

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

MAYTHE FERNANDA ERNST

**ANOMALIAS DE TEMPERATURA NO SUL DO BRASIL NOS 4 ANOS
MAIS QUENTES DOS ÚLTIMOS 100 ANOS**

Porto Alegre

2019

Maythe Fernanda Ernst

**ANOMALIAS DE TEMPERATURA NO SUL DO BRASIL NOS 4 ANOS
MAIS QUENTES DOS ÚLTIMOS 100 ANOS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para a obtenção do
grau de Bacharel em Geografia.

Orientador: Dr. Francisco Eliseu Aquino

Porto Alegre

2019

CIP - Catalogação na Publicação

Ernst, Maythe Fernanda
ANOMALIAS DE TEMPERATURA NO SUL DO BRASIL NOS 4
ANOS MAIS QUENTES DOS ÚLTIMOS 100 ANOS / Maythe
Fernanda Ernst. -- 2019.
68 f.
Orientador: Francisco Eliseu Aquino.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Bacharelado em Geografia, Porto
Alegre, BR-RS, 2019.

1. Climatologia. 2. Variabilidade. 3. Mudanças
Climáticas. 4. conexões trópico-Antártica. I. Aquino,
Francisco Eliseu, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Francisco Eliseu Aquino, pela orientação e pelo incentivo em seguir nesta área do conhecimento. Obrigada por me aceitar como orientanda e por estar sempre disponível quando precisei de apoio. Sou muito grata por me mostrar ao longo destes dois anos como a climatologia é fantástica.

Agradeço a todos os colegas do Notos – Laboratório de Climatologia, em especial ao Dr. Denilson Ribeiro Viana, obrigada por todas as vezes que me ajudou, por sempre estar presente e me auxiliar na pesquisa e no TCC, agradeço também por todas as palavras de apoio que me ofereceu nos últimos anos, por todos os conselhos que eu sempre segui.

À minha família, em especial a minha mãe, que sempre esteve presente, me dando suporte e conselhos na vida, também me dando apoio e tendo compreensão em todos os momentos estressantes e difíceis que passei durante a minha formação.

Ao Cauê Petry da Silva Steques por todo o amor e incentivo que recebi nesses anos, por todas as correções e apoio que me ofereceu ao longo da graduação e do trabalho de conclusão.

A Dayara Boiani, Sayonara Rodrigues e Jorge Kalicheski, muito obrigada por todos os cafés, almoços, risadas e fofocas durante a graduação, a geografia não seria a mesma coisa sem vocês.

Agradeço ao seu Sérgio por todas as dicas e incentivo nesta área, obrigada por todo o apoio que me deu e pela correção dos trabalhos da graduação.

Um agradecimento especial a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pelo ensino público e gratuito de qualidade que nos proporciona.

RESUMO

Os anos de 2015 a 2018 foram descritos pela National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) como os anos mais quentes desde as medições modernas, sendo o ano de 2016 o mais quente já registrado. Este estudo analisa a ocorrência de anomalias de temperatura na Região Sul do Brasil (RSB) entre os anos de 2015 e 2018. Utilizou-se dados de temperatura mínima, média e máxima, para a região em estudo, disponibilizados pelo banco de dados do Climatic Research Unit (CRU) em grade de $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ latitude/longitude. O recorte geográfico para a RSB possui 249 pontos de grade que compõe a toda região. Os dados foram manipulados no software Excel Microsoft Office, onde também foram realizados os cálculos anomalias em $^{\circ}\text{C}$. A série temporal (1901-2018) de anomalias de temperatura média anual (TMA) da RSB, apresentou tendência de $0,0125^{\circ}\text{C a-1}$, perfazendo um aumento de $1,47^{\circ}\text{C}$. Na climatologia (1981 – 2010) obteve-se $19,6^{\circ}\text{C}$ para a TMA, $24,7^{\circ}\text{C}$ para temperatura máxima anual e $14,5^{\circ}\text{C}$ para temperatura mínima anual. Identificou-se que o ano de 2016 não é o ano mais quente na RSB, mas sim o mais frio do período (2015 – 2018) e é o 33° ano mais quente da série (1981 – 2018). A anomalia de temperatura média (Tmed) anual em 2016 é de $-0,1^{\circ}\text{C}$, já que seis meses apresentaram anomalias negativas. Anomalias positivas de TMA foram observadas em 2017 ($0,8^{\circ}\text{C}$), 2015 ($0,7^{\circ}\text{C}$) e 2018 ($0,4^{\circ}\text{C}$). Analisando as anomalias de TMA da RSB no período (2015 – 2018), os anos mais quentes foram 2017 (1°), 2015 (2°), 2018 (3°) e 2016 (4°).

Palavras-chave: Climatologia, Mudanças Climáticas, Variabilidade, conexões trópico-Antártica

ABSTRACT

National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA) described 2015 to 2018 as the hottest years since modern measurement, and the year of 2016 as the hottest ever registered. This study investigates anomalous temperature occurrences in South Brazil (RSB) between 2015 and 2018. Minimum, medium and maximum temperatures data for this region was provided by Climatic Research Unit (CRU) datasets in grids of 0,5°x0,5 latitude/longitude. Geographic snippet for SBR has 249 gridded points which compose this region. Data were manipulated in Excel Microsoft Office, where temperature anomaly calculations were made in °C. Anomaly time series (1901-2018) of annual mean temperature (AMT) in SBR, presented a tendency of 0,0125°C a-1, reaching a raise of 1,47°C. In climatology (1981 -2010) we had 19,6°C for AMT, 24,7°C for maximum annual temperature and 14,5°C for annual minimum temperature. We identified that 2016 wasn't the hottest year in SBR, but the the coldest within the period (2015 -2018) and the 33° hottest year in the series (1981-2018). The annual mean anomalous temperature (MAT) in 2016 is -0,1°C, since six months presented negative anomalies. MAT Positive annual anomalies were observed in 2017 (0,8°C), 2015 (0,7°C) and 2018 (0,4°C). Analyzing MAT anomalies of SBR in (2015 – 2018) period, warmer years were 2017 (1st), 2015 (2nd), 2018 (3rd) e 2016 (4th).

Keyword: Climatology, Climate Change, Variability, Tropical-Antarctic connections

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Apresentação	12
1.2 Localização da Área de Estudo	14
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Objetivo Geral	15
1.3.2 Objetivos Específicos	15
1.4 justificativa	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 Clima	18
2.1.1 Tempo	18
2.2 Anomalias de Temperatura	18
2.3 Variabilidade Climática	19
2.4 Mudanças Climáticas.....	19
3 CLIMA DA REGIÃO SUL	21
3.1 Classificação do Clima da Região Sul.....	21
3.2 Fatores do Clima na Região Sul.....	21
3.3 Circulação Atmosférica.....	22
3.3.1 Ondas de Rossby.....	22
3.3.2 Modo Anular do Hemisfério Sul.....	22
3.3.3 Centros de Alta Pressão.....	23
3.3.4 Jatos de Alto e Baixo Nível.....	25

3.3.5 Complexos Convectivos de Mesoescala	26
3.3.6 El Niño-Oscilação Sul (ENOS)	26
3.4 Massas de AR	27
3.5 Sistemas Frontais	28
3.5.1 Ciclogênese.....	30
4 METODOLOGIA.....	31
4.1 <i>Climatic Research Unit</i>	31
4.2 Análise de Dados	31
4.3 Campos Atmosféricos.....	32
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADO.....	33
5.1 Anomalias de Temperatura Média.....	36
5.2 Anomalias de Temperatura Máxima	40
5.3 Anomalias de Temperatura Mínima.....	44
5.4 Análise de 2015.....	48
5.5 Análise de 2016.....	51
5.6 Análise de 2017.....	55
5.7 Análise de 2018.....	57
6 CONCLUSÕES.....	61
REFERÊNCIAS	63

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AS	América do Sul
ASAS	Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
Cfa	Clima Subtropical Úmido com Verão Quente
Cfb	Clima Subtropical Úmido com Verão Brando
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CRU	<i>Climatic Research Unit</i>
°C	Celsius
ENOS	El Niño-Oscilação Sul
EN	El Niño
HS	Hemisfério Sul
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
JAN	Jatos de Altos Níveis
JBN	Jatos de Baixos Níveis
LN	La Niña
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
RSB	Região Sul do Brasil
SAM	Modo Anular do Hemisfério Sul
TMA	Temperatura Média Anual
Tmax	Temperatura Máxima
Tmed	Temperatura Média
Tmin	Temperatura Mínima
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Anomalias de temperaturas médias anuais globais mais quentes já registradas.....	12
Figura 2 - Anomalias globais de temperatura média.	13
Figura 3 - Anomalias de temperatura média na Região Sul do Brasil.	13
Figura 4 - Localização da Região Sul do Brasil em relação ao Brasil.	15
Figura 5 - Registro de anomalias da TMA global em 2016.....	16
Figura 6 - Anticiclones atuantes na América do Sul.	24
Figura 7 - Ventos em 1.000 hPa (m/s) e pressão ao nível do mar (hPa).....	25
Figura 8 - Massas de ar da América do Sul no Verão. ZCIT = Zona de Convergência Intertropical; Em = Equatorial Marítima; Tm = Tropical Marítima; Ec = Equatorial Continental; Tc = Tropical Continental; Pm = Polar Marítima; FP = Frente Polar; ZD = Zona de Descontinuidade.	28
Figura 9 - Representação do avanço de uma frente fria.	29
Figura 10 - Estágios da evolução de um Ciclone Extratropical.	30
Figura 11 - Série temporal da anomalia de Temperatura Média Anual da Região Sul do Brasil (1901 – 2018).....	33
Figura 12 - Série temporal da anomalia de Temperatura Média Anual da Região Sul do Brasil (1981 – 2010).....	34
Figura 13 - Climatologia Temperatura Média da Região Sul do Brasil (1981-2010).....	35
Figura 14 - Climatologia Temperatura Máxima da Região Sul do Brasil (1981-2010).	35
Figura 15 - Climatologia Temperatura Mínima da Região Sul do Brasil (1981-2010).	36
Figura 16 - Anomalias mensais de Temperatura Média da Região Sul do Brasil (2015-2018).....	38
Figura 17 - Anomalias trimestrais de Temperatura Média na Região Sul do Brasil (2015-2018).....	39
Figura 18 - Anomalias mensais de Temperatura Máxima da Região Sul do Brasil (2015-2018).....	42
Figura 19 - Anomalias trimestrais de Temperatura Máxima da Região Sul do Brasil (2015-2018).....	43

Figura 20 - Anomalias mensais de Temperatura Mínima da Região Sul do Brasil (2015-2018).....	46
Figura 21 - Anomalias trimestrais de Temperatura Mínima da Região Sul do Brasil (2015-2018).....	46
Figura 22 - Distribuição espacial das anomalias de TMA (°C) global em 2015.....	49
Figura 23 - Temperatura Média mensal de 2015 comparada à climatologia (1981-2010).....	49
Figura 24 - Campos de anomalias trimestrais do vetor vento em 850 hPa em 2015. A) primeiro trimestre, B) segundo trimestre, C) terceiro trimestre e D) quarto trimestre.	51
Figura 25 - Distribuição espacial das anomalias de TMA (°C) global em 2016.....	52
Figura 26 - Temperatura Média mensal de 2016 comparada à climatologia (1981-2010).....	53
Figura 27 - Campos de anomalias trimestrais no vetor vento em 850 hPa de 2016. A) primeiro trimestre, B) segundo trimestre, C) terceiro trimestre e D) quarto trimestre.	54
Figura 28 - Distribuição espacial das anomalias de TMA (°C) global em 2017.....	55
Figura 29 - Temperatura Média mensal de 2017 comparada à climatologia (1981-2010).....	56
Figura 30 - Campos de anomalias trimestrais do vetor vento em 850 hPa de 2017. A) primeiro trimestre de 2017, B) segundo trimestre, C) terceiro trimestre e D) quarto trimestre.	57
Figura 31 - Distribuição espacial das anomalias de TMA (°C) global em 2018.....	58
Figura 32 - Temperatura Média mensal de 2018 comparada à climatologia (1981-2010).....	59
Figura 33 - Campos de anomalias no vetor vento em 850 hPa para os quatro trimestres de 2018. A) primeiro trimestre de 2018, B) segundo trimestre, C) terceiro trimestre e D) quarto trimestre.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Primeiro trimestre: meses de janeiro, fevereiro e março; segundo trimestre: meses de abril, maio e junho; terceiro trimestre: meses de julho, agosto e setembro; quarto trimestre: meses de outubro, novembro e dezembro **Erro!**

Indicador não definido.

Tabela 2 - Climatologia da Temperatura Média (Tmed), Temperatura Máxima (Tmax) e Temperatura Mínima (Tmin) em °C da Região Sul do Brasil (1981-2010)

..... 34

Tabela 3 - Anomalias de Temperatura Média (°C) na Região Sul do Brasil (2015 – 2018). Valores mensais iguais ou superiores a 1,5°C grifados em vermelho, valores mensais iguais ou inferiores a -1,5°C grifados em azul. Valores anuais iguais ou superiores a 0,5°C grifados em vermelho e valores anuais negativos grifados em azul..... 37

Tabela 4 - Anomalias de Temperatura Média (°C) nos estados da Região Sul do Brasil (2015 – 2018). Valores mensais iguais ou superiores a 1,5°C grifados em vermelho, valores mensais iguais ou inferiores a -1,5°C grifados em azul. Valores anuais iguais ou superiores a 0,5°C grifados em vermelho e valores anuais negativos grifados em azul..... 40

Tabela 5 - Anomalias de Temperatura Máxima (°C) na Região Sul do Brasil (2015 – 2018). Valores mensais iguais ou superiores a 1,5°C grifados em vermelho, valores mensais iguais ou inferiores a -1,5°C grifados em azul. Valores anuais iguais ou superiores a 0,5°C grifados em vermelho e valores anuais negativos grifados em azul..... 41

Tabela 6 - Anomalias de Temperatura Máxima (°C) nos estados da Região Sul do Brasil (2015 – 2018). Valores mensais iguais ou superiores a 1,5°C grifados em vermelho, valores mensais iguais ou inferiores a -1,5°C grifados em azul. Valores anuais iguais ou superiores a 0,5°C grifados em vermelho e valores anuais negativos grifados em azul..... 44

Tabela 7 - Anomalias de Temperatura Mínima (°C) na Região Sul do Brasil (2015 – 2018). Valores mensais iguais ou superiores a 1,5°C grifados em vermelho, valores mensais iguais ou inferiores a -1,5°C grifados em azul. Valores anuais iguais ou superiores a 0,5°C grifados em vermelho e valores anuais negativos grifados em azul..... 45

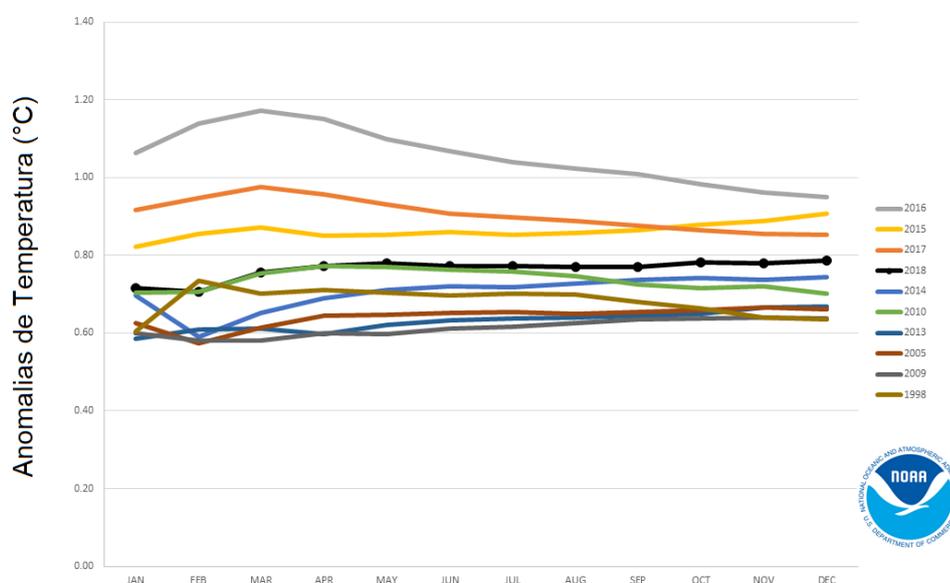
Tabela 8 - Anomalias de Temperatura Mínima (°C) nos estados da Região Sul do Brasil (2015 – 2018). Valores mensais iguais superiores a 1,5°C grifados em vermelho, valores mensais iguais inferiores a -1,5°C grifados em azul. Valores anuais iguais ou superiores a 0,5°C grifados em vermelho e valores anuais negativos grifados em azul.....	47
Tabela 9 - Meses com indicação do fenômeno ENOS. Períodos quentes (vermelho) e frios (azul) com base em um limiar de +/- 0,5°C para o Índice Oceânico Niño (ONI) 3.4.	48
Tabela 10 – Anomalias de Temperatura Média, Máxima e Mínima (°C) na Região Sul do Brasil (2015). Valores mensais iguais ou superiores a 1,5°C grifados em vermelho. Valores anuais iguais ou superiores a 0,5°C grifados em vermelho.....	50
Tabela 11 – Anomalias de Temperatura Média, Máxima e Mínima (°C) na Região Sul do Brasil (2016). Valores mensais iguais ou superiores a 1,5°C grifados em vermelho, valores mensais iguais ou inferiores a -1,5°C grifados em azul. Valores anuais negativos grifados em azul	53
Tabela 12 – Anomalias de Temperatura Média (°C) na Região Sul do Brasil (2017). Valores mensais iguais ou superiores a 1,5°C grifados em vermelho. Valores anuais iguais ou superiores a 0,5°C grifados em vermelho.	56
Tabela 13 – Anomalias de Temperatura Média (°C) na Região Sul do Brasil (2015 – 2018). Valores mensais iguais ou superiores a 1,5°C grifados em vermelho, valores mensais iguais ou inferiores a -1,5°C grifados em azul. Valores anuais iguais ou superiores a 0,5°C.....	59

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Segundo os relatórios *Global Climate Report*, emitidos anualmente pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) a temperatura média (Tmed) do planeta nos anos de 2015 a 2018, estão entre as dez mais altas registradas (Figura 1).

Figura 1 - Anomalias de temperaturas médias anuais globais mais quentes já registradas.

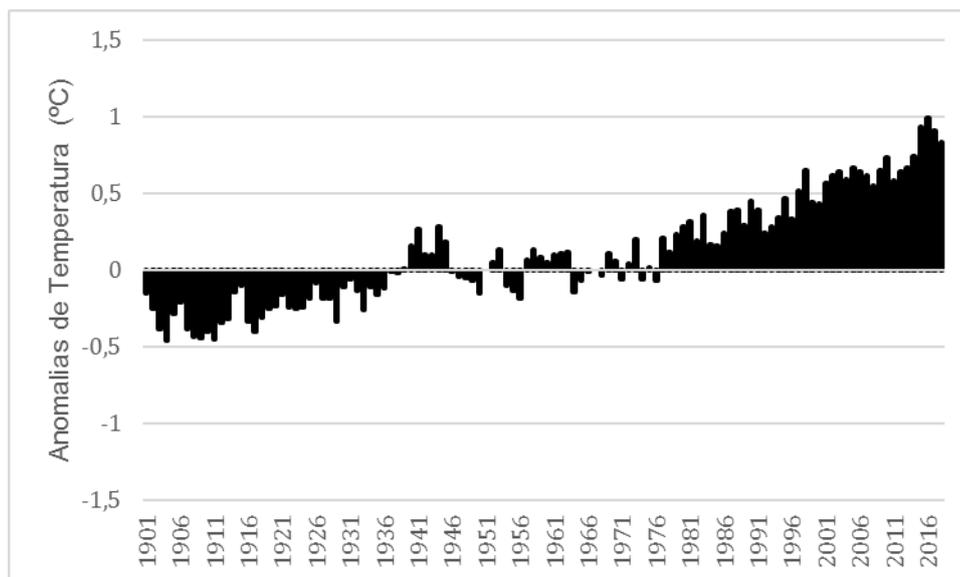


Fonte: Modificado de NOAA, 2019.

