

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

Arthur Nicolas da Silva Müller

**RELAÇÃO ENTRE A OSCILAÇÃO ANTÁRTICA E O REGIME DE
PRECIPITAÇÃO NO SUL DO BRASIL NO PERÍODO DE 2001-2020.**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
Curso de Graduação em Meteorologia da
Universidade Federal de Santa Catarina para
obtenção do Grau de Bacharel em Meteorologia.
Orientador(a): Prof. Dr. Mário Francisco Leal de
Quadro.

Florianópolis
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Müller, Arthur Nicolas da Silva

Relação entre a Oscilação Antártica e o regime de precipitação no sul do Brasil no período de 2001-2020. / Arthur Nicolas da Silva Müller ; orientador, Mário Francisco Leal de Quadro, 2022.

53 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Graduação em Meteorologia, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Meteorologia. 2. Meteorologia Sinótica. 3. Precipitação. 4. Teleconexões. 5. sul do Brasil. I. Quadro, Mário Francisco Leal de. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Meteorologia. III. Título.

Arthur Nicolas da Silva Müller

**RELAÇÃO ENTRE A OSCILAÇÃO ANTÁRTICA E O REGIME
DE PRECIPITAÇÃO NO SUL DO BRASIL NO PERÍODO DE 2001-2020**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Meteorologia e aprovado em sua forma final pelo Programa de Graduação em Meteorologia do Departamento de Física e Meteorologia da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 15 de Março de 2022.

Prof^a. Dr^a. Marina Hirota Magalhães
Coordenadora do Curso de Meteorologia

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Mario Francisco Leal de Quadro
Orientador
Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC

Prof. Dr. Wendell Rondinelli Gomes Farias
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Michel Nobre Muza
Membro
Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC

Dedico este trabalho ao meu padrinho Tomé e madrinha Maria, pois sempre me apoiaram e através de seus ensinamentos ajudaram a formar meu caráter, sem eles eu não estaria realizando meu sonho de me tornar meteorologista.

Dedico este trabalho também, aos meus familiares, amigos e professores(as) que me apoiaram durante esses anos, em especial a Dra. Marina Hirota Magalhães que foi companheira ao qual estive sempre me ouvindo e aconselhando nos bons e maus momentos, sendo esta a pessoa que abriu a primeira porta para o mundo da pesquisa, sem você seria difícil ter a resiliência de chegar ao final desta jornada, muito obrigado.

AGRADECIMENTOS

A minha Mãe Dolisete, ao meu Pai Romoaldo e aos meus irmãos Augusto e Matheus por estarem sempre comigo.

Amo vocês!

Gostaria de agradecer ao Sr. Bruno Ferrari pela oportunidade ofertada na InFlux English School, foram 3 anos de muito aprendizado e boas lembranças.

Miss you guys, awesome team!

Ao meu orientador e amigo Dr. Mario Francisco Leal de Quadro pela paciência, ensinamentos e oportunidades durante todo esse tempo.

Muito obrigado!

Ao Sr. Frederico Ruddorf pela oportunidade de estagiar no Centro Integrado de Gerenciamento de Riscos (CIGERD) / DEFESA CIVIL-SC, foram 3 anos de uma parceria bem produtiva que amplificou meus conhecimentos na área de *nowcasting*.

Muito obrigado!

Ao Dr. Giovanni Dollif pela oportunidade de bolsa PIBIC/CNPq no Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), esse período de 1 ano foi fantástico e só tenho a agradecer.

Muito obrigado!

A Elen Daiane Pelissaro, pelo apoio e suporte nos estudos relacionados a AAO.

Muito obrigado!

Aos colegas e amigos de graduação Gabriel Luan Rodrigues e Vitor Goede por todo suporte e apoio, além da amizade.

Muito obrigado!

Ao meu amigo (irmão) André Stein Schwinden e Karina Flávia Martins, pela motivação e suporte na época de estudos para o ingressar na universidade, sem vocês esse sonho não seria possível.

Muito obrigado!

Aos meu amigos (irmãos) João Vitor Marcílio, Carlos Henrique Machado, Mario Felipe Battistotti e Eliakin Gregório Ceola pela amizade sincera e parcerias, sempre estão comigo na tempestade e na bonança.

Muito obrigado!

Aos meus amigos e colegas de graduação Roseli de Oliveira, Jhosenny Santos, Matheus Bonifácio Pamplona, Huwey Lee, Patrícia Claumann, Murilo Fretta José e Piter Scheuer pela amizade e suporte nas disciplinas, unidos somos mais fortes.

Muito obrigado!

RESUMO

Este trabalho analisa a relação entre o regime de precipitação sobre o sul do Brasil e a Oscilação Antártica. Em 1990 foi definida uma nova oscilação no Hemisfério Sul (HS), denominada de *Antarctic Oscillation* (AAO - Oscilação Antártica em português), que se refere à alternância de massa atmosférica entre a pressão de superfície em latitudes médias e a pressão em superfície em altas latitudes. Um índice foi construído a partir das anomalias de altura geopotencial em 700 hPa, chamado *Antarctic Oscillation Index* (AOI - Índice Oscilação Antártica em português). Esta oscilação é um modo da variabilidade da circulação atmosférica nos extratropicos do HS, conhecida também como *Southern Annular Mode* (SAM - Modo Anular Sul em português), na qual possui como principais características a não-sazonalidade, uma estrutura zonal simétrica e perturbações de altura geopotencial de sinais opostos na Antártica e no cinturão zonal centrado próximo de 45°S de latitude. Para elaboração da análise foram utilizados dados diários de precipitação do MERGE para elaborar uma correlação espacial com os dados diários de Índice de Oscilação Antártica (AOI), que é um índice diário construído a partir das anomalias de altura geopotencial em 700 hPa, no intuito de achar padrões para assim analisar a influência desta oscilação no regime de precipitação na região sul do Brasil. O Método de correlação utilizado foi o de Pearson, essa correlação resulta em um limiar de valores (-1 e 1), onde os sinais positivos/negativos significam que as relações entre as variáveis são diretamente/inversamente proporcionais e o valor numérico é a força da correlação.

Palavras-chave: Oscilação Antártica, precipitação, teleconexão, Pearson, sul do Brasil.

ABSTRACT

This work analyzes the relationship between the precipitation regime over southern Brazil and the Antarctic Oscillation. In 1990, a new oscillation was defined in the Southern Hemisphere (HS), called the Antarctic Oscillation, which refers to the alternation of atmospheric mass between the surface pressure at mid-latitudes and the surface pressure at high latitudes. An index was constructed from the geopotential height anomalies at 700 hPa, called the Antarctic Oscillation Index. This oscillation is a mode of atmospheric circulation variability in the extratropics of the HS, also known as Southern Annular Mode, in which its main characteristics are non-seasonality, a symmetrical zonal structure and geopotential height perturbations of opposite signs in Antarctica and the zonal belt centered near 45°S latitude. For the elaboration of the analysis, daily precipitation data from the MERGE were used to elaborate a spatial correlation with the daily data of the Antarctic Oscillation Index (AOI), which is a daily index constructed from the height anomalies. geopotential at 700 hPa, in order to find patterns to analyze the influence of this oscillation on the precipitation regime in southern Brazil. The correlation method used was Pearson's, this correlation results in a threshold of values (-1 and 1), where the positive/negative signs mean that the relationships between the variables are directly/inversely proportional and the numerical value is the strength of the correlation.

Keywords: Antarctic Oscillation, precipitation, teleconnection, Pearson, southern Brazil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.a - Índice diário de SAM construído a partir de anomalias diárias de altura geopotencial em 700 mb ao sul de 20°S	24
Figura 1.b - Fase positiva de SAM, o <i>loading pattern</i> de SAM foi definido como o <i>leading mode</i> da análise de EOF da altura média mensal de 700 hPa durante o período 1979-2000	24
Figura 2 - Médias trimestrais do índice ONI entre os anos de 2000 e 2022. Períodos quentes (vermelho) e frios (azul) com base em um limite de +/- 0,5°C	29
Figura 3 - Localização das 197 estações pluviométricas utilizadas	31
Figura 4 - Mapa de tendência de precipitação e Índice de Concentração de Precipitação anual, no período de 1976 a 2015, para a região de RSB	32
Figura 5 - Mapa sazonal de tendência de precipitação, no período de 1976 a 2015, para RSB	33
Figura 6 - Mapa sazonal de tendência do Índice de Concentração de Precipitação, no período de 1976 a 2015, para RSB	34
Figura 7 - Representação do mapa da região sul do Brasil juntamente com suas áreas de fronteira com o oceano Atlântico Sul, Uruguai, Argentina, Paraguai e os estados brasileiros do Mato Grosso do Sul e São Paulo	35
Figura 8 - Mancha resultante do cálculo de correlação de precipitação diária versus índice diário de Oscilação antártica, aplicado de forma mensal. Padrões caracterizando dipolo frequentemente encontrados nos resultados	39
Figura 9 - Mancha resultante do cálculo de anomalia de precipitação diária com os dados diários do MERGE aplicado de forma mensal. Padrões de precipitação referente ao padrão DIPOLO da AAO	39
Figura 10 - Mancha resultante do cálculo de correlação de precipitação diária versus índice diário de Oscilação antártica, aplicado de forma mensal. Padrão de Polo não é encontrado tão frequentemente, porém ao menos uma vez por ano se manifesta dessa maneira	40
Figura 11 - Mancha resultante do cálculo de anomalia de precipitação diária com os dados diários do MERGE aplicado de forma mensal. Padrões de precipitação referente ao padrão POLO da AAO	41

- Figura 12 - Mancha resultante do cálculo de correlação de precipitação diária versus índice diário de Oscilação Antártica, aplicando de forma mensal. É possível perceber em alguns trimestres a progressão de correlação vindo de sudoeste em direção a nordeste 42
- Figura 13 - Mancha resultante do cálculo de anomalia de precipitação diária com os dados diários do MERGE aplicado de forma mensal. Padrões de precipitação referente ao padrão ONDA da AAO 43
- Figura 14 - Gráfico referente a análise de passagens de Frentes Fria sobre o estado de Santa Catarina. Número do caso referente a unidade dentre os 54 casos analisados 45

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Dados referentes às datas mensais dos padrões encontrados na correlação entre anomalia de precipitação e AOI em RSB. Hachurados em branco, azul e vermelho correspondendo respectivamente a fase neutra, La Niña e El Niño. 44
- Tabela 2. Datas referentes aos 54 casos de passagem de Frentes Fria sobre o estado de Santa Catarina. Hachurados vermelho, branco e azul correspondendo respectivamente a El Niño, fase neutra e La Niña. 45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAO - Antarctic Oscillation
AOI - Antarctic Oscillation Index
BNOA - Baixa do Noroeste Argentino
CCM - Complexo Convectivo de Mesoescala
CFSR - Climate Forecast System Reanalysis
CPC - Climate Prediction Center
DCP's - Data Collection Platforms
ENOS - El Niño Oscilação Sul
EOF - Empirical Orthogonal Function
FF - Frente Fria
GPM - Global Precipitation Measurement
GCM - Global Couple Model
HN - Hemisfério Norte
HS - Hemisfério Sul
IFF - Índice de Frente Fria
IMERG - Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM
NAO - North Atlantic Oscillation
NAL - Northwestern Argentinean Low
NCAR - National Center for Atmospheric Research
NCEP - National Center for Environmental Prediction
NOAA - National Oceanic Atmospheric Administration
NPO - North Pacific Oscillation
ONI - Oceanic Niño Index
PCI - Precipitation Concentration Index
PDO - Pacific Decadal Oscillation
PNA - Pacific North America
PSA - Pacific South America
RSB - Região Sul do Brasil
SAM - Southern Annular Mode
SO - Southern Oscillation
SYNOP - Surface Synoptic Observations
TSM - Temperatura da Superfície do Mar

