima do Rio Grande do Sul ao longo do século XIX**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre,.

GALARÇA, P.J.P; SIMÕES, J.C. 2015. Nota sobre o serviço meteorológico no Rio Grande do Sul ao longo do século XIX (nota de pesquisa). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 16, 1, p 159-168.

GRIMM, A. M.; BARROS, V.; DOYLE, M. E. 2000. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v.13, p. 35–58.

GRIMM, A. 2009. Clima da região sul do Brasil. In: CAVALCANTI I.F.A., FERREIRA, N.J., SILVA, M.G.A.J., DIAS, M.A.F. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, p.259 – 275.

IBGE. **A população do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/panorama>> . Data de acesso: 03/02/2018, 16:46.

JARDIM, M. L. T. 2002 Evolução da população do Rio Grande do Sul. In: ACCURSO, J. (Coord.). **O Rio Grande do Sul e sua População**. Porto Alegre: FEE, p. 57-88. (Documentos FEE, n. 51).

**Jornal do Dia.** Disponível em <<http://memoria.bn.br/DocReader/docreader.aspx?bib=098230&pasta=ano%20195&pesq=>>. Data de acesso: 05/09/2016, 21:30.

KOUSKY, V.E. e BELL, G.D. 2000. Causes, predictions and outcome of El Niño 1997-1998. In: Changnon, S.A. (ed). **El Niño 1997-1998**, New York: Oxford University, p. 28–48.

MARENGO, J.A. *et al.* 2007. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade. **Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. 1ª ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. v. 1., p. 185.

MARENGO, J.A. 2010. **Mudanças Climáticas e Eventos Extremos no Brasil**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS. Disponível em: <<http://www.fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-504.pdf>>. Acesso em: 07 mar. 2017.

MATSUURA, K.; WILLMOTT C.J.; ROBESON, S.M. 2009. Ambiguities inherent in sums-of-squares-based error statistics. **Atmospheric Environment**, 43, 479–752. 2009.

MATSUURA, K; WILLMOTT, C.J. 2012. **Terrestrial precipitation:1900-2010 gridded monthly time series**. Departamento de Geografia, Universidade de Delaware. Disponível em: <[http://climate.geog.udel.edu/~climate/html\\_pages/Global2011/README.GlobalTsP2011.html](http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/Global2011/README.GlobalTsP2011.html)>. Data de acesso: 06/09/2017, 13:34.

MORAES, F.D.S. 2014. **Precipitação e desastres associados ao Complexo Convectivo de Mesoescala que atingiu o Rio Grande do Sul em 22 e 23 de abril de 2011**. Trabalho de conclusão de curso, Bacharelado em Geografia Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 85 pp.

MUDELSEE, M. 2010. **Climate Time series Analysis**. 1ª ed. Springer: Bremerhaven, 174 pp.

NOAA. **Historical El Niño/La Niña episodes**. Disponível em <[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyear\\_s.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyear_s.shtml)>. Data de acesso: 09/02/2017, 16:12.

**O Momento.** Disponível em: <<http://memoria.bn.br/DocReader/docreader.aspx?bib=104523&pasta=ano%20195&pesq=>>. Data de aceso: 15/06/2017, 16:25.

OLIVEIRA, G.S. 1999. **O El Niño e Você: o Fenômeno Climático**. São José dos Campos: Transect Editorial, 116 pp.

QUINN, W.H.; NEAL, V.T. 1992. The historical record of El Niño events. In Bradley, R.S. Jones, P.D. eds. **Climate Since A.D. 1500**. London. Routledge, pp. 623-648.

REBOITA, M.S.;GAN, M.A.;ROCHA, R.P.; AMBRIZZI, T. 2010.Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185–204.

RIO GRANDE DO SUL. 2016. **Medidas para enfrentar a calamidade financeira do RS**. Disponível em <<http://www.rs.gov.br/conteudo/250269/medidas-modernizam-estado-para-enfrentar-calamidade-das-financas-publicas>>. Data de acesso: 01/02/2018, 15:13.

ROPELWESKI, C. F., P. D. JONES, 1987: An extension of the Tahiti–Darwin Southern Oscillation Index. *Monthly Weather Review.*, 115, 2161–2165.

SECRETARIA DA AGRICULTURA DO RIO GRANDE DO SUL. **Carta de Relevo e Sistema Rodoviário do Estado do Rio Grande do Sul, E=1:900.000**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura/RS, 1994.

SCHOSSLER, V. 2016. **Influência das mudanças climáticas em geoindicadores na costa sul do Brasil**. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 170 pp.

SPGG. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <<http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/inicial>> Data de acesso: 19/11/2017.

TOMAZELLI, L. J. VILLWOCK, J. A. 1995. **A geologia do sistema lagunar holocênico do litoral norte do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica da UFRGS, Pesquisas, V 18.

TRENBERTH, K.E. 1997, nº 13, p. 13-24 The definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.78, n.12, p. 2771-2777.

TRENBERTH, K.E.; DAI, A.; SCHRIER, G.; JONES, P.D.;BARICHIVICH, J.; BRIFFA, K.R.; SHEFFIELD, J. 2014. Global warming and changes in drought. **Nature Climate Change**. V. 4. p. 17-22.

VALENTE, P.T. 2015. **Identificação das Áreas mais Sujeitas a Eventos Extremos de Temperatura e Precipitação no Sudeste da América do Sul**. Trabalho de conclusão de curso, Bacharelado em Geografia Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 55 pp.

VELASCO, I.; FRITSH, J. M. 1987. Mesoscale Convective Complexes in the Americas. **Journal of Geophysical Research**, Vol. 92 (D8), p. 9591-9613.

VIANA, D.R. 2009. **Comportamento Espaço-Temporal da Precipitação na Região Sul do Brasil Utilizando Dados TRMM e SRTM**. São José dos Campos. Dissertação de Mestrado no Curso de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 164 pp.

VIEIRA, E. F. 1984. **Rio Grande do Sul: Geografia Física e Vegetação**. Porto Alegre: Sagra

WALKER, G. T. 1923. Correlation in seasonal variations of weather, VIII: A preliminary study of world weather. **Memoirs of the Indian Meteorological Department**, Calcuta, v. 24(4), p. 175–131.

ZIPSER, E. J., D. J. CECIL, C. T. LIU, S. W. NESBITT,; YORTI, D. P. (2006), Where are the most intense thunderstorms on Earth? **Bulletin of the American Society.**, 87(8), 1057–1071.