Os anos de 2015 a 2018 registraram as temperaturas mais altas desde o período pré-industrial, período estabelecido pela *World Meteorological Organization* (WMO), de 1880 a 1900, quando começaram as primeiras observações instrumentais do tempo meteorológico.

Na Figura 2, é apresentado um gráfico elaborado com dados divulgados pela NOAA (2019) de anomalias de temperatura média anual (TMA) global desde o ano de 1901 até o ano de 2018, nota-se então o aumento expressivo das anomalias nas últimas três décadas e em especial nos últimos 4 anos.

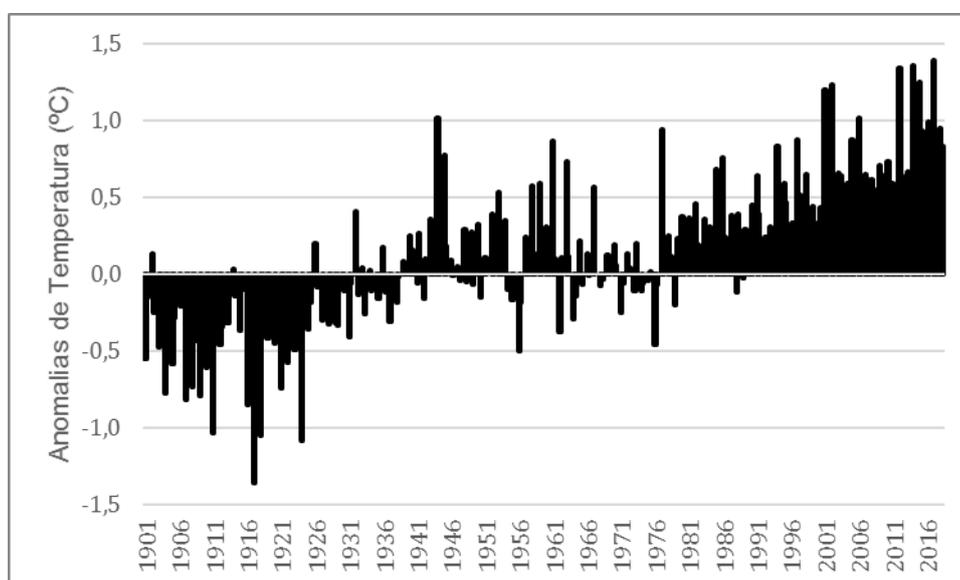
Figura 2 - Anomalias globais de temperatura média.



Fonte: Modificado de NOAA, 2019.

O gráfico das anomalias de TMA para a RSB utilizando os dados da *Climatic Research Unit* (CRU) dos anos 1901 a 2018 para a região em estudo (Figura 3), também indica a mesma tendência de anomalias positivas para as últimas décadas, porém com maior amplitude (extremos). Essa amplitude deve ser decorrente da escala (região versus global), variabilidade e teleconexões atuantes na RSB.

Figura 3 - Anomalias de temperatura média na Região Sul do Brasil.



Fonte: Maythe Fernanda Ernst. Dados: CRU.

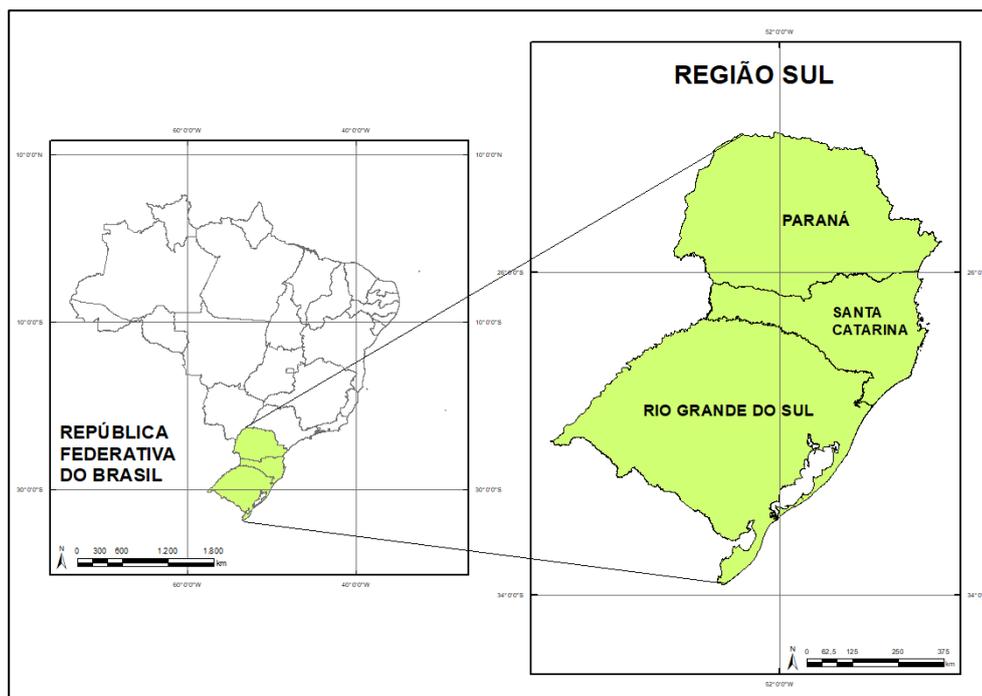
O objetivo do trabalho foi analisar as anomalias de temperatura da RSB nos anos de 2015 a 2018, pelas suas temperaturas mínimas medias e máximas. Os anos de 2105 a 2018 foram escolhidos por serem os mais quentes dos últimos 100 anos. Foram verificadas se as anomalias na RSB estão seguindo o padrão global ou se estão respondendo a outros estímulos atmosféricos.

O presente trabalho foi estruturado em seis capítulos. No primeiro capítulo são apresentados o tema, os objetivos, a área e a justificativa do estudo. O segundo capítulo traz um referencial teórico sobre clima, tempo, anomalias de temperatura, mudanças e variabilidade climática. O terceiro capítulo busca caracterizar o clima da RSB, apresentando os principais sistemas e eventos atmosféricos que atuam na região. O quarto capítulo fala sobre a metodologia utilizada para execução do trabalho. O quinto capítulo expõe os resultados finais com uma breve discussão. Por fim, no sexto capítulo estão as principais conclusões.

1.2 Localização da Área de Estudo

Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2007) a Região Sul do Brasil é a menor região do Brasil com área demarcada de 576.409,569 km² que abrange os estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Figura 4). Os limites da Região Sul ficam entre as latitudes 22°30'57" e 33°45'04" S e as longitudes 48°01'23" e 57°38'36" W, fazendo fronteira com os estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul a norte, com as repúblicas da Argentina e do Paraguai a oeste, com a república do Uruguai a sul e com o Oceano Atlântico a leste.

Figura 4 - Localização da Região Sul do Brasil em relação ao Brasil.



Autora: Dayara Boiani da Silva, 2019.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo principal do trabalho é identificar anomalias de temperatura na Região Sul do Brasil entre os anos de 2015 e 2018.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Comparar dados de temperatura mínima, média e máxima para análise mensal, trimestral e anual no período (1981 – 2010) com a série temporal (1901 – 2018);
- Comparar os dados (2015 – 2018) deste estudo com a normal climatológica de 1981 a 2010;
- Identificar desvios de temperatura média, máxima e mínima no período 2015 a 2018;
- Comparar os resultados obtidos para a RSB com a tendência global.

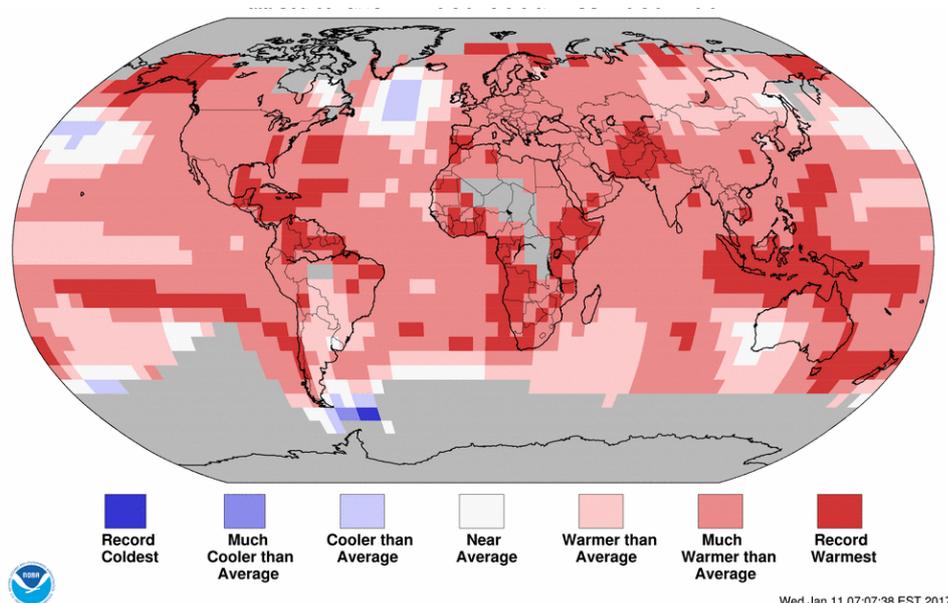
1.4 justificativa

O relatório *High-level synthesis report of latest climate science information* (WMO, 2019) aponta que a temperatura média mundial nos anos de 2015 a 2018 foram os mais quentes já registrados.

A temperatura média global teve um aumento em relação à era pré-industrial de 0,98°C em 2018, de 1,1°C em 2015 e 2017 e de 1,2°C em 2016. O ano de 2018 foi mais ameno que os demais em decorrência da influência do evento de La Niña, no início do ano. O ano de 2016 foi classificado pela NOAA como o mais quente do século, sendo influenciado por um El Niño (NOAA, 2018).

Na Figura 5 pode-se ver as anomalias de TMA globais do ano de 2016, quando ocorreram diversos registros de recordes de temperatura.

Figura 5 - Registro de anomalias da TMA global em 2016.



Fonte: NOAA, 2017.

O El Niño que influenciou os anos de 2015 e 2016 foi classificado pelo relatório *2014-2016 El Niño Assessment Report* (NOAA, 2018) como um dos três eventos mais fortes desde 1950, quando haviam outros tipos de medições para o evento.

Conforme o IBGE (2004), estão presentes na RSB os biomas Mata Atlântica e Pampa, sendo que o primeiro abrange a totalidade do estado de Santa Catarina, 98% do território do Paraná e 37% do território do Rio Grande do Sul e o segundo

abrange 63% do Rio Grande do Sul. O Primeiro Relatório de Avaliação Nacional, 2014, do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), apresenta projeções de aumento de temperatura para os biomas Mata Atlântica e Pampa.

As projeções de aumento de temperatura para o bioma Mata Atlântica apontam para aumento de 0,5 a 1°C até o ano de 2040 e de 2,5 a 3°C para o período de 2071 a 2100. As projeções para o bioma Pampa apontam para aumento de até 1°C até o ano de 2040 e de 2,5 a 3°C entre o período de 2071 e 2100 (PBMC, 2014).

O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2014) emitiu o Quarto Relatório de Avaliação (AR4) onde há projeção de aumento de temperatura para a Região Sul da América do Sul. O inverno apresentará aumento de 1 a 2,9°C para o ano de 2050 e de 1,8 a 4,5°C para o ano de 2080. O verão apresentará aumento de 1 a 3°C para o ano de 2050 e de 1,8 a 4,5°C para o ano de 2080.

O aumento da Tmed global tem efeitos catastróficos para o planeta, mas cada região apresenta anomalias distintas, possuindo fatores únicos que respondem de formas diferentes a estímulos globais.

O presente trabalho visa contribuir para a compreensão das anomalias de temperatura que ocorrem na RSB, auxiliando a embasar as decisões de gestão pública, como o melhor planejamento de infraestrutura e serviços para a sociedade. Conhecer o clima regional é de extrema importância para diversos setores da nossa sociedade, sendo essencial que os tomadores de decisões conheçam não só o clima, mas também as peculiaridades e tendências de cada região para que haja investimentos públicos bem empregados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Clima

A WMO descreve o clima como “clima médio”, sendo uma descrição estatística, o período definido pela organização para cálculo da média climatológica um período de 30 anos de dados meteorológicos de uma determinada localidade ou região. Clima é uma média das condições do tempo meteorológico em um longo período de tempo cronológico de uma determinada localidade ou região.

Segundo WALLACE, J. A. e HOBBS, P. V (2006) o sistema climático é determinado pela emissão de radiação do sol, características de órbita, rotação, composição da atmosfera e interação entre a atmosfera e os outros elementos encontrados no planeta, como continentes e oceanos. Portanto, clima é o estado médio da atmosfera e dos componentes terrestres que se relacionam com a atmosfera. O clima inclui as variações diurnas e sazonais do tempo meteorológico em um determinado período de tempo cronológico recomendado, chegando assim a normal climatológica.

2.1.1 Tempo

O tempo meteorológico é um estado físico da atmosfera que está presente em um determinado local e por um determinado período de tempo cronológico. O tempo é a maior influência do estado físico nas atividades humanas, tendo um padrão de comportamento descrito pelo clima.

2.2 Anomalias de Temperatura

Anomalia de temperatura é a diferença entre a temperatura média e a climatologia, sendo identificada uma anomalia positiva quando a temperatura observada é superior a temperatura da climatologia e uma anomalia negativa quando a temperatura observada é inferior à normal climatológica (NOAA, 2019).

A anomalia de temperatura é a medida da temperatura em relação as condições normais e é utilizada no monitoramento das mudanças climáticas e também para a elaboração de relatórios de monitoramento (WMO,2019).

O monitoramento das anomalias de temperatura em níveis nacionais e regionais são de extrema importância para a compreensão da variabilidade ano a

ano e as mudanças causadas pela atividade antrópica.

Para estudos de mudanças climáticas, anomalias de temperatura são essenciais. Ao calcular a média de temperaturas absolutas, aspectos da localização e elevação da estação em que o dado foi medido podem afetar os resultados. Ao analisar as anomalias de temperatura os fatores que podem alterar os resultados são minimizados (NOAA, 2019).

2.3 Variabilidade Climática

Variabilidade climática é uma variação do clima em escalas temporais e espaciais. Frequentemente, o termo é utilizado para indicar desvios do clima durante um determinado período de tempo, podendo ser um mês, uma estação ou um ano (WMO, 2019).

De acordo com a WMO (2019), a variabilidade pode ser ocasionada por processos naturais (variabilidade interna) ou por fatores externos naturais ou antropogênicos (variabilidade externa).

2.4 Mudanças Climáticas

Segundo o IPCC (2007) as mudanças climáticas são consideradas com uma variação estaticamente significativa no estado médio do clima e persistindo por um período longo. As mudanças climáticas podem ocorrer por processos naturais ou antrópicos.

Difere-se de variabilidade climática pela persistência das anomalias, quando uma anomalia é esporádica ela faz parte da variabilidade climática e quando a anomalia se faz presente durante um longo período pode ocasionar em uma mudança climática.

As mudanças climáticas podem ser naturais ou antropogênicas. As mudanças climáticas causadas pela ação antrópica estão associadas a emissão de gases de efeito estufa, queimadas, desmatamento, decomposição de lixo, entre outros. Essas mudanças podem afetar significativamente as atividades humanas e os ecossistemas terrestres (INPE, 2019).

Segundo o IPCC (2019), as atividades antrópicas elevam a liberação de CO₂, contribuindo para o aquecimento global desde o período pré-industrial. As mudanças climáticas afetam o clima global e regional, causam impactos em

continentes e oceanos, afetando sistemas naturais e humanos. Na escala regional as mudanças climáticas podem afetar a intensidade, frequência e duração de eventos extremos, como ondas de calor e precipitação.

3 CLIMA DA REGIÃO SUL

3.1 Classificação do Clima da Região Sul

Seguindo a classificação climática de Köppen-Geiger o clima da RSB é classificado em sua grande maioria como Cfa (subtropical) e Cfb (temperado).

O clima Cfa possui pelo menos um mês com temperatura média superior a 22°C. Na RSB o clima Cfb aparece nas regiões de maior altitude (acima de 800 m), a média do mês mais quente não ultrapassa os 22°C.

Conforme a classificação climática de NIMER (1989), a RSB apresenta o clima Subquente e Mesotérmico Brando e Médio.

O clima Subquente, presente em 15,27% da região, apresenta verões brandos e invernos amenos. A diferença do clima Subquente na RSB se dá nas áreas litorâneas onde não há registro de secas. No norte do estado do Paraná o clima é caracterizado por 1 ou 2 meses de seca no inverno (NIMER, 1989).

O clima Mesotérmico não apresentando estação de secas, registrando no mínimo um mês com temperatura média abaixo dos 15°C, sendo comum também altas temperaturas durante o verão, registrando temperaturas superiores a 40°C. O clima Mesotérmico Brando, presente em 81,69% da RSB, sendo caracterizados por médias de temperatura de 10 a 15°C. O clima Mesotérmico Médio, presente em 3,04% da região, é caracterizado por médias de temperatura inferiores a 10°C, sendo encontrado em pequenas faixas no interior dos 3 Estados (NIMER, 1989).

CAVALCANTI (2009) descreve o ciclo anual de temperaturas na RSB e verifica que as maiores amplitudes térmicas foram registradas no sul da região em estudo, entorno de 11°C entre os meses de janeiro a julho, enquanto as menores amplitudes foram registradas no norte da região, cerca de 7°C. A diferença de amplitude térmica se deve a maior diferença entre a radiação solar recebida no verão e no inverno em latitudes mais altas ou baixas.

3.2 Fatores do Clima na Região Sul

O fator mais evidente para CAVALCANTI (2009) é a topografia, que determina as regiões mais frias e que ocorrem precipitação em forma de neve, sendo responsável também pelo componente zonal do gradiente de temperatura nas estações do ano. Outro fator importante para o clima da região é a advecção

de ar quente vindo de norte quase o ano inteiro. As temperaturas do litoral norte da Região Sul são influenciadas pela corrente marítima quente do Brasil, que transporta calor e umidade dos trópicos para o sul, diminuindo assim a amplitude térmica anual da região.

O gradiente de temperatura responde de forma diferente a cada estação do ano. As estações de transição, primavera e outono são as que possuem comportamento mais semelhante do gradiente de temperatura. Durante a estação do inverno o gradiente de temperatura fica mais próximo da direção meridional, devido à baixa radiação solar recebida. A topografia da região também contribui para as temperaturas mais baixas no inverno, pois é quando o efeito da altitude é mais notável sobre o padrão de temperatura, causando geadas e precipitação de neve. Na estação do verão o gradiente de temperatura zonal é mais marcante, tendo um aquecimento desproporcional entre continente e oceano (GRIMM, 2009)

3.3 Circulação Atmosférica no Hemisfério Sul

3.3.1 Ondas de Rossby

As ondas de Rossby, também conhecidas por “ondas planetárias”, são muito importantes para a compreensão da circulação global oceânica e atmosférica. Shimizu (2012), descreve as ondas de Rossby como possuindo movimentos ondulatórios em plano horizontal. Nas cartas sinóticas são caracterizados por áreas de vórtice ciclônico e anticiclônica, sendo alternados conforme sua propagação. Segundo a autora, as ondas de Rossby podem ser favorecidas pelo aquecimento adiabático tropical, gerando um movimento de ar ascendente e com divergência em altos níveis.

3.3.2 Modo Anular do Hemisfério Sul

A distribuição dos continentes e oceanos no Hemisfério Sul (HS) contribuem para a consolidação do Modo Anular do Hemisfério Sul (SAM), sendo este o principal modo de variabilidade da circulação atmosférica nas altas e médias latitudes do HS. O SAM influencia no clima dos continentes do HS e o Oceano Austral (Turner e Marshall, 2011). Os autores também descrevem que as mudanças no SAM são decorrentes da variabilidade da dinâmica atmosférica.