LISTA DE SÍMBOLOS

X = valor assumido pela variável independente (AOI)

Y = valor assumido pela variável dependente (precipitação diária)

Σ = somatório

\bar{X} = média aritmética simples dos valores de X

\bar{Y} = média aritmética simples dos valores de Y

r = coeficiente de correlação de Pearson

S_x = desvio padrão da variável X

S_y = desvio padrão da variável Y

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	20
1.1 Justificativa	22
1.2 Objetivo Geral	22
1.2.1 Objetivo Específicos	22
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 Oscilação Antártica	23
2.2 Ciclones Extratropicais	26
2.3 Ondas de Rossby	27
2.4 Correntes De Jato	27
2.5 Fenômeno ENOS	28
2.6 Sistemas Frontais	29
2.7 Regime De Precipitação Na Região Sul Do Brasil	30
3. DADOS E METODOLOGIA	35
3.1 Área De Estudo	35
3.1.2 Dados Utilizados	35
3.1.3 Método Estatístico	37
3.2 Dados para Análise da passagem de Frentes Frias versus AOI sobre RSB	38
4. RESULTADOS E ANÁLISE	39
5. CONCLUSÕES	46
6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	47
REFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

A Região Sul do Brasil (RSB) situa-se entre as latitudes 22°30'S e 33°45'S e as longitudes 57°59'W e 48°00'W, ocupando cerca de 7% do território brasileiro. Apresenta-se com altitude variando entre o nível do mar na costa litorânea (Oceano Atlântico Sul) chegando até 1.922 metros de altitude nas serras. O relevo é composto de encostas, serras, planícies (costeiras e interiores), vales de rios e planaltos. O clima caracteriza-se por ser predominantemente mesotérmico e sem estação seca com influência de sistemas de latitudes médias, no qual frentes frias e os sistemas convectivos de mesoescala são os principais causadores de chuvas durante o ano.

A precipitação é um dos elementos meteorológicos mais importantes no ciclo hidrológico, devido sua escassez, ou volume em excesso, estar altamente relacionado com a ocorrência de desastres naturais. Além disso, as anomalias de precipitação também podem afetar a agricultura, que é base forte na economia dos estados do sul do Brasil. Portanto, a análise da variabilidade espaço-temporal pluviométrica é fundamental na tomada de decisões e planejamento regional e global (GOTARDO et. al., 2018).

Ambrizzi et al (2014) afirma que clima global possui diversos padrões preferenciais de variabilidade que constituem o clima da superfície da terra e que alguns destes padrões refletem-se na circulação atmosférica, outros na oceânica, e muitos evoluem em função do acoplamento entre atmosfera e oceano. Todas estas preferências da variabilidade do clima são chamadas padrões de teleconexão. A palavra “teleconexão” significa conexão a distância. De certa maneira, podemos dizer que uma análise de teleconexão fornece uma visão global da estrutura de ondas que foram geradas através de anomalias locais da circulação atmosférica e que influenciam regiões remotas. Um estudo pioneiro foi o de Wallace e Gutzler (1981), que usaram médias mensais de altura de geopotencial em 500 hPa e pressão a nível do mar para produzir padrões de teleconexão para o inverno do Hemisfério Norte. Alguns padrões de teleconexões observados foram explicados com sucesso através da teoria de ondas estacionárias de Rossby (AMBRIZZI et al., 1995). Estudos que envolvem a determinação da reposta atmosférica extratropical devido a forçante tropical associada a anomalias de TSM (TRENBERTH ET AL., 1998) mostram que essas repostas forçam anomalias de convecção, afetando a circulação de Hadley que resulta em perturbações nas ondas estacionárias planetárias climatológicas e correntes de jatos associados (AMBRIZZI et al. 2004; FREITAS e AMBRIZZI 2012).

A distribuição não uniforme de precipitação na RSB é um problema vigente, na qual desastres naturais associados a altos acumulados de precipitação se tornam cada vez mais frequentes. Um dos fatores que podem influenciar essa não uniformidade é a variação do relevo principalmente em regiões próximas a montanhas, nas quais esses acumulados são superiores quando comparados às demais regiões, uma vez que o levantamento mecânico de ar quente e úmido potencializa esses episódios (GRIMM, 2009). Porém, fatores da grande escala meteorológica podem estar envolvidos com essa variabilidade, dentre os quais os

principais a serem destacados são: (i) o padrão PSA (*Pacific South America*), um dos modos dominantes de variabilidade climática no Hemisfério Sul (HS), identificado pela primeira vez por Mo e Ghil (1987), analisando EOF (*Empirical Orthogonal Function*) como um trem de ondas do Pacífico central para América do Sul, e (ii) o padrão é o El Niño Oscilação Sul (ENOS), cujos episódios podem causar anomalias de precipitação em todo o globo (ROPELEWSKI E HALPERT, 1987). No Brasil, ocorrem anomalias positivas (negativas) de precipitação sobre o Sul do Brasil na primavera de El Niño (La Niña) e no outono e inverno do ano. Diferenças nos padrões de precipitação associados ao ENOS podem também estar relacionadas à fase da Oscilação Decadal do Pacífico (PDO), que influencia construtivamente o ENOS, quando estiver na mesma fase (KAYANO E ANDREOLI, 2009A).

Além destes fatores de baixa frequência, existe um outro padrão, na escala intrasazonal, dominante de variabilidade da circulação atmosférica em altas e médias latitudes do Hemisfério Sul, a Oscilação Antártica (AAO na sigla em inglês) ou modo anular sul, *Southern Annular Mode* (SAM). Gong e Wang (1998) definiram esta oscilação, que foi referida como uma alternância da pressão atmosférica em superfície entre as latitudes médias e altas, e criaram um índice objetivo definido como a diferença de pressão zonal média ao nível do mar entre 40°S e 65°S, é também conhecida como Modo de Alta-Latitude (ROGERS e VAN LOON, 1982). A AAO possui como característica a barotropia e aparece ao longo do ano na troposfera, se amplificando com o aumento da altura na estratosfera durante o final da primavera, período em que a intensidade do fluxo zonal é favorável a uma forte interação entre a onda planetária e o fluxo médio (THOMPSON e WALLACE, 2000a). Este modo explica em torno de 30% da variabilidade das anomalias de altura geopotencial em 700 hPa entre 20°S e 90°S e sua estrutura horizontal é zonalmente simétrica. A fase positiva da AAO está associada com anomalias negativas de geopotencial na Antártica e anomalias positivas em latitudes médias do HS. O oposto é observado na fase negativa da AAO (ROSSO et al., 2017). Nesse sentido, o SAM é um modo de variabilidade de circulação extratropical no Hemisfério Sul e é caracterizado pela simetria zonal ou estruturas anelares, com perturbações na altura geopotencial de sinais opostos na Antártica e no entorno do anel zonal centrado próximo a latitude de 45° (THOMPSON e WALLACE, 2000a).

A compreensão destas oscilações é fundamental para aprimorar o entendimento do regime de precipitação nesta região, no qual este conhecimento pode contribuir diretamente nas atividades econômicas e no planejamento estrutural urbano. Na RSB a agricultura é uma das principais atividades econômicas, apesar de possuir uma extensa atividade pecuarista, é o agronegócio quem mais emprega e possui mais rentabilidade. Segundo o site Safras (2021) a RSB produziu 32 % do total nacional de cereais, leguminosas e oleaginosas, tendo o estado do Rio Grande do Sul como detentor de 70,5 % da produção de arroz, seguido do Estado de Santa Catarina com cerca de 9,5 %. Outros produtos que se destacam são a soja, tabaco, cevada, milho, trigo, feijão cana-de-açúcar, uva, maçã, pêssego, figo, café, tangerina, caqui e morango (WIKIPÉDIA, 2021). Porém, desastres naturais associados principalmente a precipitação, são recorrentes nessa região, afetando diretamente em ambas atividades econômicas, como na sociedade de forma geral. Alguns exemplos de episódios de altos acumulados de precipitação, como as enchentes no município de Blumenau em 1983, 1984 e

2008, impactaram durante longos períodos os arranjos produtivos locais e a sociedade como um todo e, por isso, podem ser classificados como desastres socioambientais (QUADRO et al., 1996; REBOITA et al., 2010).

1.1 Justificativa

Nesse contexto, este estudo tem por finalidade encontrar possíveis relações entre a AAO e o regime de precipitação no Sul do Brasil, a fim de fornecer uma maior margem de previsibilidade de eventos meteorológicos precipitantes, no intuito de gerar um índice operacional para auxiliar os tomadores de decisão na prevenção de futuros eventos de precipitação relacionados a SAM.

1.2 Objetivo Geral

Relacionar a ocorrência de anomalias mensais de precipitação com a AAO no intuito de definir padrões que auxiliam a diagnosticar e antecipar a previsão de grandes acumulados de precipitação no Sul do Brasil.

1.2.1 Objetivo Específicos

- Elaborar mapas mensais de anomalia de precipitação decorrentes na região sul do Brasil entre o período de 2001-2020.
- Elaborar uma correlação espacial entre anomalia de precipitação e a AAO, a fim de obter um panorama geral de comportamento por mesorregião e sazonalidade.
- Aplicar um método estatístico para avaliar se a AAO está relacionada a episódios de anomalia de precipitação.
- Analisar a relação entre a passagem de frentes fria e AAO sobre a região Sul do Brasil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Oscilação Antártica

Walker durante as décadas de 1920 e 1930 havia descoberto três oscilações atmosféricas que ficaram conhecidas como *North Atlantic Oscillation* (NAO), Oscilação do Atlântico Norte (português), *North Pacific Oscillation* (NPO), Oscilação do Pacífico Norte (português) e *Southern Oscillation* (SO), Oscilação Sul (português). Durante as décadas seguintes estudos visavam a suspeita de existir mais oscilações no Hemisfério Sul (HS) porém devido a falta de dados somente a partir de 1970 deu-se início a um aprofundamento do assunto. Gong e Wang (1998) encontram a então quarta oscilação, que denominaram *Antarctic Oscillation* (AAO), Oscilação Antártica (português), que se refere à alternância de massa atmosférica entre a pressão de superfície em latitude média e a pressão em superfície em alta latitude. Um índice foi elaborado (GONG E WANG, 1999) com base na diferença de pressão zonal-média do nível do mar normalizada entre as latitudes de 40°S e 60°S, nomeado como *Antarctic Oscillation Index* (AOI), Índice Oscilação Antártica (português).