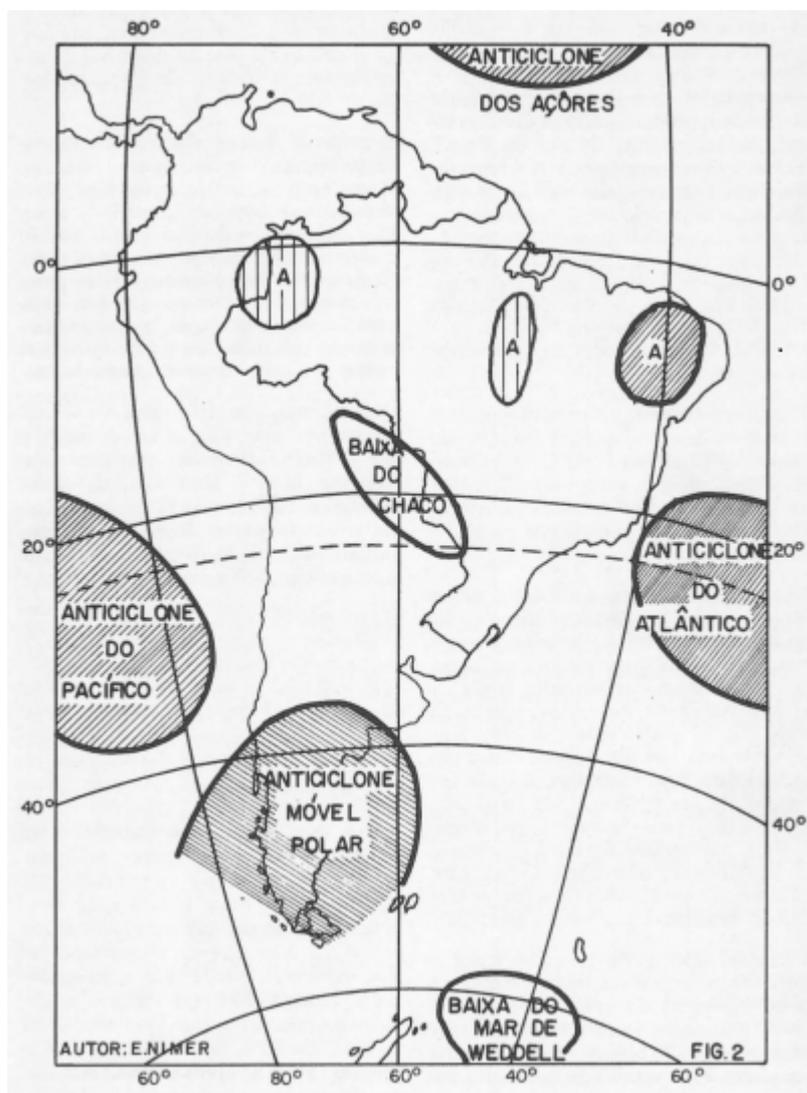
AQUINO (2012), estuda a conexão entre o SAM com a Península Antártica e o Sul do Brasil e os resultados apresentados mostram que o SAM apresenta tendências positivas entre os anos de 1979 e 2009, sendo a estação do inverno a que apresenta mais casos positivos e a primavera a que apresenta mais casos negativos. Na fase negativa do SAM ocorrem mais frentes, já que os ciclones são deslocados para norte, com anomalias positivas de precipitação e de Tmed mensal. Quando Sam negativo há uma diminuição nas anomalias de Tmed mensal.

O SAM possui impacto importante na Tmed mensal e sazonal na RSB, assim como na Península Antártica. O autor salienta que extremos positivos e negativos na Tmed mensal e sazonal na RSB são influencias de variações na circulação atmosférica na região da Península Antártica, principalmente do Mar de Weddell (AQUINO, 2012).

3.3.3 Centros de Alta Pressão

Segundo NIMER (1977), os centros de alta pressão, anticiclones semipermanentes, do Atlântico e do Pacífico Sul (Figura 6) são de extrema importância para a circulação atmosférica da RSB. A atenção maior se dá ao Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) que avança frequentemente interior do continente, enquanto o anticiclone do Pacífico acaba sendo barrado pela cordilheira dos Andes.

Figura 6 - Anticiclones atuantes na América do Sul.



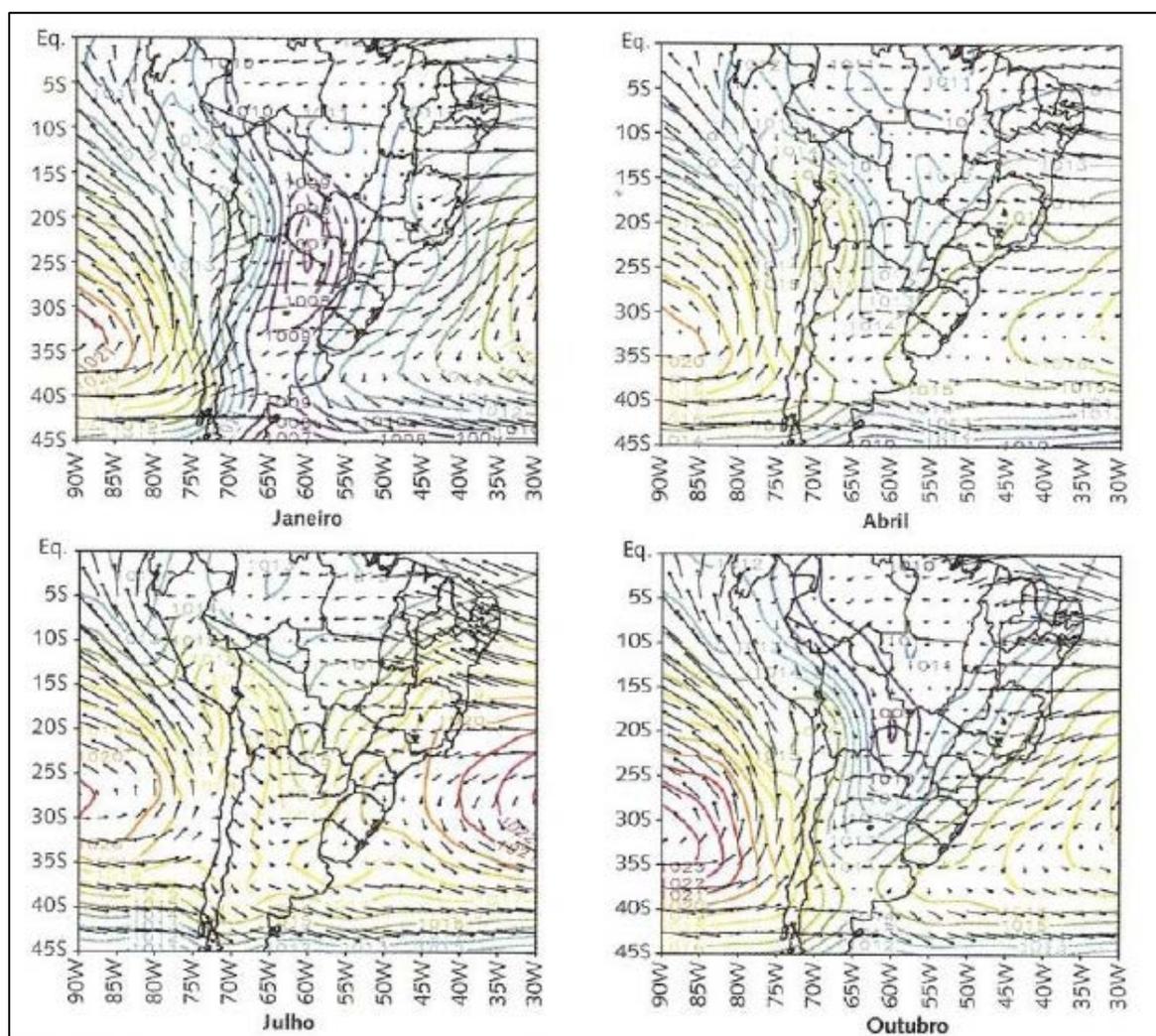
Fonte: NIMER, 1977.

O anticiclone do Atlântico Sul é responsável por introduzir massas de ar marítimas tropicais para o continente, geralmente com temperaturas elevadas. Atuando também sobre a RSB existe o anticiclone móvel polar marítimo da AS, essa alta pressão móvel é responsável por trazer a região massas de ar polar, as massas de ar polar são estáveis e frias, mas chegam a AS com certa umidade e quando há o encontro da massa fria com o ar mais aquecido do continente ocasiona a formação de nuvens e precipitação.

Segundo CAVALCANTI (2009) a RSB se localiza entre dois sistemas de alta pressão semipermanentes localizadas no Atlântico Sul e no Pacífico Sul. Os ventos superficiais leste/nordeste, os mais atuantes na região, são de influência do ASAS,

sendo mais fortalecido no inverno quando o sistema está mais próximo do continente (Figura 7). O deslocamento da alta pressão do Atlântico vai determinar a maior ou menor concentração de ventos em baixos níveis, assim como alteração no número de registros de chuva orográfica na topografia da costa.

Figura 7 - Ventos em 1.000 hPa (m/s) e pressão ao nível do mar (hPa).



Fonte: CAVALCANTI, et al (2009).

3.3.4 Jatos de Alto e Baixo Nível

O Jato de Baixo Nível (JBN) é um sistema que proporciona transporte de calor e umidade da região da Amazônia para as regiões subtropicais da AS. O fluxo de ar ocorre em níveis de 850 hPa (cerca de 2000 m de altitude). Os JBN são direcionados a sudeste em decorrência da barreira orográfica da Cordilheira dos Andes. A cordilheira impede a perda de umidade de origem amazônica para o Oceano Pacífico e bloqueando os ventos alísios.

Os JBN transportam grande quantidade de calor e umidade da bacia Amazônica em direção a bacia Paraná-Prata, ao sul. Durante o verão no HS há um aquecimento no interior do continente que favorece o aparecimento de uma baixa pressão, conhecida como Baixa do Chaco (BCH), essa baixa pressão fortalece o deslocamento dos jatos.

De acordo com Grimm (2009), os JBN estão associados ao deslocamento do ASAS, que durante o verão se desloca para leste o que possibilita o desenvolvimento da BCH, intensificando o jato. Durante o inverno a ASAS se desloca a oeste, impedindo o aparecimento da baixa pressão localizada no interior do continente, fazendo com que o JBN perca força.

O Jato Subtropical, também conhecido como Jato de Alto Nível (JAN), ocorre em 200 hPa e varia entre 20° e 40° S. Satyamurty *et al.* (1998), explica que o JAN causa defluência em altos níveis o que favorece a ascensão de umidade e vento em baixos e médios níveis.

3.3.5 Complexos Convectivos de Mesoescala

Fenômeno comum na região e que altera o tempo meteorológico são os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs), que se desenvolvem em meses quentes, influenciados pelos JBN e JAN. Os CCMs se formam, normalmente, no fim do dia e possuem um ciclo curto (duração de poucas horas). Esse fenômeno é influenciado pela brisa vale montanha, recebendo umidade e calor através dos JBN, essa umidade faz com que a atmosfera fique instável e favoreça a formação de nuvens. Os CCMs têm grande importância na precipitação que ocorre na RSB durante a estação quente (VIANA, 2009; MORAES, 2016).

3.3.6 El Niño-Oscilação Sul (ENOS)

O El Niño (EN) foi descrito e nomeado há séculos por pescadores que notavam um aquecimento anormal nas águas do Pacífico Leste, costa do Peru e do Equador, nos meses de verão no HS.

Walker e Walker e Bliss estabeleceram teleconexões climáticas utilizando diversas variáveis atmosféricas, definiram então um regime oscilatório de grande escala que foi chamado de Oscilação Sul (OS), caracterizado pela diferença de Pressão ao Nível do Mar (PNM) entre o Taiti e Darwin na Austrália.

De acordo com Barry e Chorley (2012), a OS é uma variável irregular, possuindo um período irregular que varia entre dois e dez anos. A OS está associada a circulação de Walker e aos ventos alísios. O nível de atividade da OS no Pacífico pode ser calculada pelo Índice Oscilação Sul (IOS), o IOS é uma medida calculada a partir da temperatura e pressão no mar e na atmosfera.

O EN é uma anomalia positiva na temperatura das águas superficiais e subsuperficiais do Oceano Pacífico Equatorial, que provoca uma alteração no sistema oceano-atmosfera ocasionado pela diminuição dos ventos alísios e o intenso aquecimento da superfície do Oceano Pacífico tropical, com duração igual ou superior a cinco meses.

A La Niña (LN) é uma anomalia na temperatura superficial e subsuperficial no Oceano Pacífico, ao contrário do El Niño que apresenta águas mais aquecidas em toda a faixa Equatorial a La Niña apresenta as águas aquecidas represadas a oeste.

Sansigolo, Diniz e Machado (2006) verificam os impactos causados pelo ENOS na temperatura média no Rio Grande do Sul e demonstram que a La Niña possui maiores impactos na temperatura média durante a seu desenvolvimento (Primavera) e decréscimo (Outono) do que o El Niño, tanto em extensão quanto em duração.

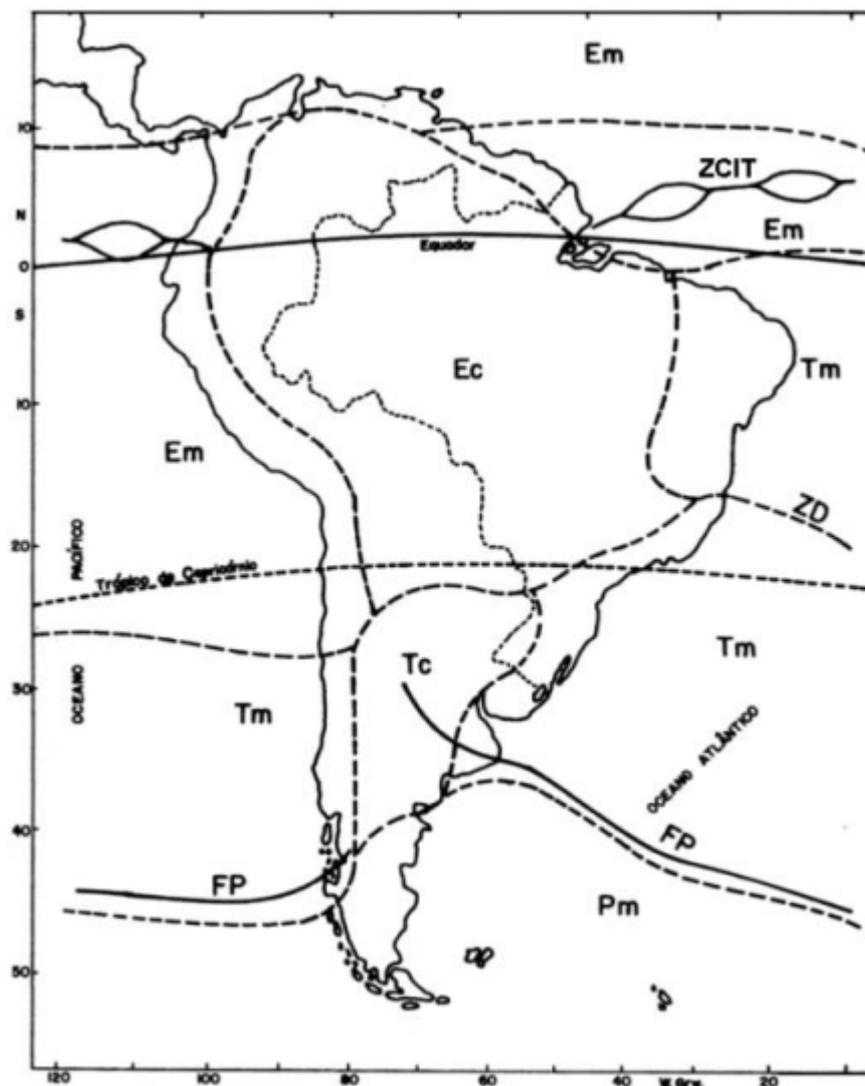
As anomalias que ocorrem na América do Sul estão associadas ao deslocamento da circulação de Walker e do jato subtropical, Cavalcante (1996).

3.4 Massas de AR

Massas de ar podem ser definidas como um volume de ar com características de temperatura e umidade uniformes, recebendo as características da superfície onde são geradas. As massas de ar são caracterizadas por pelo gradiente de temperatura e um valor de umidade específica, Strahler e Strahler (1989).

A área em estudo recebe influência de massas de ar da região tropical e da subpolar (Figura 8), tanto continental quanto marítima. As principais massas atuantes na RSB são a Marítima Polar (Pm), a Marítima Tropical (Tm) e a Continental Tropical (Tc) (Tubelis e Nascimento, 1980).

Figura 8 - Massas de ar da América do Sul no Verão. ZCIT = Zona de Convergência Intertropical; Em = Equatorial Marítima; Tm = Tropical Marítima; Ec = Equatorial Continental; Tc = Tropical Continental; Pm = Polar Marítima; FP = Frente Polar; ZD = Zona de Descontinuidade.



Fonte: Modificado de Tubelis e Nascimento, 1980.

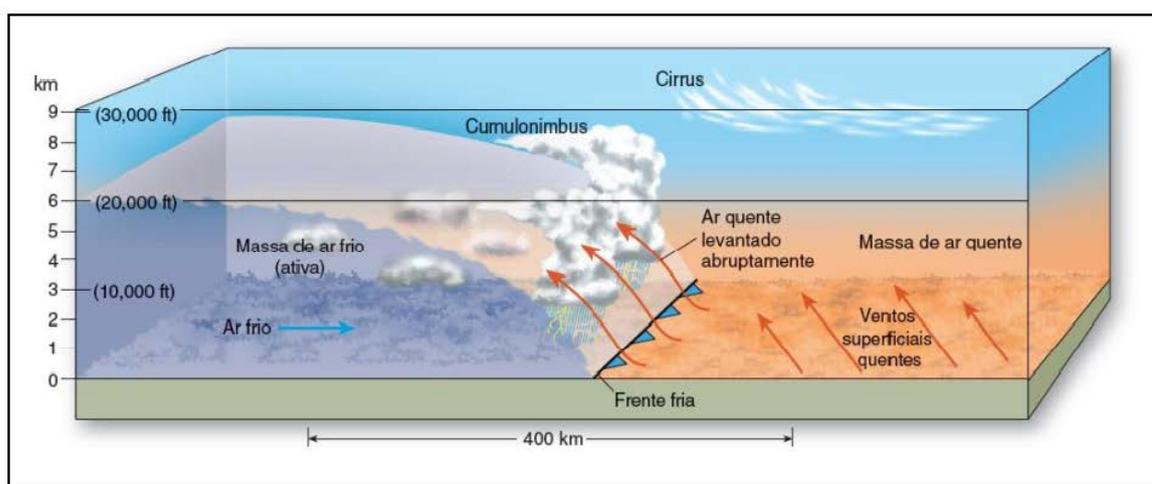
3.5 Sistemas Frontais

Os sistemas frontais ocorrem quando massas de ar de temperaturas distintas entram em contato, a zona de contato das massas de ar é denominada de frente.

Um sistema frontal clássico é composto por um centro de baixa pressão em superfície, uma frente fria e uma frente quente. As frentes são classificadas como fria, quente, estacionária e oclusa.

Na frente fria o ar frio desloca o ar quente presente na superfície, fazendo com que o mesmo sofra uma ascensão, essa ascensão da massa de ar quente origina nuvens de grande desenvolvimento vertical, causando assim chuvas forte (Figura 9). Antes da passagem da frente fria é notada uma queda na pressão, um aumento na temperatura e os ventos se intensificam, após a passagem da frente o tempo se mantém estável e as temperaturas caem. As frentes frias são eventos muito comuns para a RSB nos meses de abril a setembro.

Figura 9 - Representação do avanço de uma frente fria.



Fonte: Christopherson e Birkeland, 2017.

Na frente quente ocorre a substituição do ar frio pelo ar quente, em condições de ar estável apresenta precipitação leve ou moderada de forma contínua, em condições de ar instável podem ocorrer chuvas intensas. A chegada da frente quente, ao contrário da frente fria, pode apresentar uma pequena ou nenhuma alteração na pressão atmosférica e pouca diferença em relação a temperatura, após a sua passagem a pressão e a temperatura podem se elevar rapidamente.

A frente estacionária é determinada quando não há o avanço de frentes frias ou quentes, uma massa de ar não se desloca para a massa de ar frio ou quente, ficando paralela a linha de frente, normalmente a precipitação é leve, mas pode se intensificar se o sistema permanecer estacionário por muito tempo.

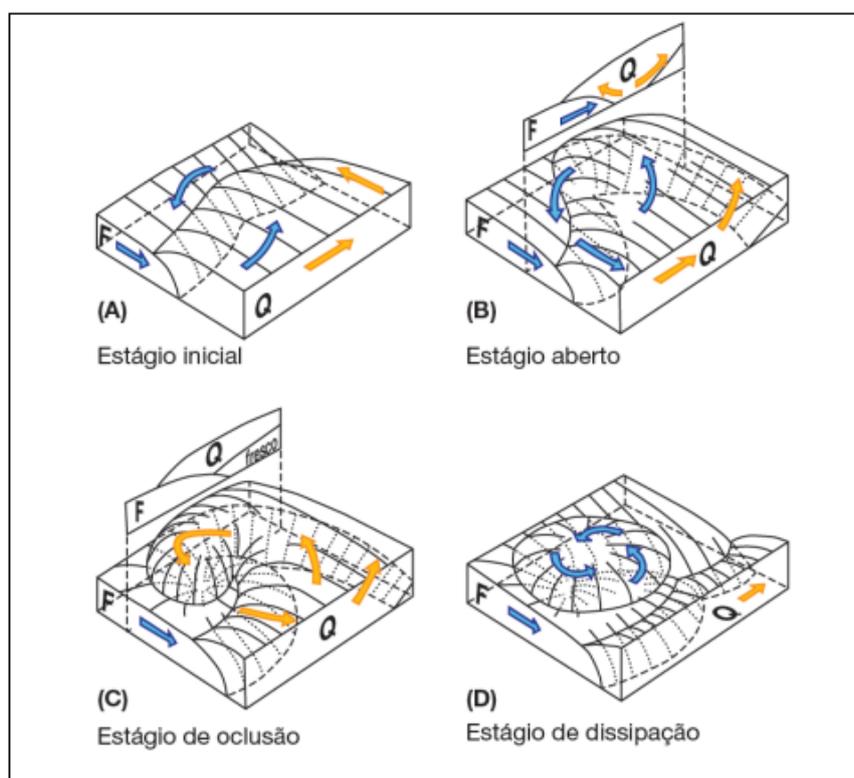
A frente oclusa ocorre quando o setor frio alcança o setor quente de uma frente, assim o ar quente é forçado a subir. A nebulosidade e a precipitação neste tipo de frente ocorrem nos dois lados da frente, conforme a oclusão evolui a intensidade da precipitação diminui.

3.5.1 Ciclogênese

Segundo o INPE (2019), a ciclogênese pode ser descrita como o processo de formação de uma onda frontal de pequena amplitude, apresentando uma baixa pressão, uma frente fria e uma frente quente. O desenvolvimento da ciclogênese tem como mecanismo a instabilidade baroclínica, devido ao gradiente horizontal de temperatura em superfície.

De acordo com Barry e Chorley, 2012, um ciclone extratropical possui padrão isobárico mais ou menos circular, de 1500 a 3000 km de diâmetro, com duração de quatro a sete dias. Ocorrem em latitudes médias e podem estar associados a convergência de massa de ar contrastantes (Figura 10).

Figura 10 - Estágios da evolução de um Ciclone Extratropical.



Fonte: Barry e Chorley, 2012.

4 METODOLOGIA

Com o intuito de analisar a ocorrência de anomalias de temperatura na RSB do Brasil, entre os anos de 2015 e 2018, utilizou-se os seguintes métodos e técnicas.

Primeiramente para visualizar os dados de temperatura nos anos em estudo e elaboração da climatologia 1981 a 2010 foi utilizada base de dados da CRU.

Após a coleta foram utilizados o software Excel para elaboração de uma planilha de dados e cálculos estatísticos.

4.1 *Climatic Research Unit*

Para a análise das anomalias de temperatura máxima, média e mínima do período em estudo foi realizada a coleta de dados meteorológicos de temperatura da base de dados da CRU, versão 4.03 com resolução espacial de 0,5° x 0,5°, disponível no link <<https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/>>.

A CRU, da *University of East Anglia*, é amplamente conhecida como uma das principais instituições do mundo preocupada com o estudo das mudanças climáticas naturais e antropogênicas. A CRU desenvolveu conjunto de dados amplamente utilizados em pesquisas climáticas, dentre eles o registro global de temperatura, software estatísticos e modelos climatológicos.

Após a obtenção dos dados foi realizado um reconhecimento da grade da CRU para averiguar os pontos que pertencem a RSB, após o reconhecimento foi realizado um recorte na grade do banco de dados e foram obtidos 249 pontos de grade ao todo. Reconhecendo os pontos que cobrem a área foram separados dados de 1981 a 2010 para realização da climatologia utilizada também dados de 2015 a 2018 que são dos anos em análise.

4.2 Análise de Dados

Para o cálculo das anomalias de temperatura foram processados os dados selecionados do banco de dados da CRU no software Excel Microsoft Office Professional Plus 2016 para elaboração de tabelas, gráficos e realização de cálculos de desvio em graus celsius e porcentagem.

Os dados selecionados foram estudados e trabalhados em partes, trabalhando então com dados mensais, trimestrais (Tabela 1) e anuais.

Tabela 1 - Primeiro trimestre: meses de janeiro, fevereiro e março; segundo trimestre: meses de abril, maio e junho; terceiro trimestre: meses de julho, agosto e setembro; quarto trimestre: meses de outubro, novembro e dezembro.

1° trimestre	2° trimestre	3° trimestre	4° trimestre
Janeiro	Abril	Julho	Outubro
Fevereiro	Maio	Agosto	Novembro
Março	junho	Setembro	Dezembro

Fonte: Autora, 2019.

4.3 Campos Atmosféricos

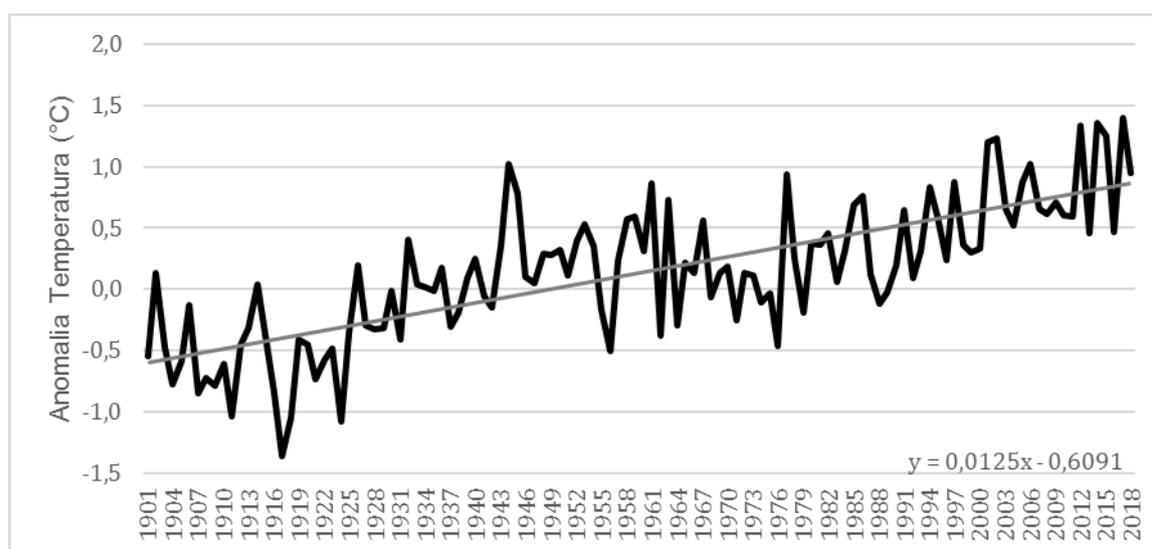
A reanálise de dados é o processo pelo qual os dados observados são assimilados num modelo numérico, para obtenção de uma interpolação física em uma grade regular a ser usada para estudos que exijam o cálculo de diferentes parâmetros, em particular o cálculo de derivadas espaciais e temporais. Diferente da interpolação matemática, a interpolação física leva em conta a topografia, a cobertura vegetal e a evolução temporal dos processos como radiação solar, turbulência, convecção e os processos de dinâmica de fluídos associados (Barry e Carleton, 2001; Biazeto et al., 2006)

A elaboração de campos atmosféricos utilizando o vetor vento foi realizada a partir do site da NOAA, utilizando os dados de reanálise NCEP, com resolução espacial de 2,5° de latitude x 2,5° de longitude.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADO

A série temporal de anomalias de TMA da RSB dos últimos 118 anos (1901 – 2018), apresentou tendência de $0,0125^{\circ}\text{C a}^{-1}$, perfazendo um aumento de $1,47^{\circ}\text{C}$ (Figura 11).

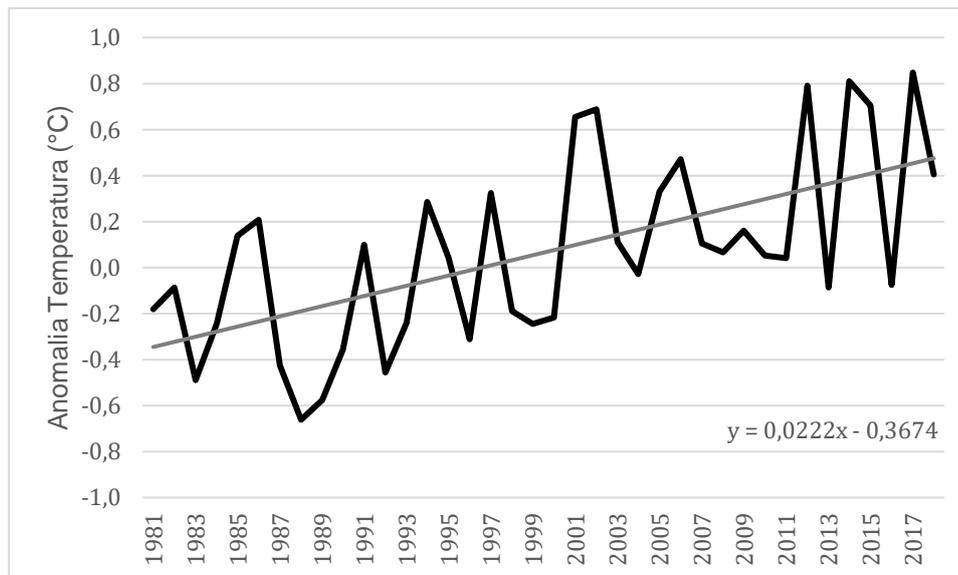
Figura 11 - Série temporal da anomalia de Temperatura Média Anual da Região Sul do Brasil (1901 – 2018).



Fonte: Autora, 2019.

A série de temporal das anomalias de TMA da RSB dos últimos 48 anos (1981 - 2018), apresentou tendência de $0,0222^{\circ}\text{C a}^{-1}$, demonstrando um aumento de $1,07^{\circ}\text{C}$ (Figura 12).

Figura 12 - Série temporal da anomalia de Temperatura Média Anual da Região Sul do Brasil (1981 – 2010).



Fonte: Autora, 2019.

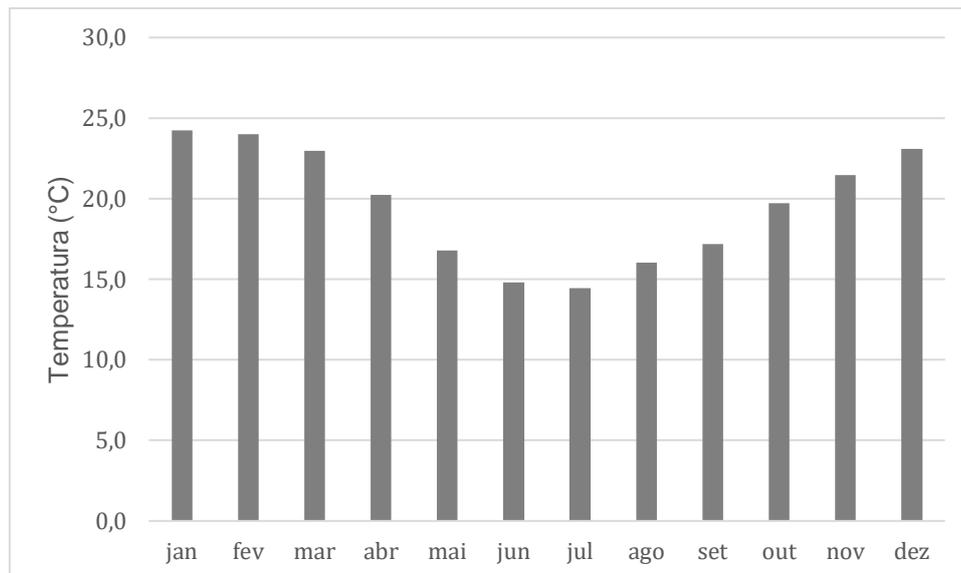
Para as análises de anomalias foram elaboradas as climatologias da Tmed, temperatura máxima (Tmax) e temperatura mínima (Tmin) da base de dados CRU (Tabela 2). A climatologia foi elaborada com os dados dos anos de 1981 a 2010. Observa-se também na Figura 13, o gráfico da climatologia Tmed, a climatologia Tmax (Figura 14) e da Tmin (Figura 15).

Tabela 2 - Climatologia da Temperatura Média, Temperatura Máxima e Temperatura Mínima em °C da Região Sul do Brasil (1981-2010).

T (°C)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ano
Tmed	24,2	24,0	23,0	20,2	16,8	14,8	14,5	16,0	17,2	19,7	21,5	23,1	19,6
Tmax	29,5	29,1	28,2	25,1	21,6	19,6	19,6	21,3	22,2	24,8	26,8	28,4	24,7
Tmin	19,0	19,0	17,8	15,4	12,0	10,1	9,4	10,7	12,2	14,6	16,2	17,8	14,5

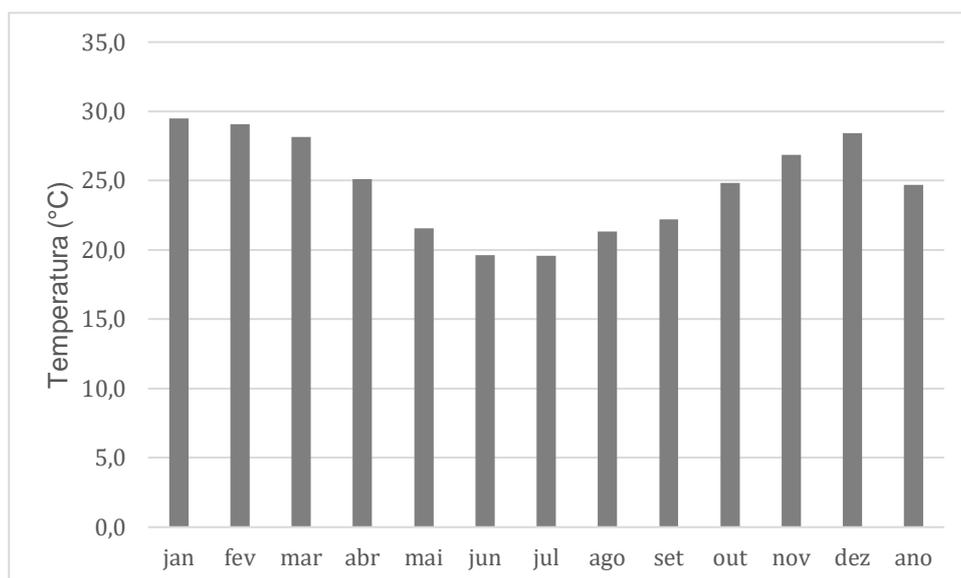
Fonte: Autora, 2019.

Figura 13 - Climatologia Temperatura Média da Região Sul do Brasil (1981-2010).



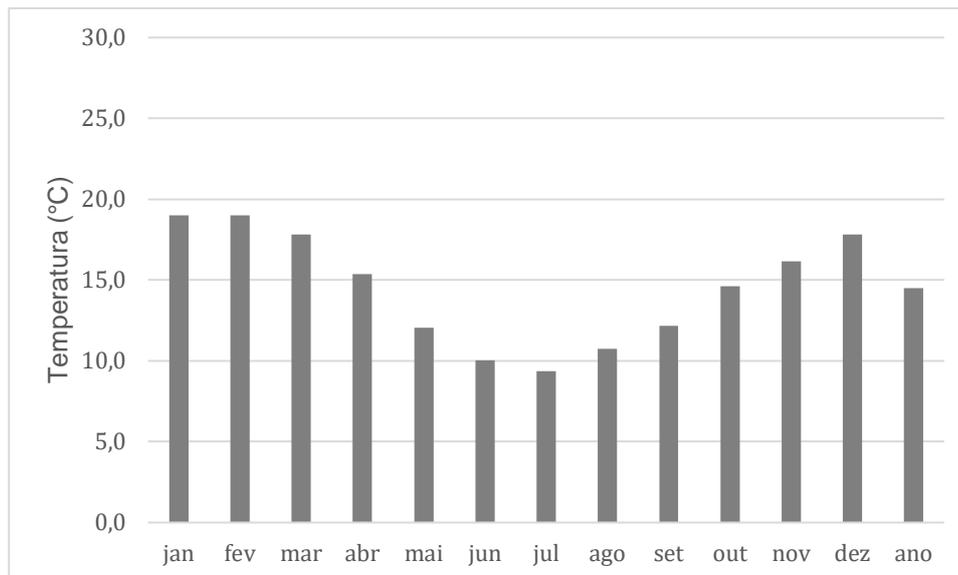
Fonte: Autora, 2019.

Figura 14 - Climatologia Temperatura Máxima da Região Sul do Brasil (1981-2010).



Fonte: Autora, 2019.

Figura 15 - Climatologia Temperatura Mínima da Região Sul do Brasil (1981-2010).



Fonte: Autora, 2019.

5.1 Anomalias de Temperatura Média

Ao analisarmos as anomalias de Tmed para a RSB podemos verificar que o ano que apresentou mais registros mensais de anomalias positivas foi 2015 e o ano que registrou mais anomalias negativas mensais foi 2016.

O registro mensal de anomalias positiva de Tmed (Tabela 3), mostra que a anomalia positiva mais alta ocorreu no ano de 2017, apresentando 2,9°C no mês de setembro, registrando também 2,0°C no mês de julho. O ano de 2018 apresentou o segundo registro de anomalia positiva mensal mais alta para a RSB com 2,5°C no mês de abril. O ano de 2015 apresentou o terceiro registro de anomalia positiva mais alta com 2,1°C no mês de agosto.

Tabela 3 - Anomalias de Temperatura Média (°C) na Região Sul do Brasil (2015 – 2018). Valores mensais iguais ou superiores a 1,5°C grifados em vermelho, valores mensais iguais ou inferiores a -1,5°C grifados em azul. Valores anuais iguais ou superiores a 0,5°C grifados em vermelho e valores anuais negativos grifados em azul.

T (°C)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Ano
2015	0,5	0,3	0,2	0,6	1,0	1,4	1,1	2,1	1,2	0,0	-0,4	0,3	0,7
2016	0,7	1,3	-0,8	1,6	-1,5	-2,6	0,3	0,7	-0,2	-0,3	-0,4	0,3	-0,1
2017	0,4	0,9	0,1	-0,4	1,3	1,0	2,0	1,6	2,9	0,3	-0,6	0,8	0,8
2018	-0,3	-0,2	0,0	2,5	1,7	-0,9	0,3	-1,4	1,9	0,2	0,8	0,5	0,4

Fonte: Autora, 2019.