Esta oscilação é um modo de variabilidade da circulação atmosférica nos extratropicais do HS, conhecida também como *Southern Annular Mode* (SAM), Modo Anular Sul (português), na qual possui como principais características a não-sazonalidade, uma estrutura zonal simétrica e perturbações de altura geopotencial de sinais opostos na Antártica e no cinturão zonal centrado próximo de 45°S de latitude (THOMPSON E WALLACE, 2000, part I). Vale ressaltar que ainda não existe uma única teoria amplamente aceita sobre porque os modos anulares são tão predominantes na atmosfera (THOMPSON, 2007).

Thompson e Wallace (2000a) citam que o SAM pode ser observado através de *Empirical Orthogonal Function* (EOF), Função Ortogonal Empírica (português), em diversos campos atmosféricos como pressão ao nível do mar, temperatura de superfície, altura geopotencial e vento zonal. Todavia existem problemas técnicos associados ao cálculo de EOFs, dentre eles a mistura de EOFs devido à degeneração induzida por erro de amostragem dos autovalores associados (NORTH ET AL. 1982), o uso de diferentes normas para definir as EOFs, ou escolhas de ponderação espacial como EOFs baseadas em correlação, ou pesos dependentes de latitude que representam a esfericidade do domínio. (BALDWIN ET AL. 2009). O setor de Monitoramento de Tempo e Clima, do Centro de Previsão e Clima (CPC) da Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (NOAA na sigla em inglês) desenvolveu um índice diário de SAM na qual a projeção de anomalias diárias de altura geopotencial em 700 hPa ao sul de 20°S é construída (Figura 1a).

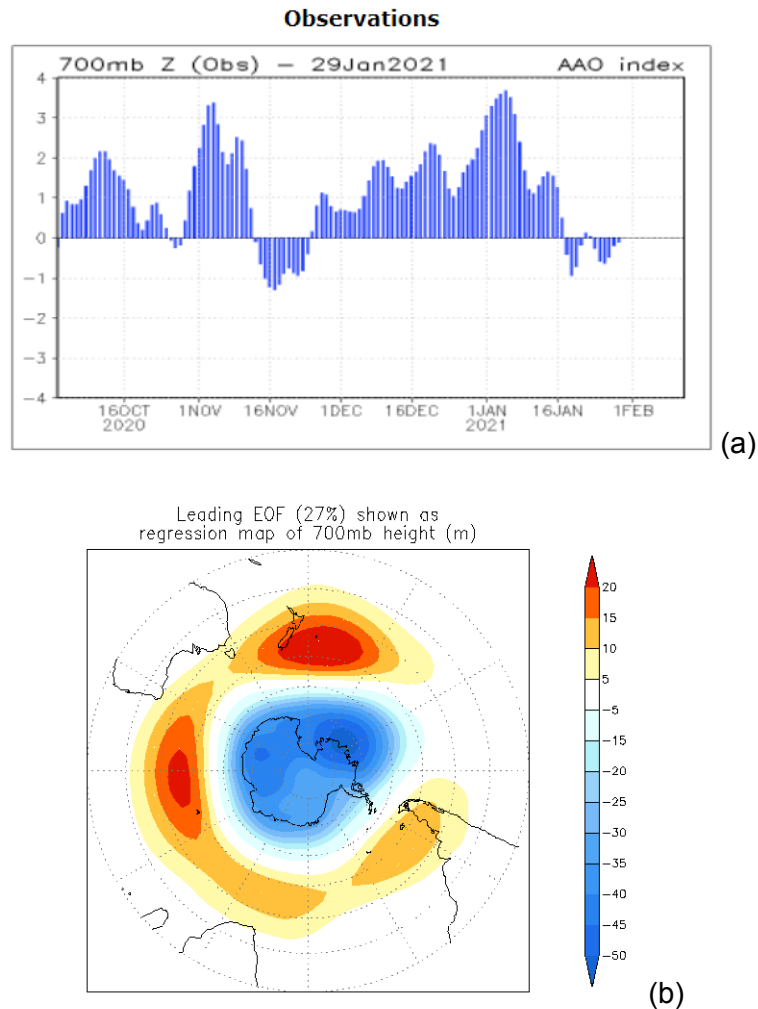


Figura 1.0 - Índice diário de SAM(a) construído a partir de anomalias diárias de altura geopotencial em 700mb ao sul de 20°S. (Fonte:CPC/NOAA) e (b) fase positiva de SAM, o *loading pattern* de SAM foi definido como o *leading mode* da análise de EOF da altura média mensal de 700hPa durante o período 1979-2000. Fonte: CPC/NOAA

De acordo com a figura 1a é possível perceber que o SAM possui duas fases bem acentuadas, uma que configura-se com valores positivos e outra com valores negativos, e uma terceira que representa seu estado de neutralidade para valores próximos de zero. Esta série temporal é normalizada pelo desvio padrão do índice mensal de SAM. Valores positivos e negativos de SAM estão associados a anomalias de altura geopotencial negativa (positiva) sobre a Antártica e anomalias positivas (negativas) em latitudes médias e intensificação e enfraquecimento dos ventos de oeste devido seu deslocamento meridional por causa da diferença de pressão entre a alta e média latitude no HS (Figura 1b).

Thompson et al (2000) demonstraram que o SAM apresentou uma tendência significativa de aumento positivo nos últimos 50 anos, durante o verão austral, e mostraram que o resfriamento do verão observado na Antártica e o aquecimento observado na Península Antártica estão em parte associados a esta tendência de SAM. Watterson (2000) explorou em simulações com o Global Couple Model (GCM), modelo global acoplado (português), o

papel das flutuações do vento zonal do HS em contribuir para a variabilidade da precipitação. Descobriu que essas flutuações são positivamente correlacionadas com precipitação média zonal ao longo de 25°S a 30°S e negativamente mais ao sul dessas latitudes.

Horel e Wallace (1981) foram um dos primeiros a documentar a relação entre as anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) equatoriais e o padrão do *Pacific North America* (PNA), no entanto os padrões de teleconexão são reconhecidos como modos preferenciais da variabilidade atmosférica, mas somente alguns deles são claramente identificados como sendo associados com a forçante de TSM.

Silvestri e Vera (2003) estudaram também a relação entre o SAM e precipitação no sudeste da América do Sul e perceberam que durante o modo SAM(+) ocorreu intensificação de anomalia anticiclônica de nível superior, enfraquecimento de convergência de umidade e diminuição de precipitação, o oposto ocorre em SAM(-) com valores frontogenéticos mais intensos na estação de outono(HS), ambas análises realizadas num contexto de El Niño. Ainda neste trabalho, os autores estudaram a influência do fenômeno *El Niño Southern Oscillation* (ENSO), El Niño Oscilação Sul (português), combinada com o SAM na precipitação no sudeste do HS e encontraram uma relação muito forte no inverno e final da primavera, porém com sinais opostos. Valores significativos de correlação entre ambas oscilações aconteceram apenas na primavera, mostrando que o SAM influencia fortemente na modulação do sinal de ENSO na precipitação dessa região. Com relação às fases do SAM, Carvalho et al (2005) perceberam que durante SAM(+) existe um enfraquecimento do jato subtropical em altos níveis em ambos os hemisférios e intensificação do jato polar em altos níveis especialmente no HS, o inverso acontece em SAM(-).

Gillett et al. (2006) usaram observações de estações meteorológicas (precipitação e temperatura) para identificar a influência de SAM em todo HS. Demonstraram que SAM(+) está associada a um resfriamento significativo sobre a Antártica e um aquecimento significativo sobre a Península Antártica e Argentina. Esta fase também está associada a condições anômalas secas no sul da América do Sul devido ao deslocamento dos *Stormtracks*, rota de tempestades (português), para sul. Este estudo está amplamente consistente com pesquisas anteriores que usaram como base modelos e dados de reanálise. No entanto, foi descoberto que as tendências de temperatura e precipitação de estações meteorológicas de latitude média não foram dominadas pela tendência de SAM, com o padrão geral espacial de tendência não significativamente correlacionado com o padrão de regressão de SAM tanto na temperatura como na precipitação, quando os dados de precipitação da Antártica são excluídos por não serem medidas confiáveis.

Reboita et al. (2009) observaram que durante SAM(-) a trajetória dos ciclones em todo o HS desloca-se mais para norte comparado à SAM(+), e que no setor da América do Sul e Atlântico Sul há intensa atividade frontogenética, como também anomalias positivas de precipitação na costa sudeste da América do Sul. Em geral, quando SAM(+) são observadas condições inversas. Vasconcellos e Cavalcanti (2010) examinaram a relação entre extremos pluviométricos na região sudeste do Brasil durante o verão e sua relação com SAM, e

encontraram aparentemente que durante SAM(+) houve uma maior ocorrência de anomalia positiva de precipitação na região e para SAM(-) condições mais severa de secas. Sugere que padrões atmosféricos como trens de onda do tipo *Pacific South America* (PSA) são intensificados por SAM, que acabam contribuindo para um par de circulação anômala nesta região.

Essas influências em regiões populosas no Sul do Brasil podem ter implicações para as previsões meteorológicas sazonais e mudanças climáticas futuras, principalmente para fornecer uma boa projeção para os tomadores de decisão mitigar eventuais danos decorrentes a desastres naturais de natureza meteorológica.

2.2 Ciclones Extratropicais

Barry e Chorley (2013) afirmam que os ciclones extratropicais ocorrem dentro de uma área aproximada entre 1500 a 3000 km de diâmetro, com duração de quatro a sete dias, grande parte das vezes, possuindo uma frente fria e uma quente associadas. Em imagens de satélite, é possível perceber que as frentes frias ativas em uma zona baroclínica forte costumam apresentar bandas de nuvens pronunciadas em espiral, formadas como resultado da advecção térmica. A ciclogênese pode ser considerada como o processo de formação de uma onda frontal, associada a um centro de baixa pressão, uma frente fria e uma frente quente, no qual seu desenvolvimento possui como mecanismo a instabilidade baroclínica devido ao gradiente horizontal de temperatura em superfície (INPE, 2019). Segundo Pereira (2013), os ciclones extratropicais são fundamentais na climatologia da precipitação sobre a região extratropical na América do Sul. Estes sistemas também são responsáveis pela contribuição na manutenção do clima global, já que são responsáveis pela maior parte do transporte e distribuição de calor e umidade na atmosfera. Os ciclones têm sua gênese e desenvolvimento altamente dependentes de condições de instabilidade fortes e seus ciclos de vida são formas de estabilização e homogeneização da atmosfera. Adquirem sua energia de contrastes horizontais de temperatura, estando associados a sistemas frontais, onde há a ocorrência de um acentuado gradiente de temperatura ou espessura entre os níveis de 500 e 100 hPa e de temperatura de ponto de orvalho. Nota-se um acentuado gradiente de pressão e jato polar (JP) bem definido em 250 hPa associado à frente fria em superfície (ROCHA et. al, 2016).