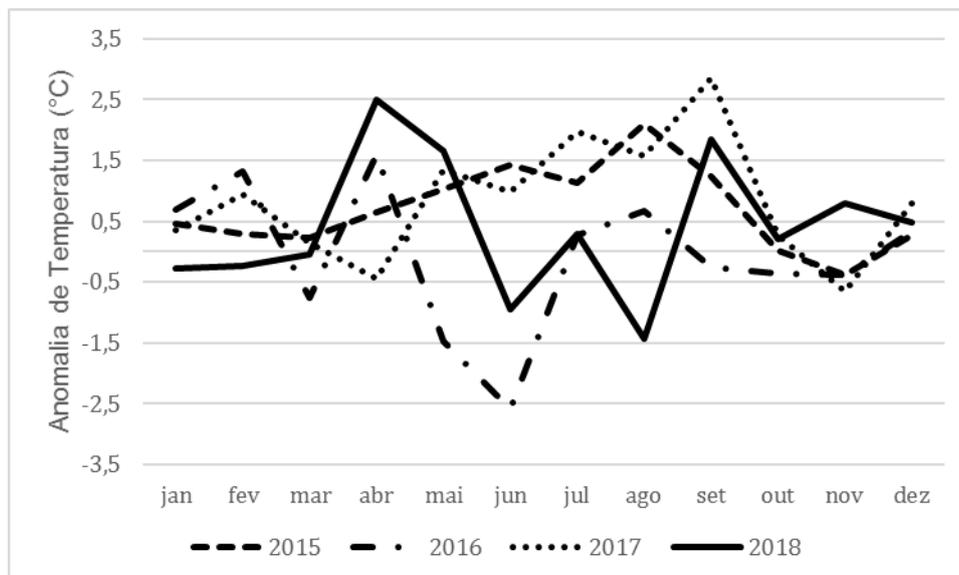
O ano que apresentou menos registros mensais de anomalias negativas de Tmed foi 2015, apresentando anomalia negativa apenas no mês de novembro. Em 2017 houveram dois meses com anomalias negativas. Os anos com anomalias positivas anuais de Tmed mais altas foram 2015 (0,7°C) e 2017 (0,8°C).

Verificando anomalias negativas mais altas para a Tmed encontramos no ano de 2016 o valor de -2,6°C em junho e -1,5°C em maio. 2016. O ano de 2018 apresentou a terceira maior anomalia negativa, registrando -1,4°C no mês de agosto. O ano de 2016 apresentou seis meses com anomalias negativas, a anomalias anual de Tmed é de -0,1°C.

Os meses de abril a setembro são os que apresentam os maiores valores de anomalias mensais.

Assim, 2016 foi o ano que registrou mais anomalias mensais negativas, 2015 foi o ano com menos extremos, seguido por 2017, que também apresentou poucos picos de anomalias (Figura 16).

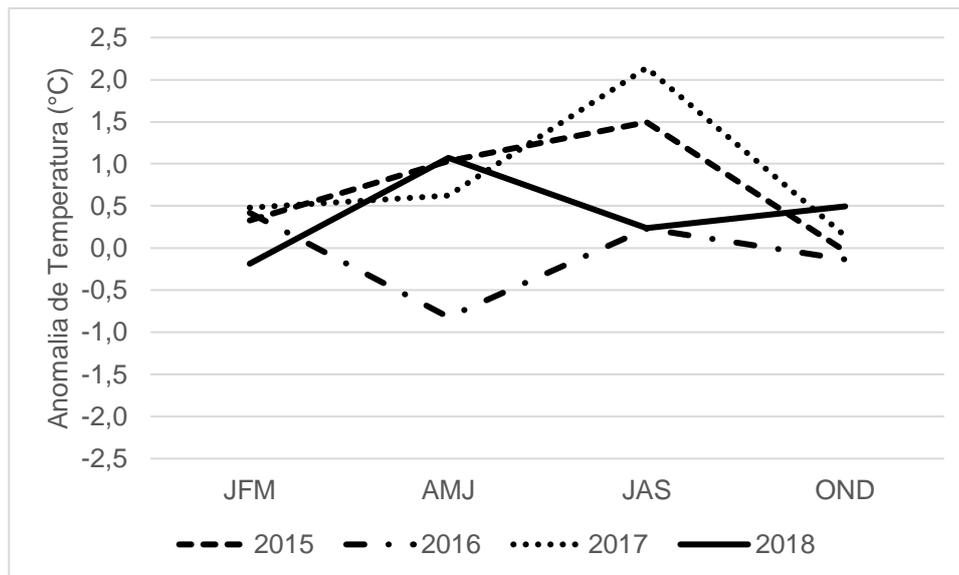
Figura 16 - Anomalias mensais de Temperatura Média da Região Sul do Brasil (2015-2018).



Fonte: Autora, 2019.

Pode-se verificar na Figura 17, que no primeiro trimestre as anomalias dos três primeiros anos em análise são positivas, contrárias ao ano de 2018. No segundo trimestre o ano de 2016 é o único a marcar anomalias negativas, no terceiro trimestre não há registros negativos, no ultimo trimestres os anos de 2015, 2016 e 2017 registram anomalias próximas de 0, enquanto em 2018 enxergasse um pico na anomalia.

Figura 17 - Anomalias trimestrais de Temperatura Média na Região Sul do Brasil (2015-2018).



Fonte: Autora, 2019.

Para melhor entender o comportamento da RSB foram analisados também os estados que a compõe (Tabela 4), e pode-se observar que o estado que apresentou as maiores anomalias positivas anuais foi o estado de Santa Catarina.

Tabela 4 - Anomalias de Temperatura Média (°C) nos estados da Região Sul do Brasil (2015 – 2018). Valores mensais iguais ou superiores a 1,5°C grifados em vermelho, valores mensais iguais ou inferiores a -1,5°C grifados em azul. Valores anuais iguais ou superiores a 0,5°C grifados em vermelho e valores anuais negativos grifados em azul.

RS	jan	fev	mar	abr	maio	jun	julho	ago	set	out	nov	dez
2015	0,0	0,4	0,4	0,9	1,3	1,6	1,2	2,7	0,6	-0,7	-0,7	0,1
2016	1,5	-1,1	1,2	-1,7	-2,6	0,1	0,7	-0,4	-0,4	-0,4	0,4	0,2
2017	0,2	0,9	0,0	-0,2	1,3	1,3	2,5	1,7	2,5	0,1	-0,7	1,0
2018	-0,1	0,0	-0,4	3,0	1,6	-1,4	-0,1	-1,6	2,3	0,2	1,0	0,0
SC	jan	fev	mar	abr	maio	jun	julho	ago	set	out	nov	dez
2015	1,0	0,4	0,2	0,4	0,9	1,4	1,3	2,1	1,6	0,5	-0,1	0,5
2016	0,8	1,3	-0,4	1,9	-1,1	-2,5	0,4	0,7	0,0	-0,3	-0,3	0,4
2017	0,7	1,2	0,4	-0,5	1,4	1,0	1,6	1,6	3,2	0,6	-0,4	0,7
2018	-0,2	-0,4	0,3	2,2	1,8	-0,5	0,7	-1,1	1,7	0,4	0,8	1,0
PR	jan	fev	mar	abr	maio	jun	julho	ago	set	out	nov	dez
2015	0,9	0,1	0,0	0,4	0,6	1,2	1,0	1,2	2,0	0,9	-0,1	0,4
2016	0,5	1,1	-0,5	2,0	-1,3	-2,6	0,5	0,7	-0,2	-0,2	-0,5	0,1
2017	0,5	0,9	0,3	-0,8	1,4	0,6	1,3	1,4	3,2	0,4	-0,7	0,6
2018	-0,5	-0,5	0,3	1,9	1,7	-0,5	0,7	-1,4	1,2	0,2	0,5	0,9

Fonte: Autora, 2019.

5.2 Anomalias de Temperatura Máxima

Ao analisarmos as anomalias de Tmax verificou-se que o ano que apresentou a maior anomalia positiva anual para a RSB foi o ano de 2017 e o ano que registrou a maior anomalia negativa anual foi 2016.

Ao analisarmos os registros mensais mais altos das anomalias máximas, Tabela 4, verificamos que o ano de 2018 foi o que apresentou a anomalia mais alta para a região, registrando anomalia de 2,7°C em abril e de 1,7°C em setembro, a anomalia do ano de 2018 ficou em 0,4°C, tendo apenas três meses de anomalias negativas.

Tabela 5 - Anomalias de Temperatura Máxima (°C) na Região Sul do Brasil (2015 – 2018). Valores mensais iguais ou superiores a 1,5°C grifados em vermelho, valores mensais iguais ou inferiores a -1,5°C grifados em azul. Valores anuais iguais ou superiores a 0,5°C grifados em vermelho e valores anuais negativos grifados em azul.

T (°C)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Ano
2015	-0,3	0,0	0,1	1,2	0,5	1,2	0,6	1,4	1,5	-0,6	-1,4	-0,7	0,2
2016	0,4	1,2	-1,1	1,1	-1,8	-2,2	0,3	0,9	0,3	-0,6	-0,2	0,2	-0,1
2017	0,1	0,7	0,1	-0,6	0,8	0,9	2,4	1,5	2,6	0,2	-0,2	1,0	0,7
2018	-0,5	0,0	0,2	2,7	1,5	-0,7	0,0	-1,3	1,7	0,0	0,6	0,4	0,4

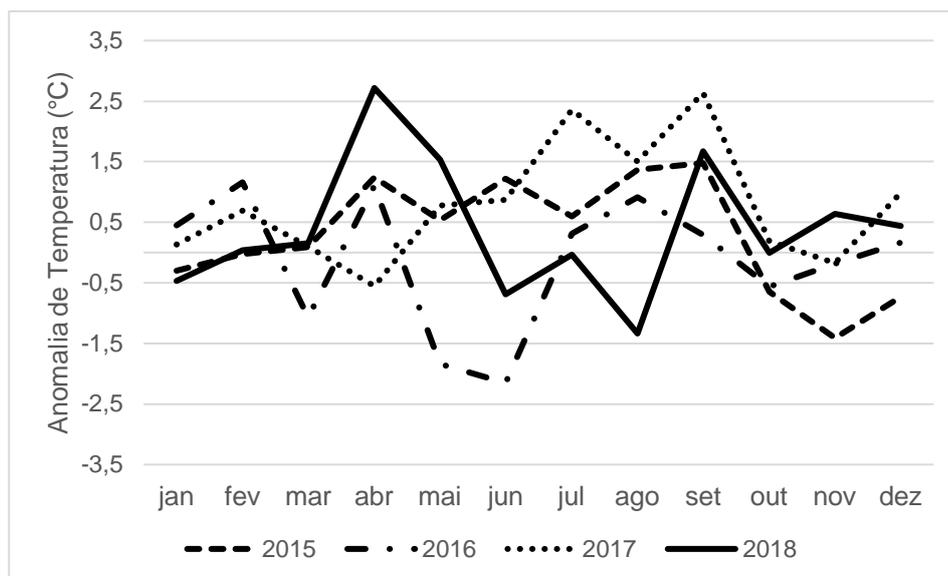
Fonte: Autora, 2019.

O ano com a maior anomalia anual de Tmax, visualizadas na Tabela 1, foi o ano de 2017, apresentando apenas dois meses de anomalias negativas e a anomalia do ano de 0,7°C, 2017 também registrou anomalia nos meses de setembro com 2,6°C e de julho com 2,4°C.

Verificando as anomalias negativas mais altas para as Tmax encontramos o valor de -2,2°C em junho de 2016 e -1,8 °C em maio, este ano apresentou cinco meses com anomalias negativas e a média das anomalias do ano de 2016 ficou em 0,1°C negativo. O ano de 2015 também apresentou uma das maiores anomalias negativas, registrando -1,4°C no mês de novembro.

Pode-se visualizar o comportamento das anomalias nos anos em análise na Figura 18. Verifica-se que o ano de 2016 foi o ano que se manteve por mais tempo com anomalias negativas. O ano de 2015 foi o segundo ano com a anomalia mais baixa na média anual. Apesar de apresentar picos mais representativos 2015 demonstra registros de anomalias negativas inferiores ao ano de 2018. O ano de 2017 foi o que mais manteve menor número de registros negativos e a maior anomalia anual positiva.

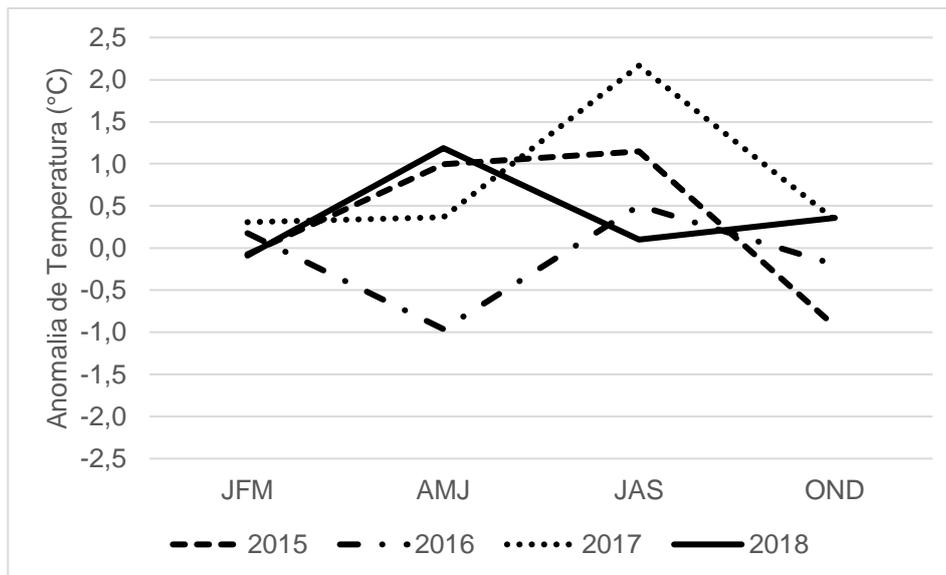
Figura 18 - Anomalias mensais de Temperatura Máxima da Região Sul do Brasil (2015-2018).



Fonte: Autora, 2019.

Pode-se verificar que no primeiro trimestre (Figura 19) o comportamento das anomalias é bastante semelhante, já no segundo trimestre o ano de 2017 se mantém estável e o ano de 2016 apresenta anomalias negativas significativas. No terceiro trimestre nenhum dos anos analisados apresentou anomalias negativas, mas o último trimestre apresenta anomalias negativas nos anos de 2015 e 2016.

Figura 19 - Anomalias trimestrais de Temperatura Máxima da Região Sul do Brasil (2015-2018).



Fonte: Autora, 2019.

Para melhor entender o comportamento da RSB foram analisados também os Estados que a compõe (Tabela 6), e pode-se observar que o Estado que apresentou as anomalias anuais mais baixas foi Santa Catarina, seguido pelo Paraná, portanto Rio Grande do Sul foi o que apresentou as maiores anomalias positivas anuais.

Tabela 6 - Anomalias de Temperatura Máxima (°C) nos estados da Região Sul do Brasil (2015 – 2018). Valores mensais iguais ou superiores a 1,5°C grifados em vermelho, valores mensais iguais ou inferiores a -1,5°C grifados em azul. Valores anuais iguais ou superiores a 0,5°C grifados em vermelho e valores anuais negativos grifados em azul.

RS	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	An
2015	0,0	0,0	0,1	0,9	0,4	1,3	0,5	1,3	1,9	-0,2	-1,3	-0,7	0,3
2016	1,1	-0,9	1,4	-1,7	-2,1	0,6	1,0	0,6	-0,5	-0,2	0,0	0,3	0,0
2017	0,3	0,7	0,3	-0,7	0,9	0,8	2,4	1,6	2,9	0,3	-0,1	0,9	0,9
2018	-0,6	-0,1	0,3	2,6	1,8	-0,5	0,2	-1,3	1,6	0,1	0,6	0,7	0,9
SC	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	An
2015	0,1	-0,4	-0,5	0,3	-0,3	0,3	0,1	0,4	2,1	0,4	-1,3	-0,2	0,3
2016	0,2	0,8	-0,9	1,9	-1,5	-2,6	0,6	0,5	0,0	-0,4	-0,6	0,0	-0,9
2017	0,3	0,7	0,1	-0,8	1,1	0,2	1,4	1,2	3,0	0,3	-0,7	0,6	0,9
2018	-0,8	-0,5	0,1	2,0	1,8	-0,6	0,7	-1,5	0,9	0,0	0,2	1,0	0,3
PR	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	An
2015	-0,9	0,1	0,5	2,2	1,2	1,6	1,1	2,0	0,5	-1,9	-1,6	-1,1	0,3
2016	0,5	1,4	-1,4	0,2	-2,2	-1,9	-0,2	0,9	0,0	-0,7	0,0	0,5	-0,9
2017	-0,3	0,6	-0,2	-0,2	0,5	1,3	2,8	1,4	2,0	-0,1	0,0	1,3	0,9
2018	0,0	0,5	0,0	3,2	1,0	-1,1	-0,8	-1,4	2,1	-0,1	0,9	-0,3	0,3

Fonte: Autora, 2019.

5.3 Anomalias de Temperatura Mínima

Analisando o número de registros de anomalias de Tmin verificou-se que o ano que apresentou o maior número de registro de anomalias positivas para a Região Sul foi o ano de 2015 e o ano que registrou o maior número de anomalias negativas para a Região Sul foi o ano de 2016.

Podemos analisar na Tabela 7 que o registro de anomalia de Tmin mais alto foi de 2,4°C e esse registro ocorreu no mês de agosto do ano de 2015 e no mês de setembro de 2017. As maiores anomalias anuais de temperatura mínima foram nos anos de 2015 e 2017, que registram respectivamente 0,9 e 0,7°C. O ano que apresentou menor anomalia foi o ano de 2016, onde sua anomalia anual registrada foi de 0,1.

Tabela 7 - Anomalias de Temperatura Mínima (°C) na Região Sul do Brasil (2015 – 2018). Valores mensais iguais ou superiores a 1,5°C grifados em vermelho, valores mensais iguais ou inferiores a -1,5°C grifados em azul. Valores anuais iguais ou superiores a 0,5°C grifados em vermelho e valores anuais negativos grifados em azul.

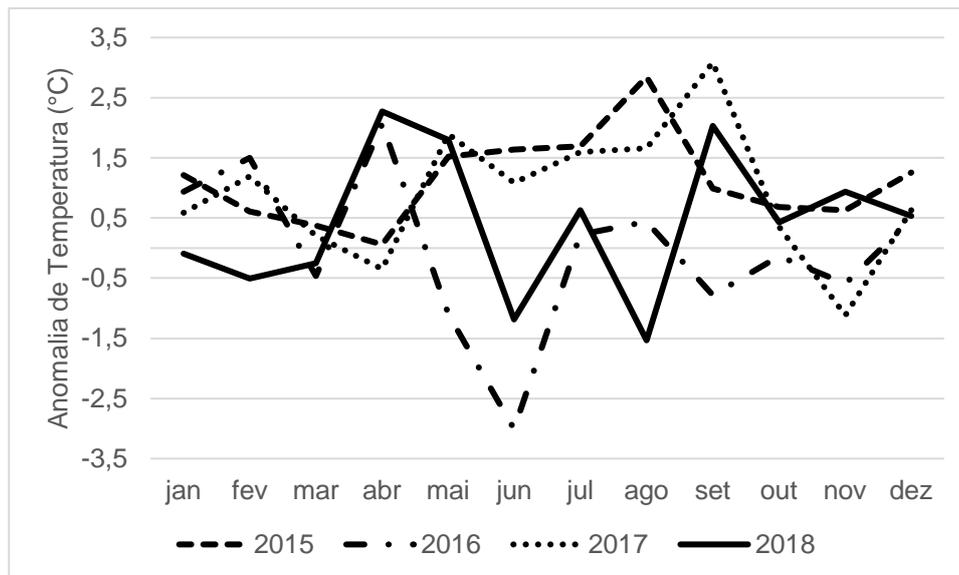
T (°C)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Ano
2015	1,4	0,6	0,3	0,1	1,0	1,0	0,9	2,4	0,8	0,5	0,6	1,3	0,9
2016	1,1	1,6	-0,4	1,8	-0,7	-1,8	0,1	0,4	-0,6	-0,1	-0,6	0,5	0,1
2017	0,7	1,3	0,2	-0,3	1,2	0,7	0,9	1,4	2,4	0,3	-1,1	0,7	0,7
2018	-0,1	-0,5	-0,2	2,0	1,2	-0,7	0,4	-1,3	1,6	0,3	0,9	0,6	0,4

Fonte: Autora, 2019.

Ao analisar a Tabela 7 podemos ver que o ano de 2016 apresenta seis registros de anomalias negativas, também apresenta a anomalias de -1,8°C em junho, o registro mais expressivo do período em estudo. O segundo maior registro de anomalia negativa ocorreu em agosto de 2018, registrando -1,3°C.

Verifica-se que o ano de 2016 apresenta uma queda brusca nos meses de maio e junho, quando apresenta suas maiores anomalias negativas (Figura 20). Analisando o gráfico vemos que durante o ano 2015 nenhum mês apresentou anomalias negativas e/ou neutras, ficando assim sempre acima da média esperada. O ano de 2017 foi que apresentou a segunda maior anomalia anual e podemos visualizar que ocorreram apenas dois registros de anomalias negativas no período. O ano de 2018 foi o segundo ano com as anomalias mais baixas, registrando cinco meses com anomalias negativas no ano.

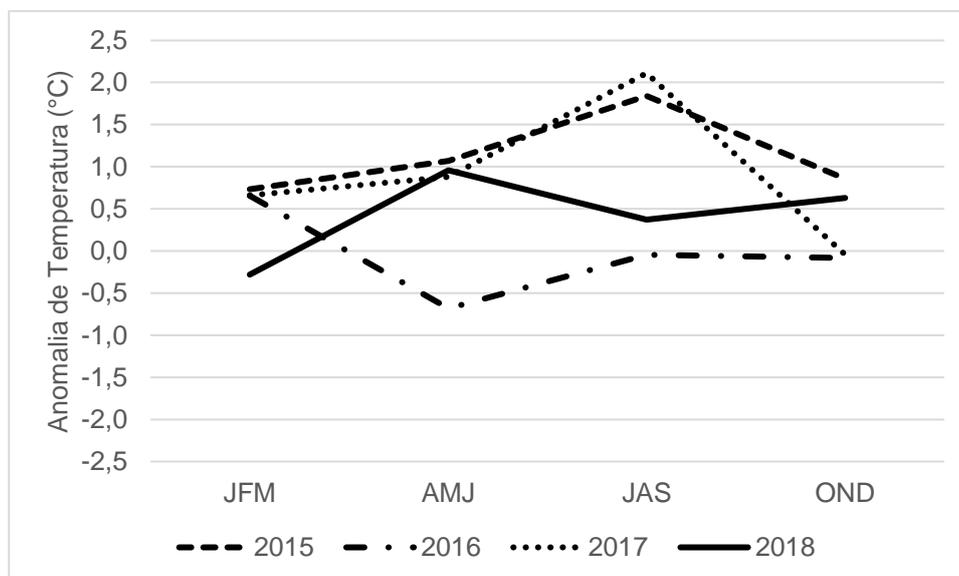
Figura 20 - Anomalias mensais de Temperatura Mínima da Região Sul do Brasil (2015-2018).



Fonte: Autora, 2019.

Ao observar as anomalias de T_{min} trimestrais (Figura 21), notamos o comportamento anual das anomalias de temperatura mínima por trimestre e com isso podemos buscar um padrão anual.

Figura 21 - Anomalias trimestrais de Temperatura Mínima da Região Sul do Brasil (2015-2018).



Fonte: Autora, 2019.

Pode-se verificar que no primeiro trimestre o ano de 2018 foi o único com registro de anomalias de temperatura negativas. Ao analisar o gráfico da Figura 21 notamos que os anos de 2015 e 2017 foram os que mais permaneceram com anomalias positivas, 2017 apresenta anomalias negativas em seu último trimestre. O ano de 2016 começa com anomalias positivas, mas nos próximos trimestres permanece com anomalias negativas.

Analisou-se também o comportamento dos estados que compõe a Região Sul, Tabela 8, e podemos observar que o estado que apresentou as anomalias anuais mais baixas foi o estado do Rio Grande do Sul, seguido pelo Paraná, o estado de Santa Catarina foi o que apresentou as maiores anomalias anuais.

Tabela 8 - Anomalias de Temperatura Mínima (°C) nos estados da Região Sul do Brasil (2015 – 2018). Valores mensais iguais superiores a 1,5°C grifados em vermelho, valores mensais iguais inferiores a -1,5°C grifados em azul. Valores anuais iguais ou superiores a 0,5°C grifados em vermelho e valores anuais negativos grifados em azul.

RS	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Ano
2015	0,7	0,7	0,4	-0,2	1,6	1,5	1,6	3,6	0,4	0,1	0,3	1,3	1,0
2016	1,7	-0,8	2,1	-1,1	-3,1	0,2	0,3	-1,0	-0,1	-0,6	0,6	0,5	-0,1
2017	0,5	1,2	0,0	-0,1	2,1	1,4	2,3	1,9	2,9	0,3	-1,3	0,7	1,0
2018	0,0	-0,4	-0,8	2,8	2,0	-1,7	0,5	-1,8	2,6	0,4	1,2	0,2	0,4
SC	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Ano
2015	1,8	0,8	0,6	0,2	1,6	1,8	2,1	2,7	1,3	1,0	1,1	1,3	1,3
2016	0,9	1,4	-0,1	2,0	-1,0	-2,9	0,2	0,6	-0,5	-0,3	-0,4	0,5	0,0
2017	0,7	1,3	0,4	-0,5	1,7	1,0	1,1	1,5	3,3	0,5	-0,8	0,5	0,9
2018	-0,1	-0,5	0,3	1,9	1,7	-0,7	0,8	-1,2	1,7	0,5	0,9	0,9	0,5
PR	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Ano
2015	1,6	0,5	0,3	0,3	1,3	1,7	1,7	1,7	1,8	1,4	0,9	1,1	1,2
2016	0,8	1,3	-0,2	2,1	-1,1	-2,9	0,2	0,6	-0,6	-0,1	-0,6	0,3	0,0
2017	0,6	1,0	0,4	-0,7	1,8	0,7	0,8	1,4	3,3	0,4	-1,0	0,5	0,8
2018	-0,3	-0,6	0,4	1,6	1,6	-0,7	0,8	-1,4	1,3	0,4	0,6	0,9	0,4

Fonte: Autora, 2019.

5.4 Análise de 2015

O ano de 2015 foi classificado pela NOAA como o segundo ano mais quente desde 1880, sendo influenciado por um El Niño, o ano ganhou destaque internacional pelas anomalias globais. Na Tabela 9, nota-se que o ano de 2015 tem seu início e término durante um evento de El Niño com intensidade consideravelmente alta.

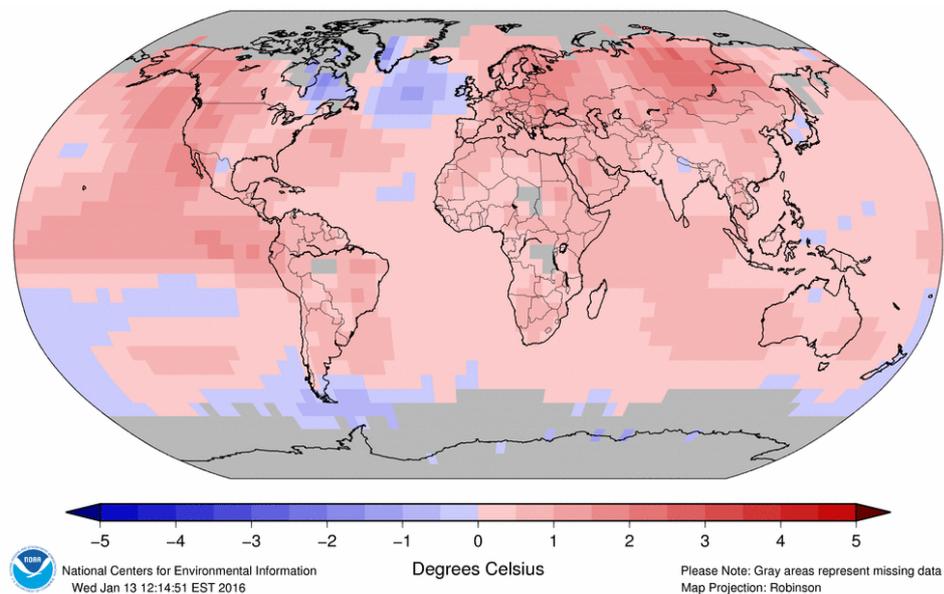
Tabela 9 - Meses com indicação do fenômeno ENOS. Períodos quentes (vermelho) e frios (azul) com base em um limiar de +/- 0,5°C para o Índice Oceânico Niño (ONI) 3.4.

Anos	DJA	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2015	0,6	0,6	0,6	0,8	1	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,5	2,6
2016	2,5	2,2	1,7	0,5	0,5	0	-0,3	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6
2017	-0,3	-0,1	0,1	0,3	0,4	0,4	0,2	-0,1	-0,4	-0,7	-0,9	-1
2018	-0,9	-0,8	-0,6	-0,4	-0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,7	0,9	0,8

Fonte: Modificado de NOAA, 2019.

Podemos observar as anomalias da TMA global para o ano de 2015 (Figura 22). Observando o mapa de anomalias disponibilizado pela NOAA fica evidente a alta distribuição das anomalias positivas no globo.

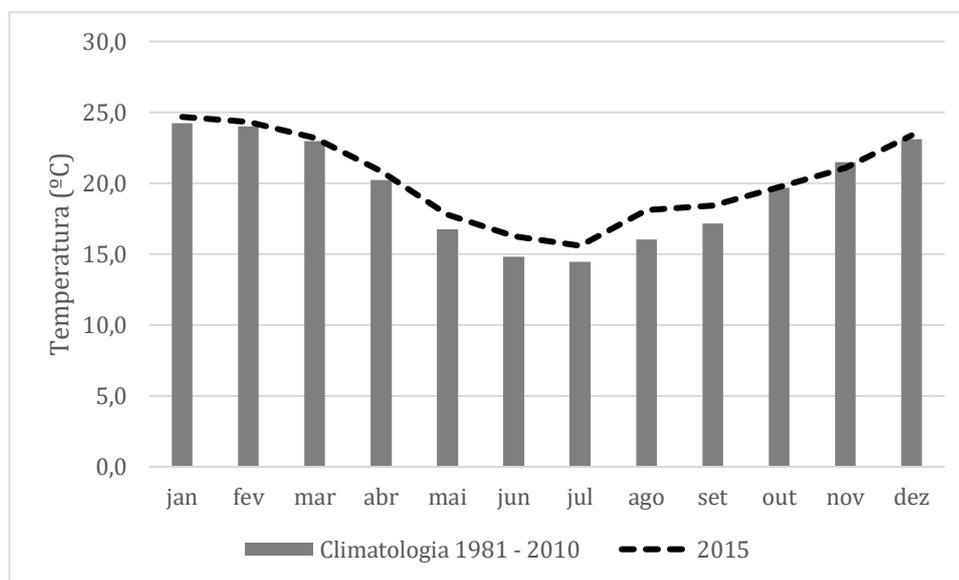
Figura 22 - Distribuição espacial das anomalias de TMA (°C) global em 2015.



Fonte: NOAA, 2016.

No ano de 2015 a Tmed observada ficou acima da Normal Climatológica da RSB, tendo registro de anomalias negativas apenas nos últimos dois meses do ano. Observando a Figura 23, nota-se a curva dos meses de maio a setembro acima do esperado pela Normal.

Figura 23 - Temperatura Média mensal de 2015 comparada à climatologia (1981-2010).



Fonte: Autora, 2019.

A média de anomalias de temperatura do ano de 2015 foi positiva (Tabela 10) apresentando a maior anomalia positiva na Tmin. Nota-se que o quarto trimestre do ano apresentou anomalias negativas, sendo o terceiro trimestre o com maiores anomalias positivas para o ano.

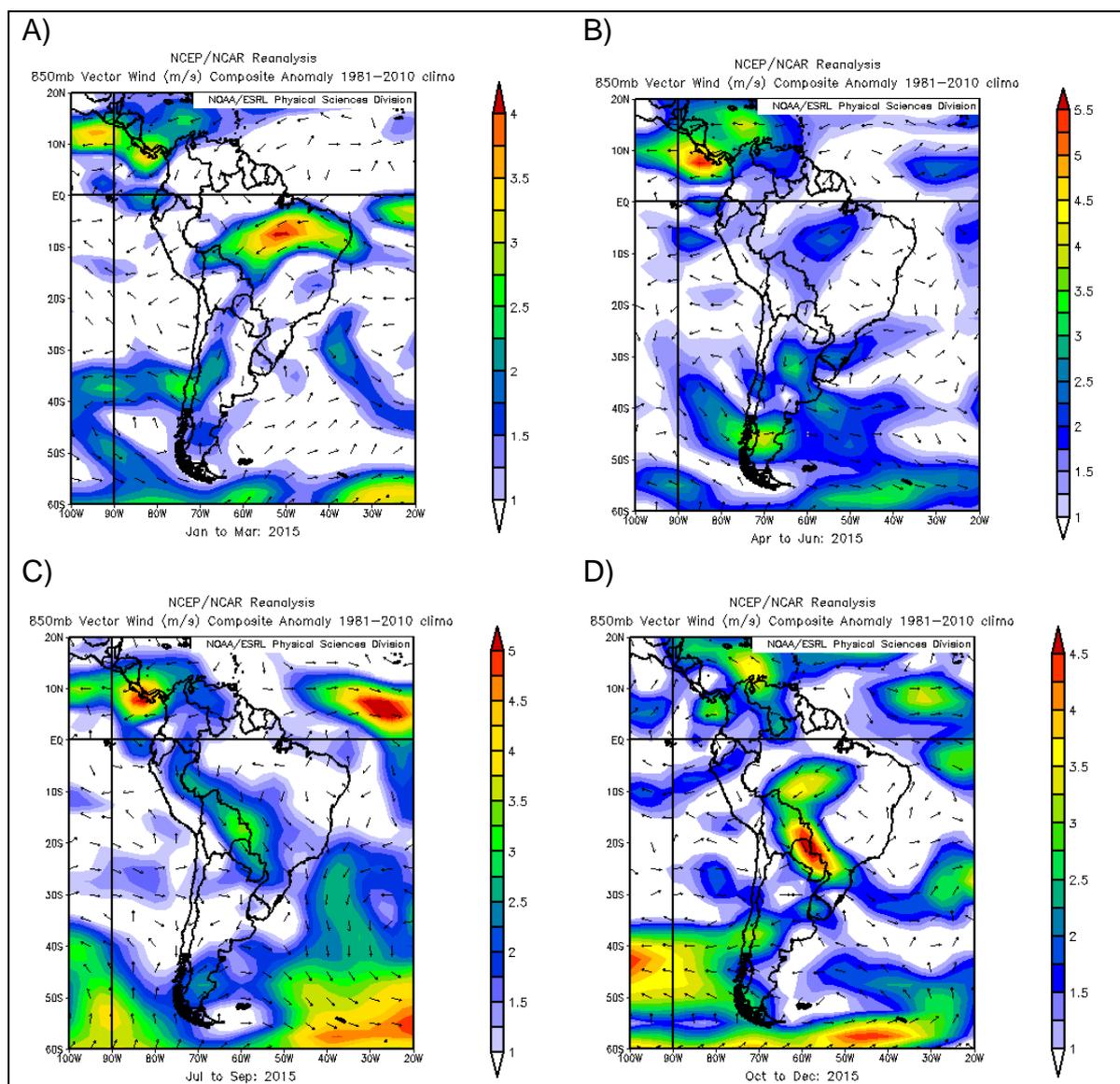
Tabela 10 – Anomalias de Temperatura Média, Máxima e Mínima (°C) na Região Sul do Brasil (2015). Valores mensais iguais ou superiores a 1,5°C grifados em vermelho. Valores anuais iguais ou superiores a 0,5°C grifados em vermelho.

2015	jan	fer	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ano
Média	0,5	0,3	0,2	0,6	1,0	1,4	1,1	2,1	1,2	0,0	-0,4	0,3	0,7
Máxima	-0,3	0,0	0,1	1,2	0,5	1,2	0,6	1,4	1,5	-0,6	-1,4	-0,7	0,2
Mínima	1,2	0,6	0,4	0,1	1,5	1,6	1,7	2,8	1,0	0,7	0,6	1,3	1,1

Fonte: Autora, 2019.

Na Figura 24 podemos identificar nos campos trimestrais do vetor vento em 850 hPa para o ano de 2015. No primeiro trimestre com anomalias positivas apesar de uma fraca advecção de ar de norte versus fraca advecção de sul (Figura 24A). Houve o predomínio da advecção de ar de norte/noroeste no segundo, terceiro e quarto trimestre (Figura 24B, C e D).

Figura 24 - Campos de anomalias trimestrais do vetor vento em 850 hPa em 2015. A) primeiro trimestre, B) segundo trimestre, C) terceiro trimestre e D) quarto trimestre.



Fonte: NOAA, 2019.

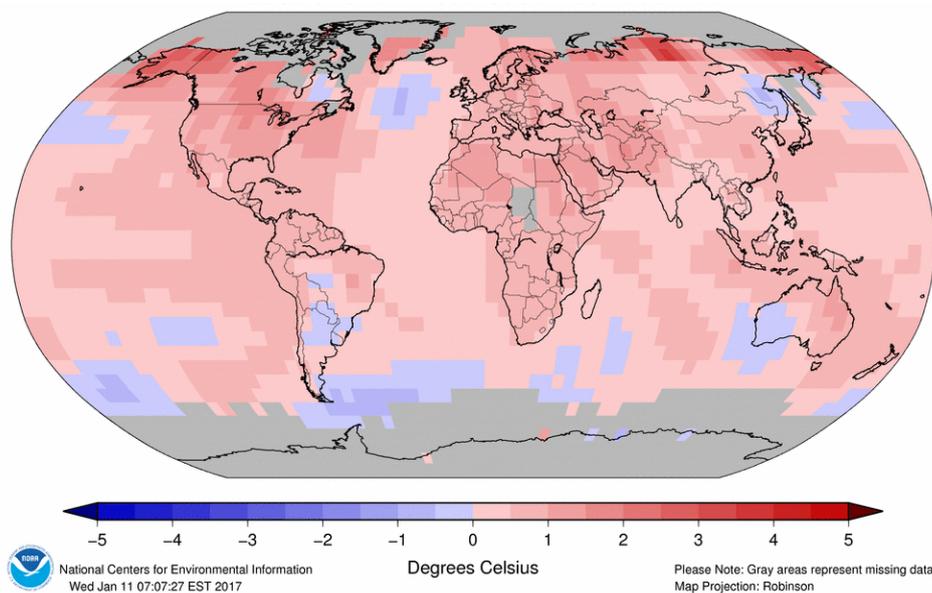
5.5 Análise de 2016

2016 foi classificado pela NOAA como o ano mais quente desde 1880, o ano ganhou destaque internacional por suas anomalias globais. O ano de 2016 tem seu início durante um período de EN e terminou em um período de LN.

Na Figura 25 podemos observar as anomalias da TMA global para o ano de 2016. Observando o mapa de anomalias disponibilizado pela NOAA fica evidente a

alta distribuição das anomalias positivas no globo, mas já chama atenção para parte da AS e da RSB, que apresentam anomalias negativas no período.