Tendo em vista que existem áreas ciclogênicas na América do Sul, Gan e Rao (1991) descreveram essa região destacando a existência de duas áreas propícias para ciclogêneses, sendo uma no sudeste da região do Rio da Prata e outra na região leste da Patagônia Norte (Argentina). Conhecida como Northwestern Argentinean Low (NAL) ou Baixa do Noroeste Argentino (BNOA), foi estudada mais a fundo por Lichtenstein (1980) e Seluchi et al. (2003). Esta localizada em torno de 30°S a sotavento da Cordilheira dos Andes e possuindo origem térmica no verão e uma forte influência orográfica no inverno (ESCOBAR E SELUCHI, 2012). Bitencourt et al. (2013), consideram que existem dois fatores principais para as regiões citadas serem apontadas ciclogênicas. O primeiro é a instabilidade baroclínica, considerada essencial para a gênese e desenvolvimento dos

sistemas, principalmente no inverno. O segundo está relacionado com as trocas de energia entre a superfície e a atmosfera com a corrente do Brasil podendo contribuir no aumento da frequência e intensificação dos ciclones no Atlântico Sul. Reboita (2008) identificou três regiões ciclogênicas: a primeira no sul da Argentina, ao leste da Patagônia, com maior frequência no verão, a segunda região próxima do Rio da Prata e costa Sul do Brasil, com maior frequência no inverno, e a terceira região na costa da região Sudeste do Brasil, com maior ocorrência no verão.

2.3 Ondas de Rossby

Ondas de Rossby, conhecidas como "ondas planetárias", foram descobertas e estudadas por Carl Gustav Rossby em 1939 (ROSSBY, 1939). Elas são de suma importância para o entendimento da circulação oceânica e atmosférica em larga escala no planeta, na qual podem ser observadas ao longo das correntes de jato de latitude média em forma de ondulação. Conforme Shimizu (2012), essas ondas possuem movimentos ondulatórios no plano horizontal em escala sinótica e são definidos pela alternância de áreas com vorticidade ciclônica e anticiclônica, conforme propagam-se, sendo que a força restauradora dessas ondas é a força de Coriolis. A autora afirma que as ondas de Rossby podem ser favorecidas pelo aquecimento diabático tropical, balanceado por movimento vertical ascendente e divergência em altos níveis, o que gera um distúrbio no campo de vorticidade absoluta, gerando tais ondas. A gênese dos ciclones extratropicais está diretamente relacionada com as ondas de Rossby. Barry e Chorley (2013) afirmam que os ciclones são direcionados basicamente pelas Ondas de Rossby semiestacionárias nos ventos de oeste hemisféricos, sendo que suas posições são bastante influenciadas por grandes barreiras orográficas e fortes contrastes entre a temperatura das áreas superficiais e oceanos. Com isso, a ciclogênese a sotavento de montanha tem seu processo explicado a partir da formação de Ondas de Rossby orográficas.

2.4 Correntes De Jato

As correntes de jato são uma banda concentrada e irregular de vento que podem influenciar os sistemas meteorológicos na superfície. São relativamente achatadas verticalmente, possuindo de 160 a 480 km de largura e de 900 a 2150 de altura, com velocidade no núcleo podendo estar acima dos 300 km/h (CHRISTOPHERSON, 2012). Essas correntes de jatos nos níveis superiores estão associadas a intensos gradientes horizontais de temperatura em latitudes médias e mais altas, geralmente entre 300-200 mb, que também seguem o padrão de ondas longas. As correntes de jato possuem variações sazonais na velocidade dos seus ventos. Durante o inverno no Hemisfério Norte (HN), os ventos são muito fortes, pois é quando os gradientes de temperatura atingem o máximo. Já no HS, essa variação é menos acentuada (BARRY E CHORLEY, 2013). Os ciclones extratropicais estão relacionados com as correntes de jato e ondas de Rossby, já que essas correntes influenciam na gênese de ciclones, com áreas de baixa pressão em seus cavados e áreas de alta pressão em suas cristas.

2.5 Fenômeno ENOS

El Niño Oscilação Sul (ENOS), segundo Kayano et al. (2016) ENOS é uma das mais importantes relações interação oceânico-atmosféricas já descobertas, na qual contribui para uma grande variabilidade climática em uma escala global. O ENOS influencia o clima da América do Sul através das alterações nas células de Walker e Hadley e no padrão de ondas de Rossby, sendo que o evento oscila entre dois extremos: o El Niño em sua fase quente e o La Niña em sua fase fria. Um estudo realizado por Pezza e Ambrizzi (2003), com dados de reanálise do National Center for Environmental Prediction–National Center for Atmospheric Research (NCEP–NCAR), mostrou que os anos com eventos de El Niño e La Niña durante o período de 1973 a 1996 não mudaram a quantidade de ciclogêneses encontradas no HS em relação aos anos Neutros. Todavia, as observações indicam uma concentração maior de ciclogêneses no HS no Pacífico Subtropical, oeste da América do Sul e sul da Argentina durante os anos de El Niño, enquanto que nos anos de La Niña a densidade é maior no Atlântico Subtropical e sudeste da Austrália. Durante a La Niña, o decaimento da temperatura da TSM na costa leste do oceano Pacífico enfraquece o gradiente meridional de temperatura, o que leva a um enfraquecimento do jato subtropical. Em geral, uma redução da circulação zonal é acompanhada por um incremento na circulação meridional e, portanto, na frequência e intensidade de incursões frontais. O contrário ocorre durante episódios de El Niño, quando o fortalecimento do jato subtropical contribui para o estacionamento dos sistemas frontais na região Sul, com um menor aporte de ar frio para as latitudes médias e baixas, e a decorrente diminuição da incidência de geadas no centro-sul do Brasil (SELUCHI, 2009). No extremo sul do Brasil, ENOS modifica os padrões de ocorrência e intensidade dos sistemas frontais, em anos de El Niño (La Niña), as frentes frias enfraquecem (intensificam) devido à mudança nos padrões de circulação da grande escala (Berlato et al 2003).

Existem quatro regiões no oceano Pacífico Tropical, definidas na literatura para o monitoramento de ocorrência de eventos de El Niño e La Niña. Essas regiões são denominadas de EN1+2, EN3, EN3.4 e EN4 e seus respectivos índices (anomalias de TSM) obtidos, recebem o mesmo nome dessa região. A região EN3.4 é a área mais sensível ao monitoramento do ENOS (Trenberth, 1997). Ela também é a mesma empregada para o cálculo do *Oceanic Niño Index* (ONI).

A figura 2 apresenta os valores do ONI, que corresponde a média de 3 meses de anomalias da temperatura da superfície de mar na região Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°-170°W), com base em períodos base de 30 anos centralizados atualizados a cada 5 anos.

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2002	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.0	0.1	0.3	0.5	0.8	0.9	0.9
2007	0.7	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.1	-1.3	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.5	-1.3	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.8	-0.6	-0.3	0.0	0.3	0.5	0.6	0.7	1.0	1.4	1.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2010	1.5	1.2	0.8	0.4	-0.2	-0.7	-1.0	-1.3	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6
2011	-1.4	-1.2	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.0	-1.1	-1.0
2012	-0.9	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.2
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7
2015	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5	1.9	2.2	2.4	2.6	2.6
2016	2.5	2.1	1.6	0.9	0.4	-0.1	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-0.8	-1.0
2018	-0.9	-0.9	-0.7	-0.5	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.8
2019	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2
2021	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.7	-0.8	-1.0	-1.0
2022	-1.0											

Figura 2 - Médias trimestrais do índice ONI entre os anos de 2000 e 2022. Períodos quentes (vermelho) e frios (azul) com base em um limite de +/- 0,5°C.

2.6 Sistemas Frontais

Na América do Sul, Satyamurty & Mattos (1989) identificaram a região centro-sul do continente, localizada entre os dois anticiclones subtropicais, do Pacífico e Atlântico Sul, como altamente frontogenética (favorável a gênese e intensificação de frentes). O desenvolvimento da zona frontal é verificado em associação aos distúrbios baroclínicos provenientes do Pacífico, que atravessam os Andes em latitudes médias. As frentes frias que percorrem o litoral da América do Sul se configuram na direção noroeste-sudeste e apresentam uma trajetória de sudoeste para nordeste. As frentes frias que percorrem o litoral sul-americano, geralmente atingem latitudes em torno de 20°S, onde inicia seu processo de dissipação, conhecido como frontólise (Oliveira, 1986; Satyamurty & Mattos, 1989; Cavalcanti & Kousky, 1996). Ao atingir o Atlântico Sul, os centros de baixa pressão que acompanham essas frentes apresentam uma tendência de movimento na direção leste-sudeste. O centro dos anticiclones, depois de cruzar os Andes, adquirem uma componente para nordeste, na retaguarda das frentes, antes de deslocar-se para o litoral da América do Sul e integrar-se a alta subtropical do Atlântico Sul (Taljaard, 1967 e Satyamurty et al., 1998). Segundo Oliveira (1986), as frentes frias que ultrapassam a latitude de 35°S podem adquirir uma trajetória mais meridional, em direção ao Equador, porém os sistemas que atravessam a costa leste da América do Sul em latitudes ao sul de 40°S, apresentam uma trajetória predominantemente zonal. O número de frentes frias diminui na medida em que se avança em direção às latitudes mais baixas e o seu máximo ocorre no litoral argentino. Durante o verão, Justi da Silva & Silva Dias (2000) identificaram um máximo nessa frequência frontal no sul da Argentina, em torno de 45°S, uma região considerada altamente frontogenética

(Satyamurty & Mattos, 1989) e ciclogênica, sendo assim favorável a gênese e intensificação de ciclones (Gan & Rao, 1991) nesta época do ano. Em meses de inverno, este número máximo de sistemas frontais estende-se para latitudes mais próximas ao Uruguai. Nesta mesma região e também em durante o inverno, Satya-murty & Mattos (1989) e Gan & Rao (1991) encontraram uma função frontogenética mais intensa com a maior frequência de ciclogênese. No Sul do Brasil, os estudos de Oliveira (1986), Lemos & Calbete (1996) e Justi da Silva & Silva Dias (2000, 2002) identificaram uma frequência frontal relativamente maior nos meses de maio a dezembro, diminuindo entre janeiro e abril. Mesmo assim, o maior número de frentes frias é encontrado nos meses de inverno e primavera, porém não difere tanto em relação ao período de verão e outono.

2.7 Regime de Precipitação na Região Sul do Brasil

O clima de uma região tem influência sobre os ecossistemas e atividades econômicas. Dentre as variáveis climatológicas, a precipitação, assim como a temperatura, são os elementos que atuam de maneira mais direta nesse domínio. A variabilidade dessa distribuição espacial e temporal da precipitação condiciona ciclos agrícolas dentre outras atividades humanas, na qual essas variáveis meteorológicas, principalmente as chuvas, possuem relação intrínseca com a dinâmica da atmosfera e relevo da região (GONÇALVES AND BACK, 2018).

A vulnerabilidade de RSB aos impactos que as mudanças climáticas geram sobre a agricultura trazem preocupações, sejam elas sobre provisão tal qual sua base econômica (Pellegrino et al., 2007), pois os efeitos adversos da precipitação nesses ambientes implicam na perda parcial ou total de safras, comprometendo assim o mercado, gerando desemprego e desestabilizando a segurança alimentar (Ely et al., 2003).