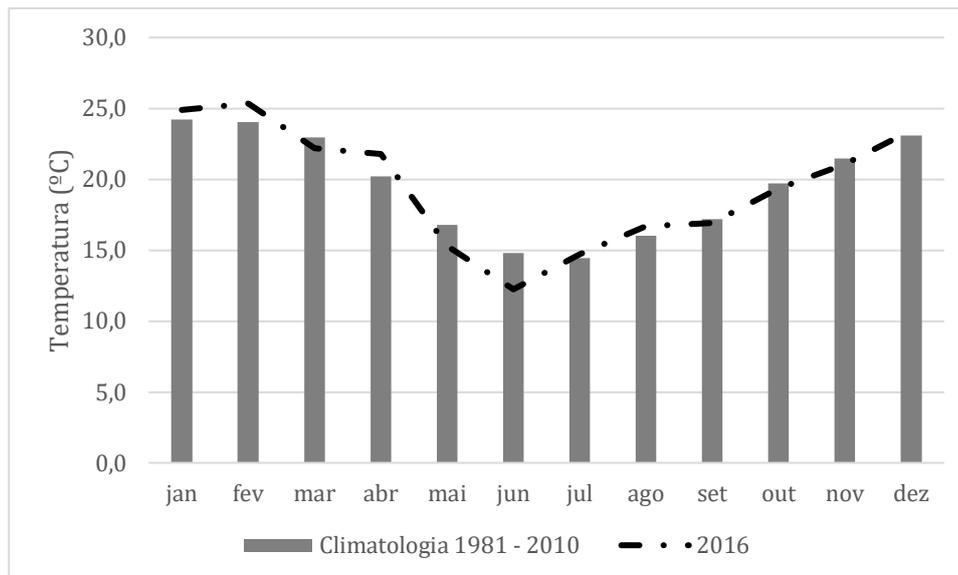
Figura 25 - Distribuição espacial das anomalias de TMA (°C) global em 2016.



Fonte: NOAA, 2017.

No ano de 2016 a TMA observada ficou abaixo da Normal Climatológica da RSB, tendo registro inferior à normal em seis meses. Nota-se a curva dos meses de maio e junho abaixo do esperado (Figura 26).

Figura 26 - Temperatura Média mensal de 2016 comparada à climatologia (1981-2010).



Fonte: Autora, 2019.

A média de anomalias de temperatura do ano de 2016 foi -0,1 (Tabela 11), apresentando anomalia neutra anual na T_{min} e mais meses com anomalias negativas na T_{med}. Nota-se que todos os trimestres do ano apresentaram anomalias negativas, sendo que o segundo trimestre foi o que apresentou anomalias negativas mais expressivas.

Tabela 11 – Anomalias de Temperatura Média, Máxima e Mínima (°C) na Região Sul do Brasil (2016). Valores mensais iguais ou superiores a 1,5°C grifados em vermelho, valores mensais iguais ou inferiores a -1,5°C grifados em azul. Valores anuais negativos grifados em azul

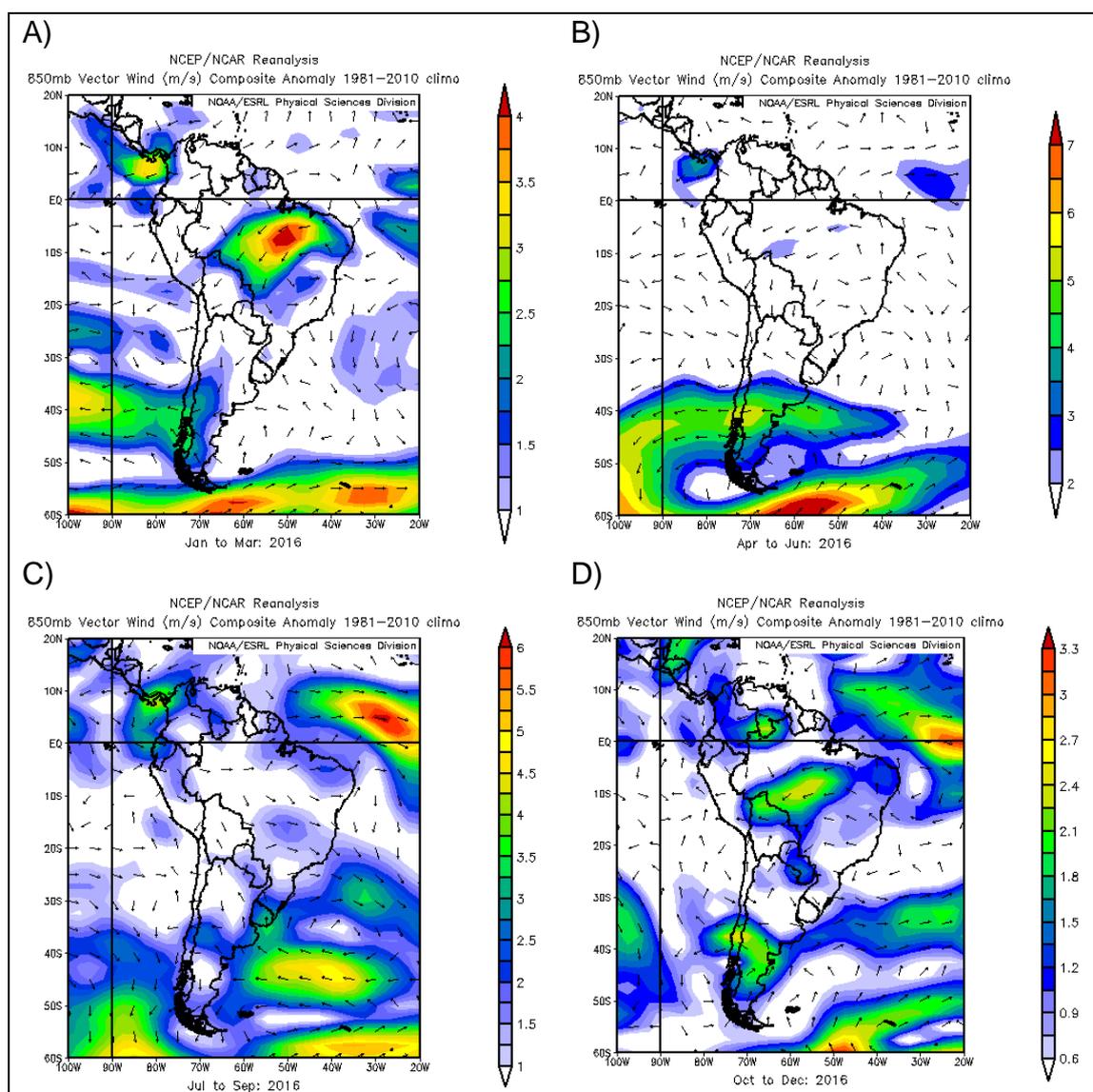
2016	jan	fer	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ano
Média	0,7	1,3	-0,8	1,6	-1,5	-2,6	0,3	0,7	-0,2	-0,3	-0,4	0,3	-0,1
Máxima	0,4	1,2	-1,1	1,1	-1,8	-2,2	0,3	0,9	0,3	-0,6	-0,2	0,2	-0,1
Mínima	0,9	1,5	-0,5	2,1	-1,1	-3,0	0,2	0,4	-0,8	-0,1	-0,6	0,5	0,0

Fonte: Autora, 2019.

Na Figura 27 podemos identificar nos campos trimestrais do vetor vento em 850 hPa para o ano de 2016. O primeiro trimestre apresentou uma fraca advecção de ar de norte (Figura 27A). O segundo trimestre apresentou advecção de ar subpolar (Figura 27B). No terceiro trimestre destaca-se a circulação ciclônica

induzindo advecção de ar subpolar (Figura 27C). Houve o predomínio advecção de ar de norte e interação/influência da ASAS no quarto trimestre (Figura 27D).

Figura 27 - Campos de anomalias trimestrais no vetor vento em 850 hPa de 2016. A) primeiro trimestre, B) segundo trimestre, C) terceiro trimestre e D) quarto trimestre.



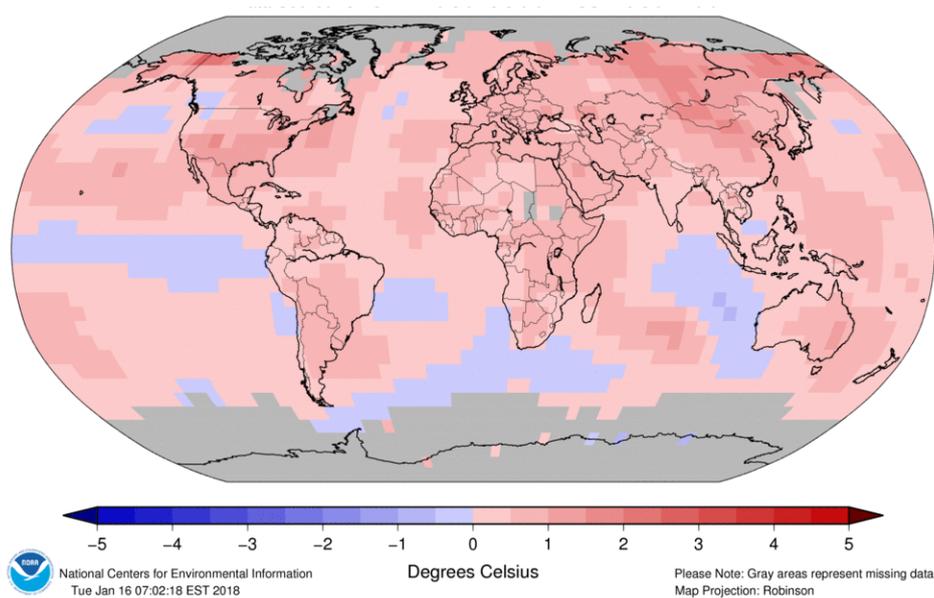
Fonte: NOAA, 2019.

Segundo JANTSCH (2019), o ano de 2016 apresentou um grande número de eventos ciclônicos na RSB, chegando ao total de 47 ciclones extratropicais no período, ficando entre os três anos com maior número de registros desde os anos 2000. A estação com mais registros de ciclones extratropicais em 2016 foi o Outono, com 16 registros, o dobro do registrado para a mesma estação em 2015.

5.6 Análise de 2017

O ano de 2017 foi classificado pela NOAA como o terceiro ano mais quente desde 1880. Podemos ver na Figura 28 que o ano de 2017 apresentou predomínio nas anomalias positivas, incluindo a AS e RSB.

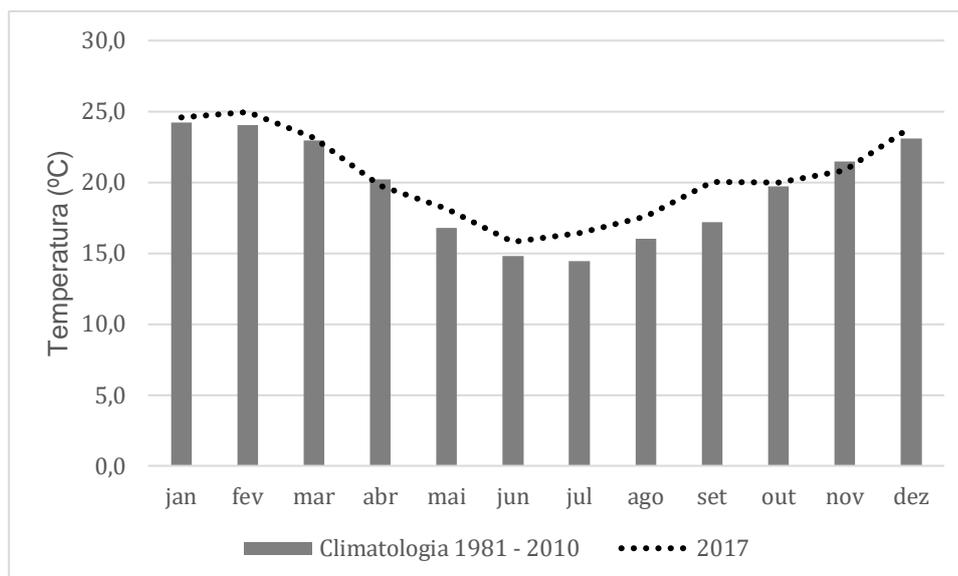
Figura 28 - Distribuição espacial das anomalias de TMA (°C) global em 2017.



Fonte: NOAA, 2018.

O ano de 2017 apresentou TMA superior à Normal Climatológica da RSB, tendo registro inferior à normal apenas nos meses de abril e novembro (Figura 29). Observa-se que de maio a setembro as temperaturas foram superiores ao esperado, sendo que setembro registrou-se 2,8°C acima da Normal.

Figura 29 - Temperatura Média mensal de 2017 comparada à climatologia (1981-2010).



Fonte: Autora, 2019.

A média de anomalias de temperatura do ano de 2017 foi positiva, Tabela 10, apresentando anomalias positivas mais altas na T_{min} e mais baixas na T_{max}. Nota-se que o terceiro trimestre registrou anomalias positivas mais altas, indicando um inverno ameno (Tabela 12).

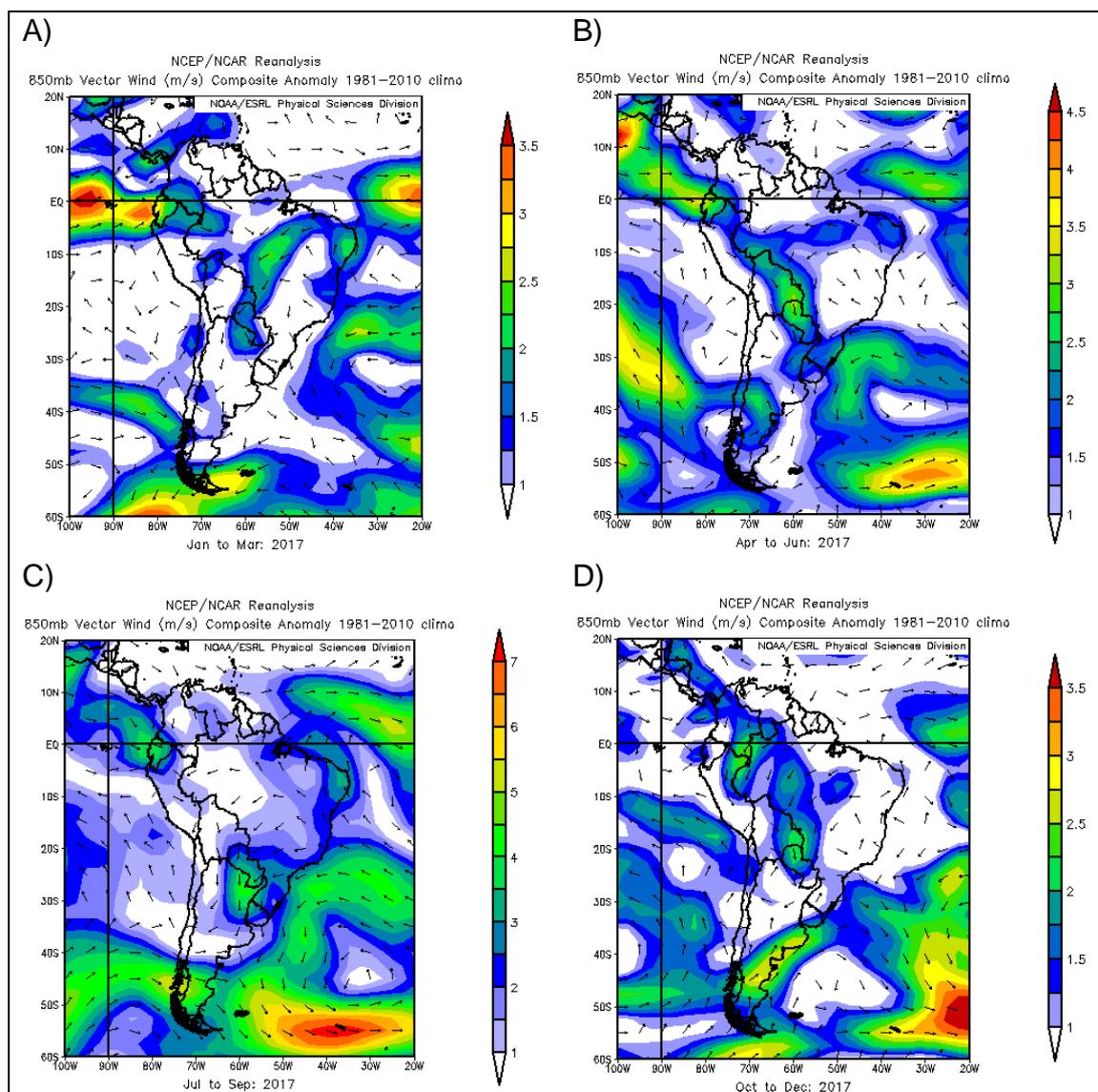
Tabela 12 – Anomalias de Temperatura Média (°C) na Região Sul do Brasil (2017). Valores mensais iguais ou superiores a 1,5°C grifados em vermelho. Valores anuais iguais ou superiores a 0,5°C grifados em vermelho.

2017	jan	fer	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ano
Média	0,4	0,9	0,1	-0,4	1,3	1,0	2,0	1,6	2,9	0,3	-0,6	0,8	0,8
Máxima	0,1	0,7	0,1	-0,6	0,8	0,9	2,4	1,5	2,6	0,2	-0,2	1,0	0,7
Mínima	0,6	1,2	0,2	-0,3	1,9	1,1	1,6	1,7	3,1	0,4	-1,1	0,6	0,9

Fonte: Autora, 2019.

Na Figura 30 podemos identificar nos campos trimestrais do vetor vento em 850 hPa para o ano de 2017. Nos três primeiros trimestres do ano houve o predomínio da advecção de ar de norte/nordeste/noroeste (Figura 30A, B e C). No quarto trimestre destaca-se a marcada circulação ciclônica (Figura 30D) localizada ao sul da área de estudo que contribuiu nas anomalias negativas observadas na T_{med}, T_{min} e T_{max} no mês de novembro.

Figura 30 - Campos de anomalias trimestrais do vetor vento em 850 hPa de 2017. A) primeiro trimestre de 2017, B) segundo trimestre, C) terceiro trimestre e D) quarto trimestre.

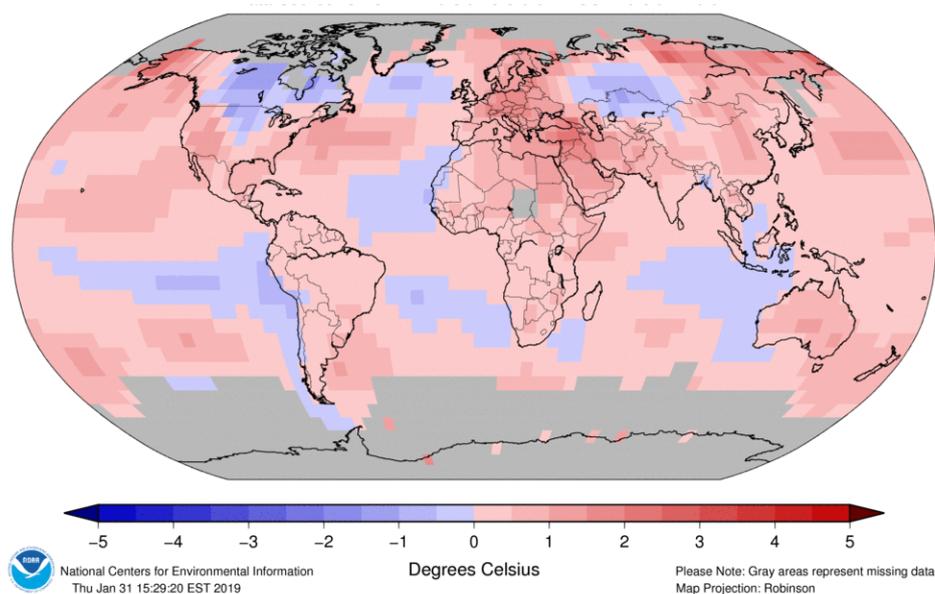


Fonte: NOAA, 2019.