Um estudo realizado por Gonçalves and Back (2018) utilizou dados de 197 estações pluviométricas localizadas na RSB, referentes a dados diários da Rede Hidrológica da Agência Nacional de Águas (ANA, 2009), sendo que 69 estações se localizam no estado do Paraná, 75 em Santa Catarina e 53 no estado do Rio Grande do Sul mostradas na fig. 3 que apresentaram mais de 32 anos de dados nas séries anuais dentre o período de 1976 a 2015. As falhas nas séries mensais foram preenchidas pelo método de ponderação regional (TUCCI, 2004), onde foram selecionadas três estações pluviométricas no entorno da estação com falha, com características climáticas próximas àquelas a serem preenchidas. Foram geradas séries anuais e sazonais de precipitação e do Índice de Concentração da Precipitação (ICP), na qual a tendência nas séries consideradas foram avaliadas pelo teste de Mann-Kendall ao nível de significância de 5%. Segundo a autora, testes estatísticos para análise de tendências em séries de observações hidrológicas podem ser encontrados na literatura e separados em dois tipos de testes, os paramétricos e não paramétricos. Os testes paramétricos não são eficientes para muitas séries hidrológicas, pois necessitam assumir independência nos dados e muitas vezes admitir uma distribuição normal. Comumente séries hidrológicas raramente seguem uma distribuição normal. Já nos métodos não paramétricos, menos suposições sobre a distribuição

da variável em análise necessitam ser realizadas. Aderindo a essas metodologias, não se faz necessário assumir uma distribuição de probabilidades (QUEIROZ, 2013). Uma avaliação dessa distribuição de precipitação pode ser feita através de índices climáticos, na qual podem ser usados na classificação e interpretação desses resultados. O Índice de Concentração da Precipitação ICP (ou PCI – Precipitation Concentration Index) foi proposto por (Oliver , 1980) com o intuito de definir a variabilidade temporal das chuvas durante o ano. (De LUIS, 2011) afirmam que esse índice permite compreender o comportamento da concentração da chuva num espaço e uma vez que a chuva influencia diretamente na recarga e no fluxo das águas subterrâneas, o conhecimento espacial e concentração da mesma se torna indispensável.

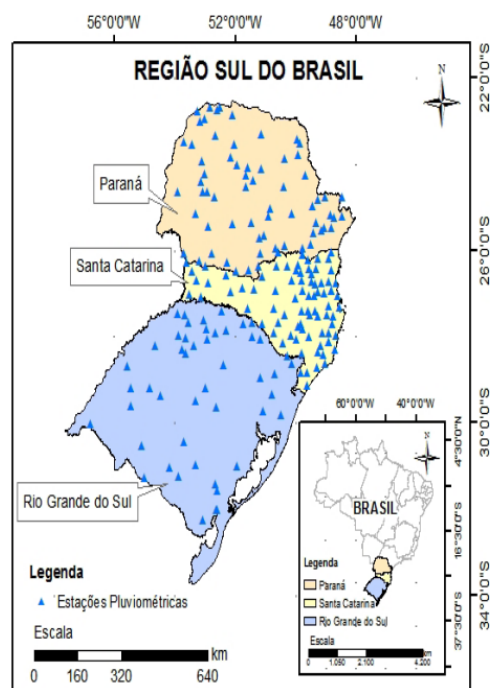


Figura 3 - Localização das 197 estações pluviométricas utilizadas. **Fonte:** GONÇALVES AND BACK,2018.

Analisando as tendências das séries de dados obtidas através do teste Mann-Kendall (Figura 4) não foram observadas tendências significativas de precipitação para o período de 1976 a 2015, visto que para todo o sul do Brasil, apenas 2,5% das estações meteorológicas apresentaram tendência significativa de diminuição no volume de precipitação e 9,6% apresentaram tendência significativa de aumento e referente ao teste de tendência aplicado ao Índice de Concentração de Precipitação, 4,6% das estações estudadas apresentaram tendência positiva de precipitação e 11,7% apresentaram tendência negativa (GONÇALVES AND BACK, 2018).

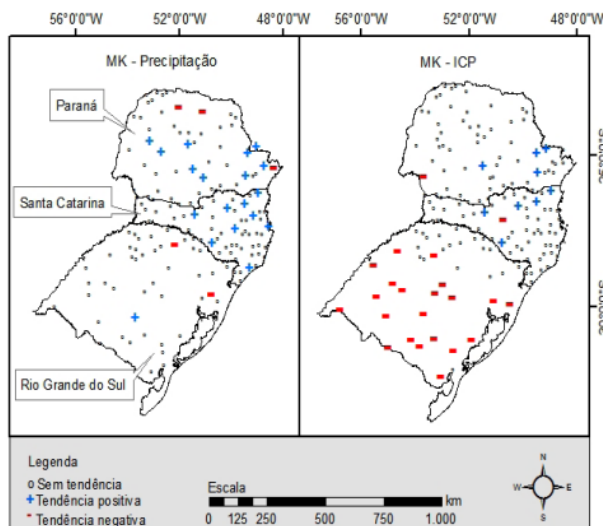


Figura 4 - Mapa de tendência de precipitação e Índice de Concetração de Precipitação anual, no período de 1976 a 2015, para a região de rsB. **Fonte:** GONÇALVES AND BACK, 2018.

Avaliando-se as análises sazonais de tendência de precipitação, observa-se comportamento semelhante à série anual, com predomínio de séries estacionárias (tendências não significativas). O verão foi a estação que apresentou maior frequência de tendências positivas (Figura 5), correspondendo a 13,2% das estações estudadas. No estado do Paraná foi observado maior número de tendência de aumento de precipitação com 18% das estações no verão, assim como no estado de Santa Catarina com 17% das estações. No estado do Rio Grande do Sul apenas uma estação apresentou tendência de aumento de precipitação em todas as estações. O que não representa para o estado aumento no volume de precipitação para a série estudada. O verão, outono e inverno apresentaram apenas uma estação pluviométrica com tendência negativa. Na primavera, o estado do Rio Grande do Sul apresentou 7,5% de estações com tendência na redução do volume de precipitação. Em termos espaciais os resultados não mostraram a ocorrência de zonas com tendências significativas, apontando que as tendências significativas observadas foram numa pequena quantidade de estações e que ocorreram de forma aleatória. Este fato também reforça a constatação de não haver tendência significativas nas séries de precipitação na RSB no período analisado (GONÇALVES AND BACK, 2018).

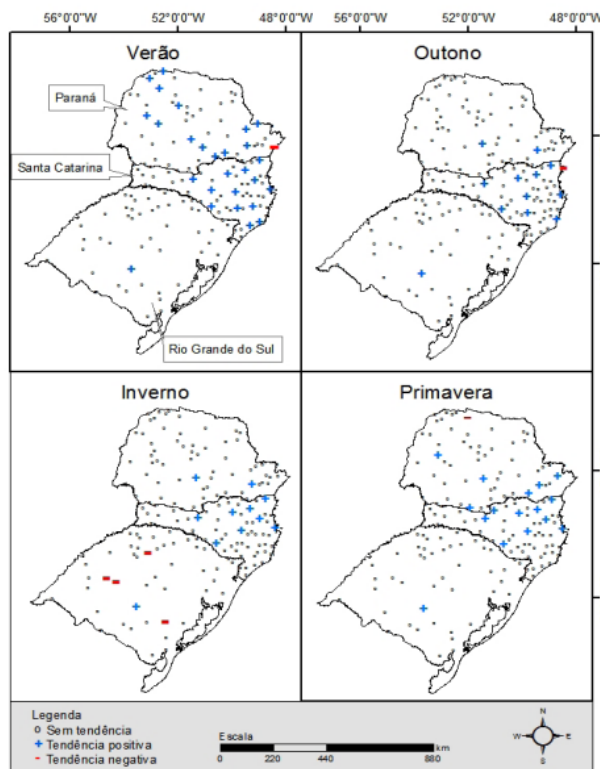


Figura 5 - Mapa sazonal de tendência de precipitação, no período de 1976 a 2015, para RSB.
Fonte: GONÇALVES AND BACK, 2018.

Os resultados do teste de Mann-Kendall aplicado ao Índice de Concentração de Precipitação (Figura 6) mostram que no verão as tendências de aumento na concentração de precipitação (6,1%) acontecem nos estados do Paraná e Santa Catarina. Já as tendências negativas (4,1%) (representam mais uniformidade na concentração das chuvas) concentraram-se no estado do Rio Grande do Sul (GONÇALVES AND BACK, 2018). As variações sazonais e espaciais tanto nas tendências pluviométricas quanto do ICP devem-se à atuação de mecanismos responsáveis pela formação das chuvas na RSB, pois, segundo (GRIMM, 2009), esta região apresenta grandes contrastes no regime de precipitação, com uma transição bem clara na qual ao norte existe um prevailecimento do típico regime de monção, com a estação mais chuvosa iniciando-se na primavera e terminando no início do outono, resultando em grandes diferenças entre o verão e outono, enquanto no sul há uma distribuição aproximadamente uniforme de precipitação ao longo do ano, com chuvas mais intensas no inverno. Na estação do verão na qual ocorre o aquecimento da superfície e condução de umidade para o interior do continente, na qual tende criar uma atmosfera de caráter mais instável, aumentando assim por consequência os processos convectivos, resultando em precipitação intensa mais ao norte em RSB. Tanto no verão como nas estações de transição os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) são frequentes e responsáveis por grande parte da precipitação total. No inverno ocorre maior penetração de frentes no Rio Grande do Sul, provocando maior quantidade de chuvas no Sudeste da região Sul. Na costa leste da Região Sul, especialmente no Paraná, há significativa contribuição do efeito orográfico para a precipitação. No sudeste do Rio Grande do Sul o máximo de precipitação ocorre no inverno, quando as chuvas são resultantes de penetrações frontais associadas a

ciclones extratropicais migratórios. No nordeste da Região Sul, abrangendo o estado do Paraná e de Santa Catarina predominam chuvas de verão com o máximo no trimestre dezembro a fevereiro ou janeiro a março. No oeste, a maior precipitação ocorre na primavera, mais ao norte e no outono mais ao sul. Apenas no Rio Grande do Sul o trimestre mais chuvoso é de julho a setembro. O litoral de Santa Catarina apresenta ocorrência de eventos extremos de precipitação (HAAS, 2002; LIMA et al., 2009; SILVA DIAS, 2009). Dentre os mecanismos formadores de precipitação destacam-se o deslocamento das frentes frias e ciclones. Estes sistemas ciclônicos também estão entre os principais sistemas atmosféricos que contribuem para a precipitação na região de RSB. Através de estudos realizados sobre a climatologia da precipitação em Santa Catarina, a estação de verão aparece como a mais chuvosa nas áreas litorâneas e do Vale do Itajaí (NIMER, 1979; GRIMM et al., 1998).

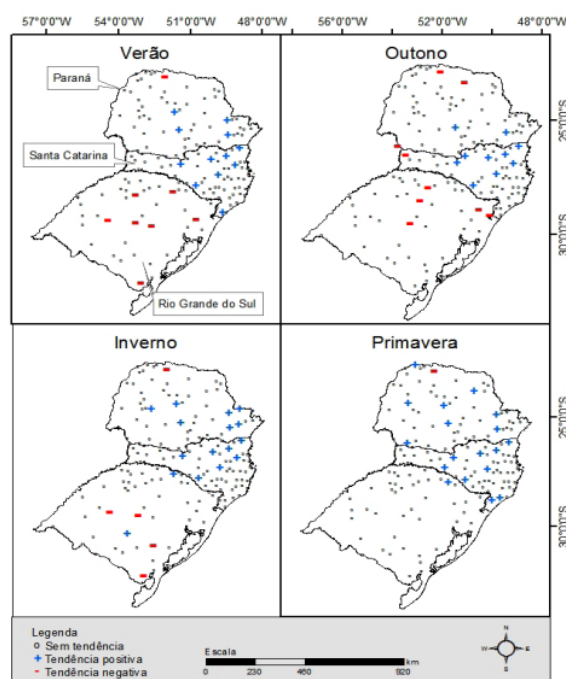


Figura 6 - Mapa sazonal de tendência do Índice de Concentração de Precipitação, no período de 1976 a 2015, para RSB.
Fonte: GONÇALVES AND BACK, 2018.

De forma geral, o estudo citado acima mostrou que 87,9% das estações meteorológicas não apresentaram tendências significativas de aumento ou redução no volume de precipitação anual. Enquanto que 9,6 % das estações apresentaram tendências positivas e 2,5% com tendências negativas, indicando que a séries de precipitação de RSB são de caráter estacionário e também não foi observado variação espacial significativa nas tendências das séries de precipitação anual somente nas sazonais.

3. DADOS E METODOLOGIA

3.1 Área De Estudo

A figura 7 ilustra a região de estudo selecionada, que compõe a região sul do Brasil juntamente com suas áreas de fronteiras com o oceano Atlântico Sul, Uruguai, Argentina, Paraguai e os estados brasileiros do Mato Grosso do Sul e São Paulo.

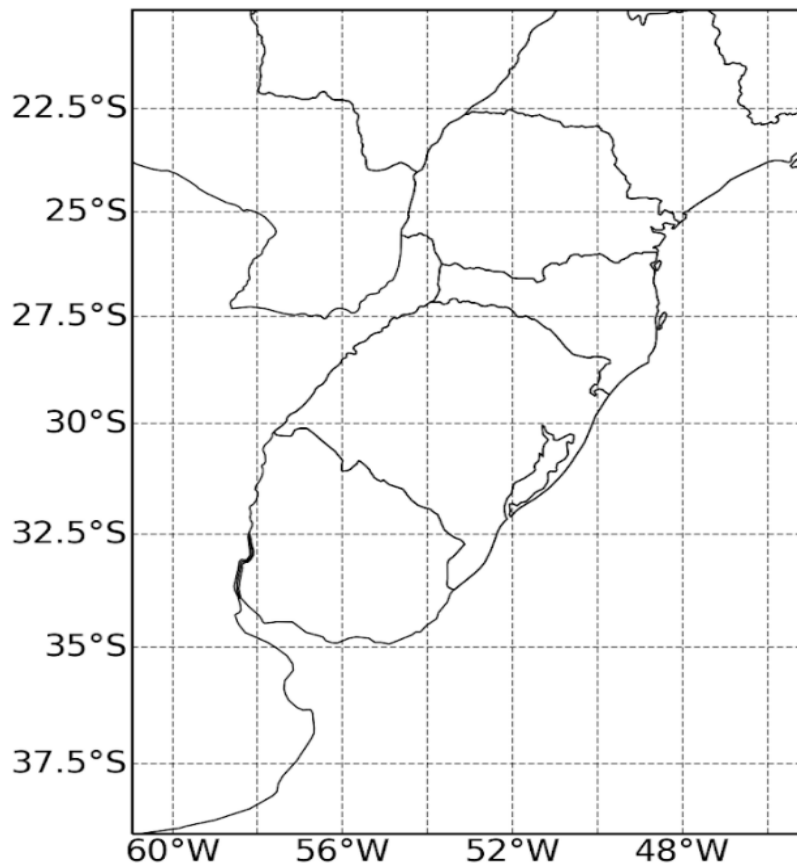


Figura 7 - Representação da região de estudo. Fonte: Elaborada pelo autor.

3.1.2 Dados Utilizados

Para elaboração da análise foram utilizados dados diários de precipitação do MERGE (ROZANTE et al., 2010), que combina a precipitação observada com a estimativa de precipitação por satélite. Estes dados são gerados a partir do GPM-IMERG V06, disponibilizados com a resolução temporal de 30 minutos e resolução horizontal de 0.1° graus. Sua abrangência cobre 87% do globo entre as latitudes de 60°N e 60S. Uma validação desses dados foi realizada por Rozante et al. (2020) utilizando observações de superfície da *Surface Synoptic Observations* (SYNOP), *Data Collection Platforms* (DCPs) e dados de centros meteorológicos regionais em conjunto. A precipitação acumulada de 24 horas foi avaliada para o período de junho de 2014 a junho de 2017. Os resultados mostram que o

MERGE caracteriza de forma confiável o regime de precipitação na região sul do Brasil, embora tenda a superestimar a quantidade de precipitação em outras regiões brasileiras. Em essência, o MERGE propõe uma abordagem “*blending*” que privilegia os dados observacionais sobre regiões com alta densidade de observações (Rozante et al.2010), pois os satélites são espacialmente abrangentes, mas menos precisos, enquanto os dados observacionais são mais precisos, mas espacialmente restritos (Chappell et al. 2013). A precipitação acumulada em 24 horas para a região sul do Brasil está bem representada pelo MERGE (Rozante et al. 2020). O MERGE apresenta melhor desempenho para vários limites: chuva/sem chuva (0,5 mm), precipitação leve (2,0 a 5,0 mm) e precipitação moderada (10,0 a 15,0 mm). Para precipitação forte (superior a 20,0 mm) o produto apresenta desempenho decrescente (Rozante et al. 2020). No entanto, onde a rede observacional é densa, o MERGE representa bem a precipitação ao longo do período de estudo, o que é importante para períodos no qual o regime de precipitação é dominado por nuvens quentes (Rozante et al. 2020). Nuvens quentes são subestimadas por sensores de satélite (Rozante et al. 2018; Zeng et al. 2018) , porém o MERGE não parece ser afetado por tal deficiência de satélite sobre regiões com alta densidade observacional, o que provavelmente está relacionado ao fato de que MERGE recupera informações de sensores na vizinhança de observações existentes e interpola apenas dados observacionais (Rozante et al. 2020).

Utilizando esse dado de precipitação é possível elaborar uma correlação espacial com os dados diários de Índice de Oscilação Antártica diário, construído a partir da identificação do padrão AAO de teleconexão na circulação atmosférica, na qual uma EOF foi aplicada às anomalias de altura média mensal de 700 hPa em direção ao polo de 20°S de latitude no HS que é definida como o primeiro modo principal desta análise. Os principais modos de EOF servem para capturar a quantidade máxima de variação explicada. O conjunto de dados de reanálise do NCEP/NCAR foi utilizado com uma resolução horizontal de (lat,lon)=(2,5°X2,5°) para o período de 1979 a 2000. O ciclo sazonal foi removido do campo de altura média mensal. A matriz de covariância é usada para a análise EOF. Para garantir a ponderação de área igual para a matriz de covariância, os dados em grade são ponderados pela raiz quadrada do cosseno da latitude. Uma vez que AAO têm a maior variabilidade durante a estação fria, os padrões de carregamento capturam principalmente características dos padrões na estação fria. Os índices diários e mensais de AAO são construídos projetando as anomalias de altura médias diárias e mensais de 700 hPa no modo da EOF principal. Ambas as séries temporais são normalizadas pelo desvio padrão do índice mensal (período base 1979-2000). Como o padrão de carregamento de AAO é obtido usando o conjunto de dados de anomalia de altura média mensal, o índice correspondente a cada padrão de carregamento torna-se um quando é normalizado pelo desvio padrão do índice mensal (CPC/NOAA, 2022). Após o levantamento dos dados de precipitação disponíveis é possível gerar os mapas e fazer a análise dos dados baixados fazendo uso da linguagem de programação Python (VANROSSUM, 2010). Essa linguagem de programação é considerada uma das mais fáceis de serem aprendidas e bastante útil na geração de análises climáticas e de produtos científicos. Optou-se pelo uso dessa linguagem de programação para a geração dos produtos em virtude de ela ser livre, de ter uma comunidade online grande, da sua facilidade de aprendizagem e da disponibilidade de scripts em bibliotecas online, onde existem novas

ferramentas para a elaboração dos mapas, caso seja necessário. Análise esta, com o intuito de achar padrões para assim verificar a influência desta oscilação no regime de precipitação na região Sul do Brasil.

3.1.3 Método Estatístico

Um método estatístico se faz necessário para avaliar o grau de relação entre duas ou mais variáveis. As técnicas associadas à análise de correlação representam uma ferramenta fundamental de aplicação em meteorologia. É importante conhecer os diferentes métodos e suas suposições de aplicação, pois deve-se tomar o cuidado de não utilizar uma técnica inadequada. Existem diversos critérios de avaliação desta relação, alguns próprios para variáveis que seguem uma distribuição normal e outros para variáveis que não seguem uma distribuição teórica conhecida. Neste caso será utilizado o coeficiente de correlação de Pearson. Quando estudamos a relação entre duas variáveis X e Y devemos primeiramente compreender o conceito de covariância. Se a variância é uma estatística através da qual chegamos ao desvio padrão que é uma medida de dispersão, da mesma maneira a covariância é uma estatística através da qual chegamos ao coeficiente de correlação que mede o grau de associação “linear” entre duas variáveis aleatórias X e Y.

Apesar da covariância ser uma estatística adequada para medir relação linear entre duas variáveis, ela não é adequada para comparar graus de relação entre variáveis, dado que ela está influenciada pelas unidades de medida de cada variável (Eq. 1).

$$C(X, Y) = [\Sigma(X_i - \bar{X}) * (Y_i - \bar{Y})]/n, \quad (1)$$

onde: C(X,Y) é a medida da covariância entre duas variáveis X e Y; X_i e Y_i são as respectivas amostras de cada variável; \bar{X} e \bar{Y} são as médias aritméticas e n o tamanho da amostra.

Para evitar a influência da ordem de grandeza e unidades de cada variável, dividimos a covariância pelo desvio padrão de X e de Y, dando origem ao coeficiente de correlação de Pearson. Nesse sentido a equação 2 apresenta o cálculo do coeficiente de correlação de Pearson, dada as variáveis X e Y que neste trabalho serão os valores de precipitação diária (Y) e do índice diário de Oscilação Antártica (X).

$$r = C(X, Y)/S_y * S_x, \quad (2)$$

onde r é o coeficiente de correlação de Pearson; C(X, Y) a covariância (eq. 1); S_x e S_y os respectivos desvios padrões de cada variável. O método de correlação utilizado foi o de Pearson, essa correlação resulta em um limiar de valores (-1 e 1), onde os sinais positivos/negativos significam que as relações entre as variáveis são diretamente/inversamente proporcionais e o valor numérico é a força da correlação (LEITE FILHO, 2019).