5.7 Análise de 2018

O ano de 2018 foi classificado como o quarto ano mais quente desde 1880 (NOAA, 2019). Podemos observar anomalias negativas na costa oeste da AS e anomalias positivas menos intensas sobre a AS e a RSB (Figura 31).

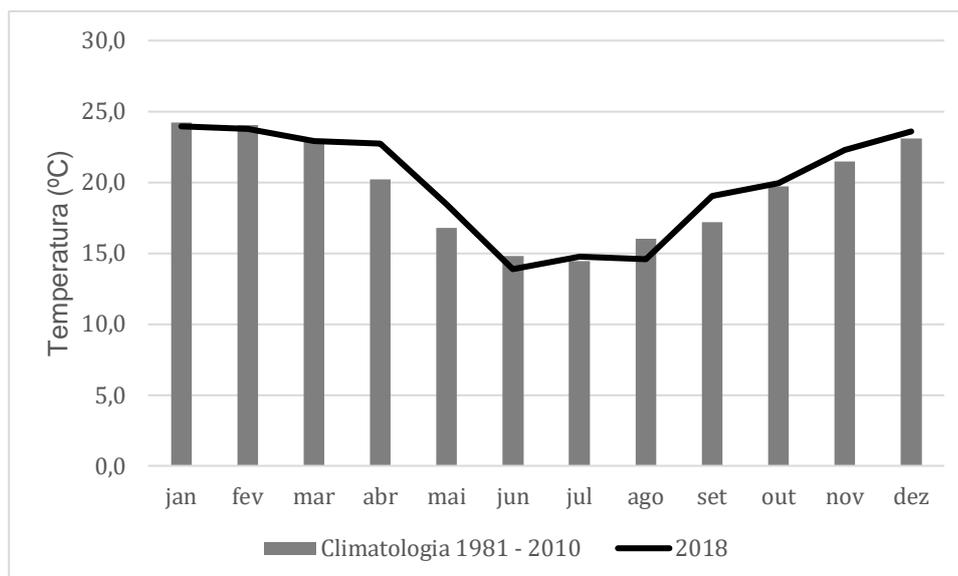
Figura 31 - Distribuição espacial das anomalias de TMA (°C) global em 2018.



Fonte: NOAA, 2019.

O ano de 2018 apresentou TMA observada superior à Normal Climatológica da RSB, tendo registro de anomalias negativas em quatro meses. Na Figura 32, podemos observar a curva do ano de 2018 em relação a Normal Climatológica, nota-se que os meses de junho e agosto foram os que apresentaram anomalias negativas mais expressivas e os meses de abril, maio e setembro os que apresentaram as maiores anomalias positivas.

Figura 32 - Temperatura Média mensal de 2018 comparada à climatologia (1981-2010).



Fonte: Autora, 2019.

A média de anomalias de temperatura do ano de 2018 foi positiva (Tabela 13), apresentando anomalias positivas anuais iguais (+0,4) para Tmed, Tmin e Tmax. Observando a Tabela nota-se que as anomalias negativas ocorreram nos três primeiros trimestres, enquanto que no quarto trimestre não houve nenhuma anomalia negativa.

Tabela 13 – Anomalias de Temperatura Média (°C) na Região Sul do Brasil (2015 – 2018). Valores mensais iguais ou superiores a 1,5°C grifados em vermelho, valores mensais iguais ou inferiores a -1,5°C grifados em azul. Valores anuais iguais ou superiores a 0,5°C.

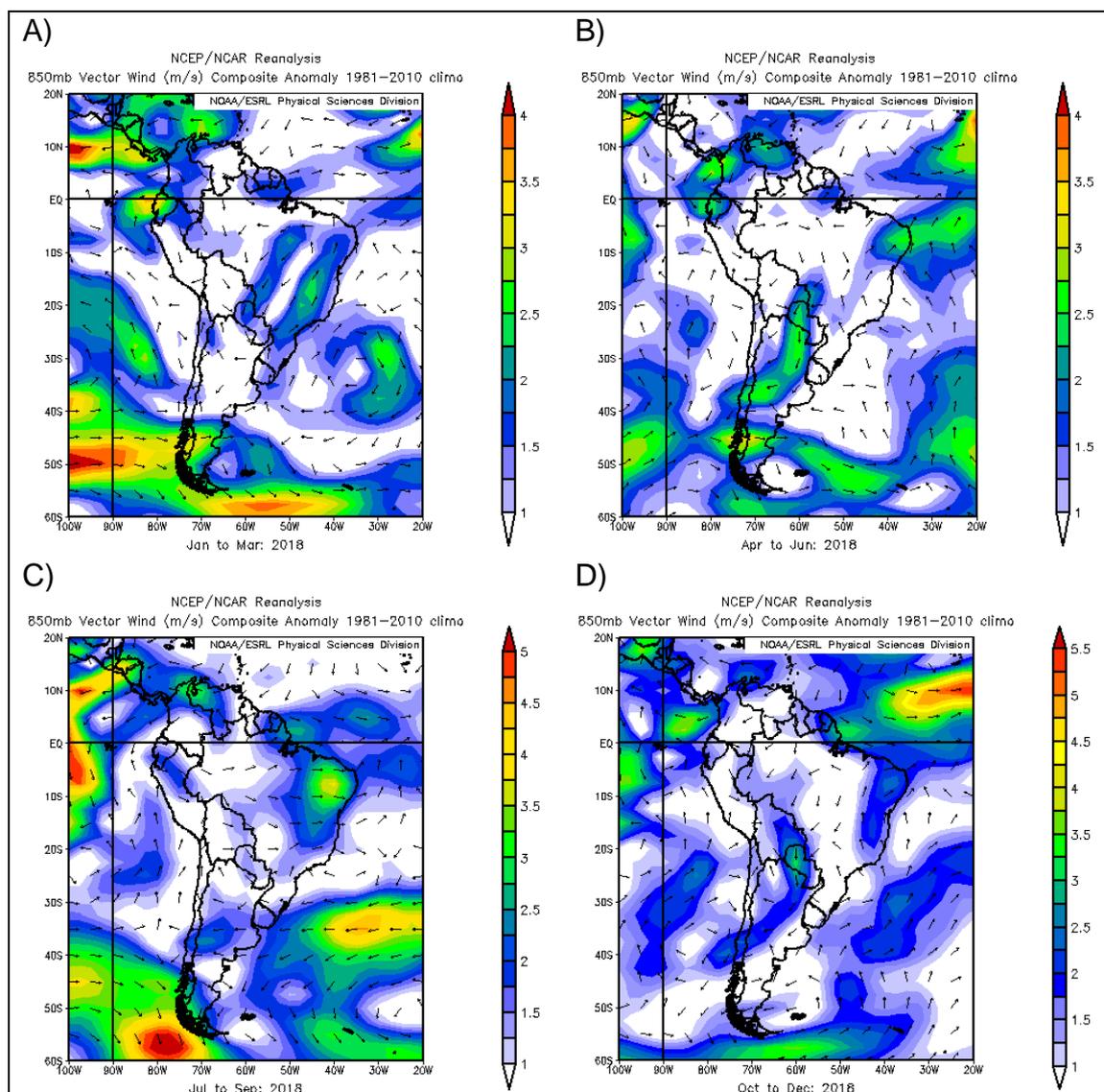
2018	jan	fer	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ano
Média	-0,3	-0,2	0,0	2,5	1,7	-0,9	0,3	-1,4	1,9	0,2	0,8	0,5	0,4
Máxima	-0,5	0,0	0,2	2,7	1,5	-0,7	0,0	-1,3	1,7	0,0	0,6	0,4	0,4
Mínima	-0,1	-0,5	-0,2	2,3	1,8	-1,2	0,6	-1,5	2,0	0,4	0,9	0,5	0,4

Fonte: Autora, 2019.

Na Figura 33 podemos identificar nos campos trimestrais do vetor vento em 850 hPa para o ano de 2015. No primeiro trimestre com presença de circulação ciclônica (Figura 33A). Houve o predomínio da advecção de ar de norte no segundo, trimestre (Figura 33B), explicando as anomalias positivas ocorridas nos meses de

abril e maio. O terceiro e quarto trimestres apresentaram advecção de ar subpolar (Figura 33C e D).

Figura 33 - Campos de anomalias no vetor vento em 850 hPa para os quatro trimestres de 2018. A) primeiro trimestre de 2018, B) segundo trimestre, C) terceiro trimestre e D) quarto trimestre.



Fonte: NOAA, 2019.

6 CONCLUSÕES

A localização da RSB favorece alterações diárias do tempo meteorológico, pois se encontra influenciada por massas de ar de origens subpolar e subtropical, preferencialmente, facilitando a passagem de sistemas frontais provocando precipitação e mudanças rápidas na temperatura. A geomorfologia da AS assim como a circulação primária e secundária da atmosfera também auxiliam para a formação de CCMs, passagem de sistemas frontais e ciclogênese na RSB. Esses fenômenos muitas vezes são responsáveis por condições de tempo severo e mudanças na temperatura na região, influenciados, também, pelo EN, LN e SAM de forma combinada ou não.

Segundo a NOAA o ano mais quente dos últimos 100 anos foi 2016 que apresentou anomalias anual de $1,2^{\circ}\text{C}$, seguido respectivamente pelos anos de 2015 com $1,1^{\circ}\text{C}$, 2017 com $1,1^{\circ}\text{C}$ e 2018 com $0,98^{\circ}\text{C}$. Para a RSB no período estudado o ano mais quente foi 2017 ($0,8^{\circ}\text{C}$), seguido por 2015 ($0,7^{\circ}\text{C}$) e 2018 ($0,4^{\circ}\text{C}$) e o mais frio foi o ano de 2016 ($-0,1^{\circ}\text{C}$).

As séries temporais de anomalias de TMA da RSB de 1901 – 2018 e 1981 – 2018 apresentam tendências de $0,0125^{\circ}\text{C a}^{-1}$ e $0,0222^{\circ}\text{C a}^{-1}$ respectivamente, perfazendo assim um aumento de $1,47$ e $1,07^{\circ}\text{C}$. A series temporais apresentadas condizem com os estudos do PBMC que apresenta um aumento entre $0,5$ e 1°C até o ano de 2040.

No ano de 2016 a RSB apresentou anomalias de Tmed negativas nos meses de março, maio, junho, setembro, outubro e novembro o que fez com que o ano apresentasse anomalia de Tmed negativa ($-0,1^{\circ}\text{C}$). O ano de 2016 foi o mais frio da análise para RSB (2015-2018). As anomalias registradas no ano de 2016 estão relacionadas a circulação atmosférica da RSB. A região apresentou neste ano a passagem de ciclones extratropicais acima da média, assim como fenômenos de maior intensidade. Os campos de anomalias de vento (850 hPa) identifica nos três primeiros trimestres a influência de massas de ar de sul (mares de Weddell e Belingshausen), favorecendo as anomalias negativas registradas em 2016.

O ano de 2017 apresentou anomalias positivas mais altas no segundo ($0,6^{\circ}\text{C}$) e terceiro ($2,1^{\circ}\text{C}$) trimestre do ano. Os campos de anomalias do vetor vento (850 hPa) mostram que os primeiros três trimestres de 2017 ocorreram anomalias que favoreceram a advecção de ar de norte/nordeste, que trazem para a RSB calor

e umidade. Os campos de anomalias do vetor vento (850 hPa) também mostram que o quarto trimestre foi marcado por circulação ciclônica, explicando, assim, as anomalias negativas na Tmed em novembro (-0,6°C). O ano de 2017 foi o mais quente da análise para RSB (2015-2018).

Em 2015 houve registro de anomalia negativa de Tmed no mês de novembro (-0,4°C) e o ano apresentou anomalias de TMA de 0,7°C. As anomalias do vetor vento (850 hPa) identificam no primeiro trimestre apresenta uma fraca advecção de ar de norte, ao contrário os outros trimestres de 2015, tiveram forte advecção de ar de norte/nordeste/noroeste.

O ano de 2018 apresentou anomalias anuais positivas de 0,4°C de Tmed, Tmax e Tmin, anomalias de Tmed negativas nos meses de janeiro (-0,3°C), fevereiro (-0,2°C), junho (-0,9°C) e agosto (-1,4°C).

Analisando as anomalias de TMA da RSB no período de 1981 a 2018 classificou-se em ordem decrescente: 2017 (1°), 2015 (5°), 2018 (10°) e 2016 (33). Portanto o ano de 2017 acompanhou a classificação da NOAA por estar entre os 4 anos mais quentes do século. Os anos de 2017, 2015 e 2018 acompanham a classificação da NOAA quando consideramos os 10 anos mais quentes. Destaca-se que 2016, ano mais quente dos últimos 100 anos, não registrou a mesma condição devido a ao comportamento da circulação atmosférica entre a RSB e a Península Antártica.

REFERÊNCIAS

AQUINO, Francisco Eliseu. Conexão climática entre o modo anular do Hemisfério Sul com a Península Antártica e o sul do Brasil. 2012, 121 f. Tese (Doutorado em ciências) - Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, Porto Alegre, 2012.

BARRY, R.G. e CHORLEY, R.J. 2012. **Atmosfera, Tempo e clima**. Bookman: Porto Alegre, 528 pp.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. . **Território**. 2004. Disponível em: <<https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>>. Acesso em: 05 set. 2019.

CAVALCANTI, I. F. A. 1996. **Episódios El Niño/ Oscilação Sul durante a década de 1986 a 1996 e suas influências sobre o Brasil**. In: Climanálise Especial: edição comemorativa de 10 anos. São José dos Campos-São Paulo, INPE/CPTEC, p.52-64.

CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque et al (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CLIMATIC RESEARCH UNIT UNIVERSITY OF EAST ANGLIA (CRU) [Phil Jones, Ian Harris]. **CRU Time Series (TS) high resolution gridded datasets**. NCAS British Atmospheric Data Centre, 2008. Disponível em: <http://badc.nerc.ac.uk/view/badc.nerc.ac.uk__ATOM__dataent_1256223773328276>Acesso em: 01 nov. 2019.

GRIMM, A. M. 2009^a. Clima da Região Sul do Brasil. In: Cavalcanti, I. F. A.; Ferreira, N. J.; Silva, M. G. A. J. e Silva Dias, M. A. F. (org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo, Oficina de Textos.

IBGE. **Anuário estatístico do Brasil**. v. 67, 2007. ISSN 0100-1299. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/20/aeb_2009.pdf> . Acesso em: 27 de agosto de 2019.

IPCC, 2014: **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp

IPCC, 2019: *Summary for Policymakers*. In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*.

MORAES, F. D. S. **Ambiente atmosférico favorável ao desenvolvimento de Complexos Convectivos de Mesoescala no Sul do Brasil**. Dissertação de Mestrado, no Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016, 119 p.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989, 422 p.

NIMER, E. Clima. In: **Geografia do Brasil** - Região Sul. Rio de Janeiro: IBGE/SERGRAF. v.5. 1977. p. 35-79.

NIMER, Edmon. 1990: Clima. In: **Geografia do Brasil** – Região Sul. Rio de Janeiro: IBGE. Vol 2. p.151-187

NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration*. **National Centers for Environmental Information: Climate at a Glance**. Disponível em: <<https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series/globe/land/1/6/1880-2019>>. Acesso em: 11 set. 2019.

NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration*. **ESRL: Physical Sciences Division: Monthly Composites**. Disponível em: <<https://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>>. Acesso em: 11 set. 2019.

NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration*. **Climate Prediction Center: Historical El Niño / La Niña episodes (1950-present)**. Disponível em: <https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php>. Acesso em: 11 set. 2019.

NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration* (Estados Unidos). **2014-2016 El Niño Assessment Report: An Overview of the Impacts of the 2014-16 El Niño on the U.S.- Affiliated Pacific Islands (USAPI)**. 2018. Disponível em: <https://www.ncdc.noaa.gov/sites/default/files/attachments/ENSOTT_Report_02.26.2018%20FINAL%20draft.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2019.

NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration*. **National Centers for Environmental Information: Anomalies vs. Temperature**. Disponível em: <<https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/dyk/anomalies-vs-temperature>>. Acesso em: 05 set. 2019.

NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration*. **National Climatic Data Center**: Global Surface Temperature Anomalies. Disponível em: <<https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/faq/anomalies.php>>. Acesso em: 05 set. 2019.

NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration*. *National Centers for Environmental Information, State of the Climate: **Global Climate Report for Annual 2015***. Disponível em: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201513>. Acesso em: 30 de agosto de 2019.

NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration*. *National Centers for Environmental Information, State of the Climate: **Global Climate Report for Annual 2016***. Disponível em: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201613>. Acesso em: 30 de agosto de 2019.

NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration*. *National Centers for Environmental Information, State of the Climate: **Global Climate Report for Annual 2017***. Disponível em: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201713>. Acesso em: 30 de agosto de 2019.

NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration*. *National Centers for Environmental Information, State of the Climate: **Global Climate Report for Annual 2018***. Disponível em: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201813>. Acesso em: 30 de agosto de 2019.

PBMC, 2014: **Base científica das mudanças climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Ambrizzi, T., Araujo, M. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 464 pp.

SATYAMURTY, Prakki; NOBRE, Carlos A.; DIAS, Pedro L. Silva. *South America. In: **Meteorology of the southern hemisphere***. American Meteorological Society, Boston, MA, 1998. p. 119-139.

SANSIGOLO, C. A.; DINIZ, G. B.; MACHADO, J. P. **Impacto das fases extremas de ENOS nas temperaturas médias sazonais do Rio Grande do Sul**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14 (CBMET). Florianópolis, SC.

STRAHLER, Arthur; STRAHLER, Alan. *Geografia Física*, Ediciones Omega. 1989.

SHIMIZU, K. *Dynamics of long baroclinic Rossby waves along 26° N in the Atlantic*. In: **EGU General Assembly Conference Abstracts**. 2012. p. 4886.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras. São Paulo: Nobel, **1980**. 374 p.

TURNER, John; MARSHALL, Gareth J. ***Climate change in the polar regions***. cambridge university press, 2011.

VIANA, D.R.; AQUINO, F.E.; BURGOBRAGA, R. e FERREIRA, N.J. ***Mesoscale Convective Complexes in Rio Grande do Sul between October and December of 2003 and associated precipitation***. Revista Brasileira de Meteorologia, v.24, n. 3, 2009, p. 276-291

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.

Walker, G.T. 1924. Correlation in seasonal variations of weather, IX: A further study of world weather. **Memoirs of the India Meteorological Department**, Calcuta, v 24(9), p. 275–332.

Walker, G.T. 1928. World weather 111. **Memoirs of the Royal Meteorological Society**, v.11 (17), p. 97–106.

Walker, G.T. 1937. World weather VI. **Memoirs of the Royal Meteorological Society**, v. 4 (39), p. 119–139.

Walker, G.T. e Bliss, E.W. 1930, World weather IV. **Some Applications to Seasonal Forecasting, Memoirs of the Royal Meteorological Society**, v. 39 (24), p. 81–95.

Walker, G.T. e Bliss, E.W. 1932 World Weather V. **Memoirs of the Royal Meteorological Society**, v. 4(36), p. 53–84.

WALLACE, J. A.; HOBBS, P. V. **Atmospheric Science: An Introductory Survey**, 2.ed. San Diego: Academic Press. 2006. 504p. ISBN 0-12-732951-X.

WMO - World Meteorological Organization. **Weather climate water: Frequently Asked Questions (FAQ)**. Disponível em: <http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/faq/faq_doc_en.html>. Acesso em: 10 set. 2019.

WMO - World Meteorological Organization (Comp.). **High-level synthesis report of latest climate science information convened by the Science Advisory Group of the UN Climate Action Summit 2019**. Geneva: United In Science, 2019. Disponível em: <<https://ane4bf-datap1.s3-eu-west->

1.amazonaws.com/wmocms/s3fs-
public/ckeditor/files/United_in_Science_ReportFINAL_0.pdf?XqiG0yszsU_sx2vOeh
OWpCOkm9RdC_gN>. Acesso em: 02 nov. 2019.