O coeficiente de determinação é o valor do coeficiente de correlação de Pearson elevado a segunda potência (ao quadrado), sendo usado para julgar a qualidade de ajuste em um modelo de regressão linear em forma de percentagem da variação de uma variável dependente explicada por outra variável independente (CHENG et. al., 2014; KASUYA, 2018). Como o coeficiente de correlação está isento de unidades e da ordem de grandeza das variáveis, este toma valores entre -1 e 1 . Quando a relação é positiva r tomará o valor 1 quando a relação é perfeita. Quando a relação é negativa r tomará o valor -1 quando a relação é perfeita porém inversa. Quando a relação é difusa ou não linear r será igual a 0 . O método citado acima foi utilizado para elaborar uma correlação mensal entre o dado diário de precipitação e o índice diário de Oscilação Antártica.

3.2 Dados para Análise da passagem de Frentes Frias versus AOI sobre RSB

Para esta análise foi utilizado os dados do Índice de Oscilação Antártica do banco de dados da NOAA, juntamente com um levantamento de casos de passagens de Frente Fria (FF) sobre RSB entre junho de 2015 e dezembro de 2020 atrelado a um cálculo de Índice de Frente Fria (IFF) desenvolvido por ROSELI(2021), que consiste em mostrar a porcentagem detectada da área abrangida e a intensidade do evento e dessa forma, a detecção das Frentes Frias pelo algoritmo segue as seguintes condições: (I) Áreas de vento norte (t), áreas de vento sul ($t+6h$) e o giro do vento; (II) Áreas da diminuição da temperatura do ar de um período para o outro e queda da temperatura até 24 horas depois da passagem da FF. Como complemento da análise foi calculado a derivada do AOI, através da expressão $(AOI_i - AOI_{i-1})$, onde i é a data do valor diário do índice, respeitando o respectivo intervalo de estudo para cada evento. Foram analisados 54 casos dessas frentes sobre RSB.

4. RESULTADOS E ANÁLISE

A partir da aplicação da correlação de Pearson nos dados, três tipos de padrões chamaram mais a atenção de forma geral que são eles: Padrão de DIPOLO; Padrão de POLO e Padrão de ONDA. Na figura 8 é possível perceber um forte contraste de dipolo sobre RSB, porém sem apresentar um mês preferencial. O padrão mais comumente encontrado na análise desses 20 anos, nesse caso foi mostrado somente as que apresentaram uma forte correlação.

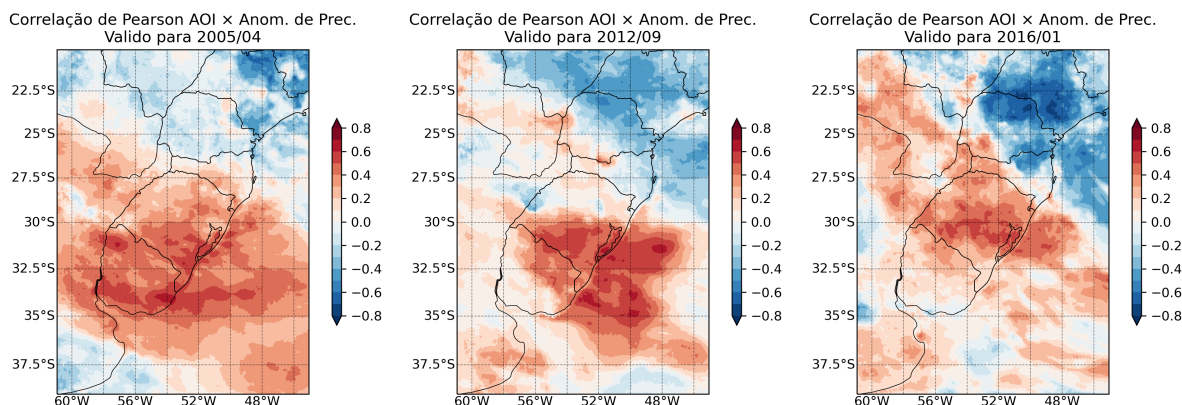


Figura 8 - Mancha resultante do cálculo de correlação de precipitação diária versus índice diário de Oscilação antártica, aplicado de forma mensal. Padrões caracterizando dipolo frequentemente encontrados nos resultados.

Através da figura 9 é possível inferir que não existe uma relação direta entre a configuração de DIPOLO e anomalias de precipitação sobre RSB.

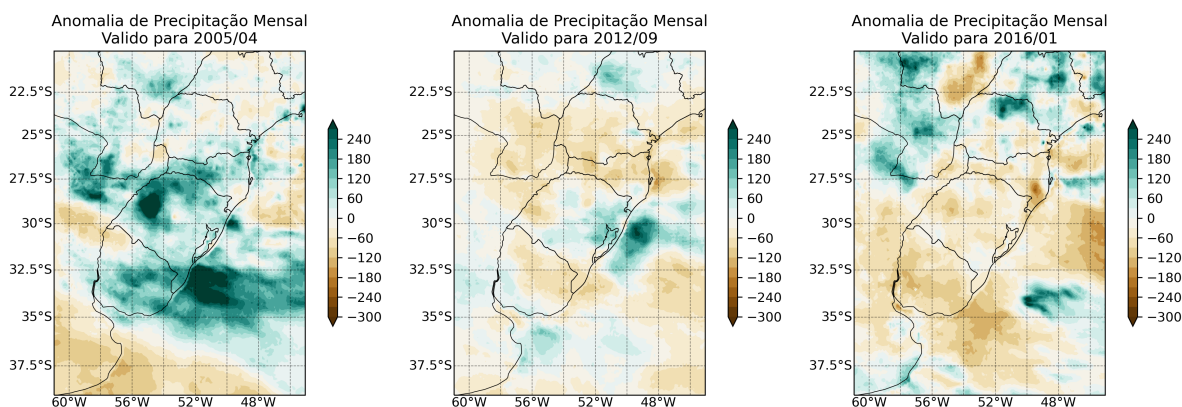


Figura 9 - Mancha resultante do cálculo de anomalia de precipitação diária com os dados diários do MERGE aplicado de forma mensal. Padrões de precipitação referente ao padrão DIPOLO da AAO.

Na figura 10 é nítido que toda a região de RSB está sobre o mesmo regime de influência, mas não foi um padrão tão comum dentre os resultados gerados e não apresenta um mês preferencial de ocorrência também.

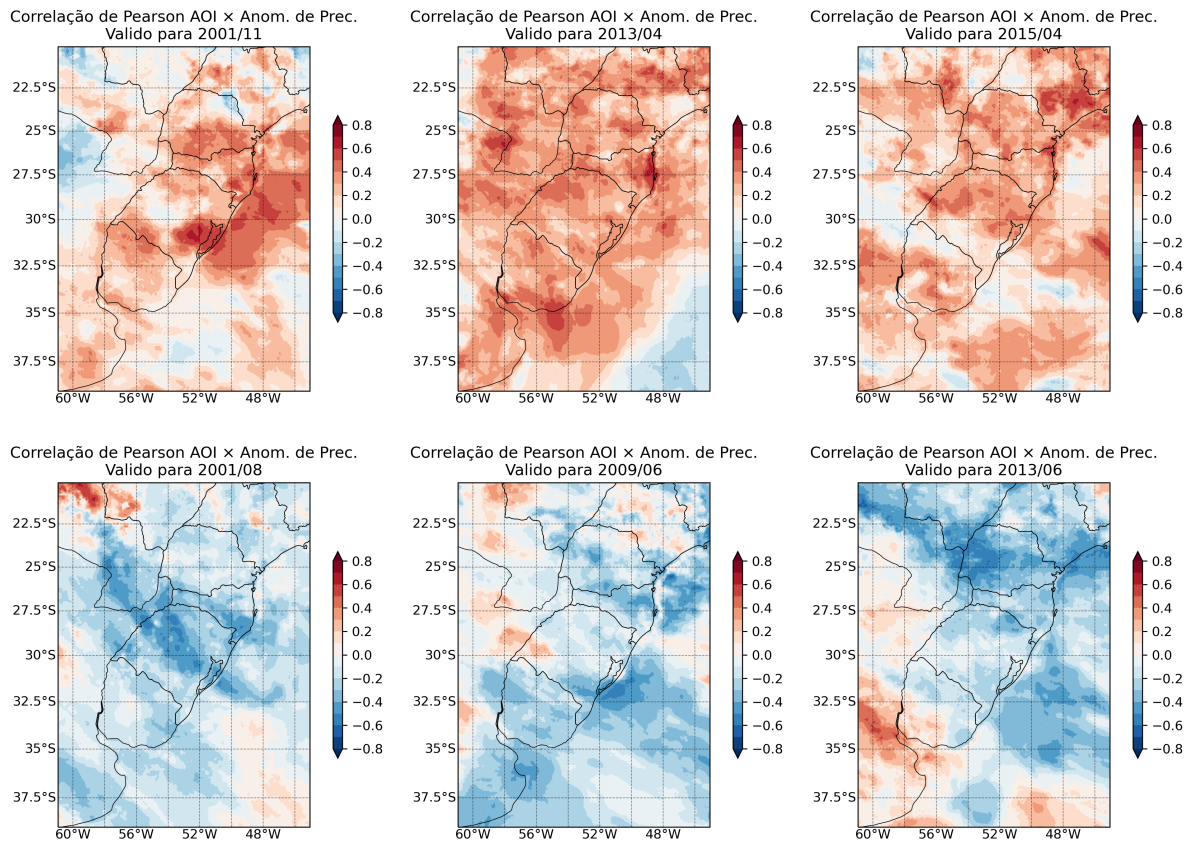


Figura 10 - Mancha resultante do cálculo de correlação de precipitação diária versus índice diário de Oscilação antártica, aplicado de forma mensal. Padrão de Polo não é encontrado tão frequentemente, porém ao menos uma vez por ano se manifesta dessa maneira.

Pela figura 11, é possível identificar que quando existe uma influência de correlação negativa sobre do estado do Rio Grande do Sul, apresenta uma anomalia de precipitação negativa sobre essa região.

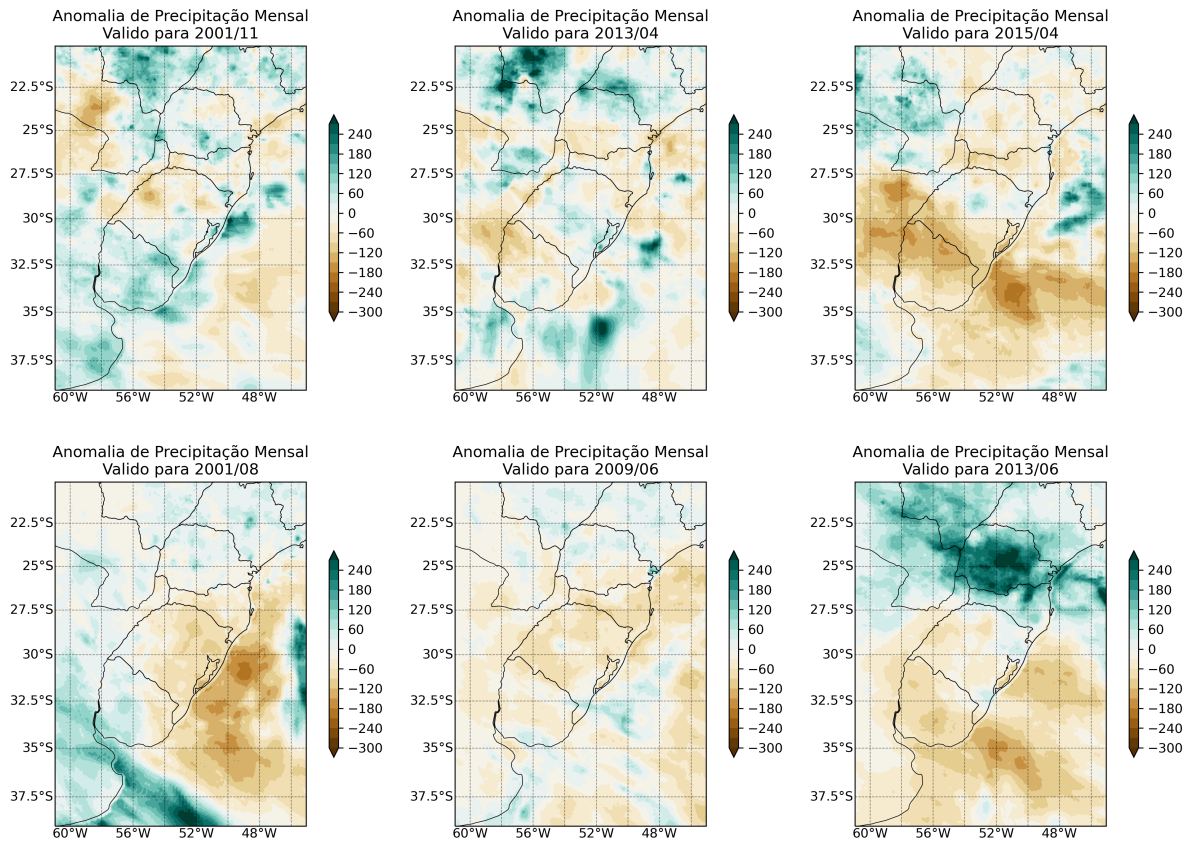


Figura 11 - Mancha resultante do cálculo de anomalia de precipitação diária com os dados diários do MERGE aplicado de forma mensal. Padrões de precipitação referente ao padrão POLO da AAO.

Na figura 12 foi encontrado um padrão de onda se deslocando de sudoeste para nordeste, de forma que esse comportamento é visto em escala trimestral. aparentemente não possui preferência de estação.

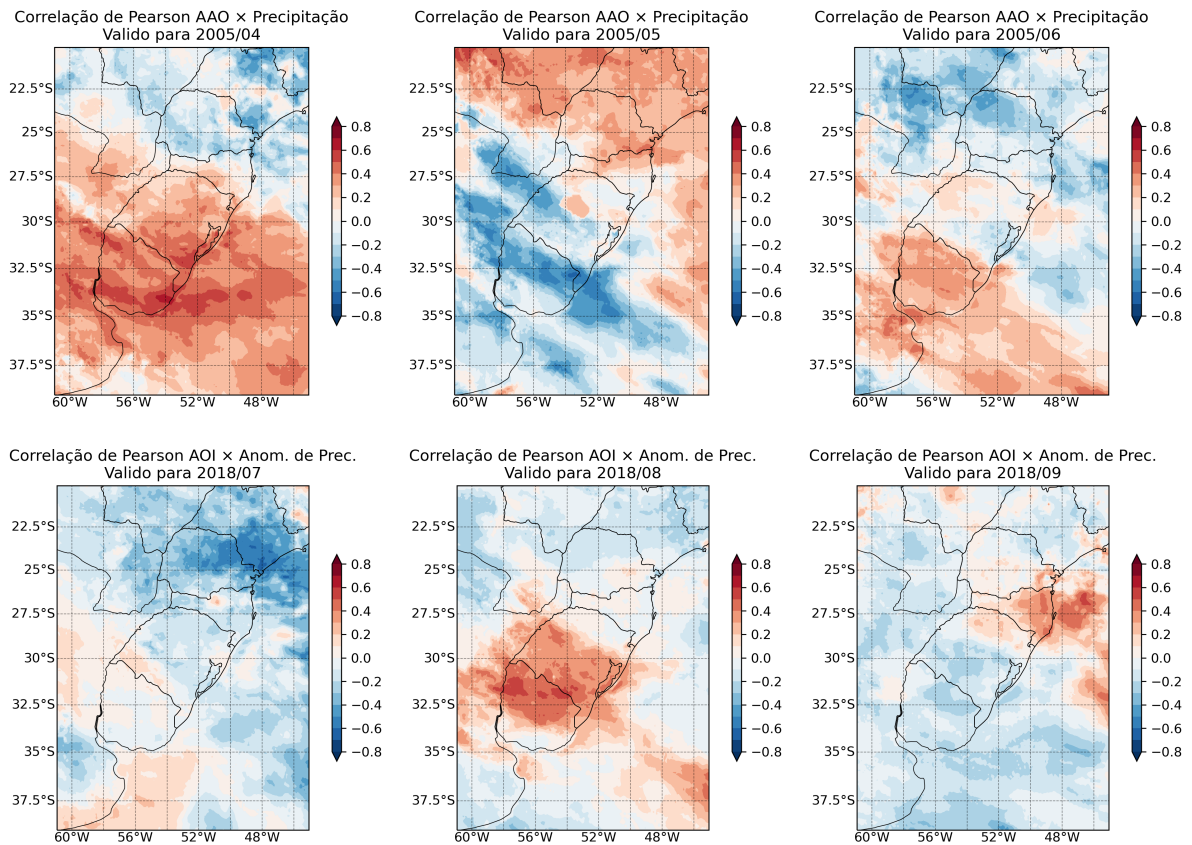


Figura 12 - Mancha resultante do cálculo de correlação de precipitação diária versus índice diário de Oscilação antártica, aplicando de forma mensal. É possível perceber em alguns trimestres a progressão de correlação vindo de sudoeste em direção a nordeste.

Na figura 13 não é possível distinguir um padrão, possivelmente a influência de outras oscilações sobre RSB expliquem essa situação e as demais configurações citadas neste trabalho.

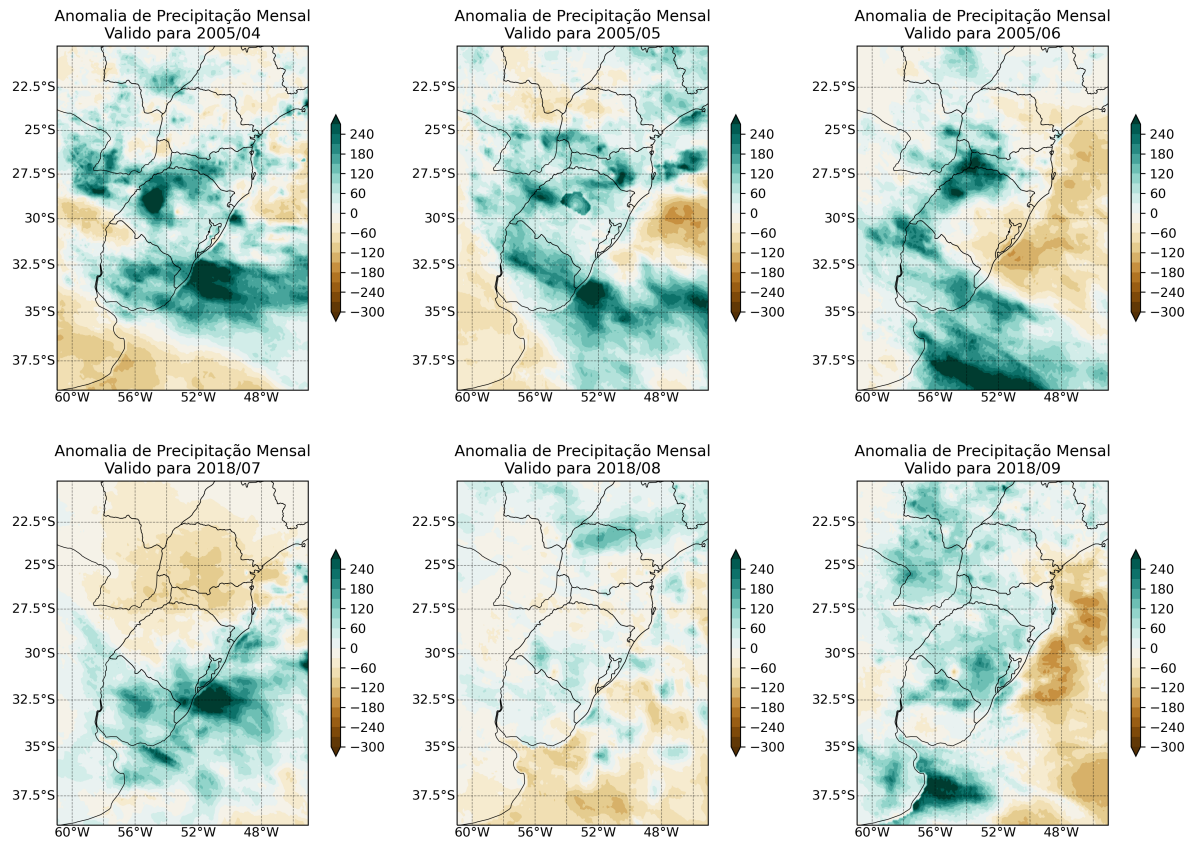


Figura 13 - Mancha resultante do cálculo de anomalia de precipitação diária com os dados diários do MERGE aplicado de forma mensal. Padrões de precipitação referente ao padrão ONDA da AAO.

Pela análise da tabela 1 não é possível perceber uma fase preferencial entre os padrões POLO e DIPLOLO com as fases da anomalia de TSM, porém é notável que quando um padrão ONDA se configura, possui considerável relação com a fase neutra de anomalia de TSM.

Tabela 1. Dados referentes às datas mensais dos padrões encontrados na correlação entre anomalia de precipitação e AOI em RSB. Hachurados em branco, azul e vermelho correspondendo respectivamente a fase neutra, La Niña e El Niño.

PADRÃO	MESES de RECORRÊNCIA
DIPOLO 42/252 16,6%	JAN: 2005, 2014, 2016 / FEV: 2001, 2006, 2008 / MAR: 2007, 2009 / ABR: 2005, 2010 / MAI: 2003, 2005, 2006, 2007, 2008, 2011 / JUN: 2010, 2011, 2021 / JUL: 2007, 2008, 2012, 2013 / AGO: 2002, 2004, 2008, 2012, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 / SET: 2006, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2019 / OUT: 2008, 2010, 2011, 2012 / NOV: — / DEZ: — / .
POLO 37/252 14,7%	JAN: 2013, 2021 / FEV: 2005, 2010, 2018, 2021 / MAR: 2001, 2004, 2005, 2006, 2011, 2014, 2016, 2017, 2018 / ABR: 2002, 2013, 2014, 2015, 2016, 2019, 2020 / MAI: 2015, 2020 / JUN: 2002, 2003, 2009 / JUL: 2020, 2021 / AGO: 2001, 2020 / SET: 2017, 2021 / OUT: — / NOV: 2001, 2002, 2006, 2007 / DEZ: — / .
ONDA 22/252 8,7%	2003: JJA / 2005: AMJ / 2007: AMJ / 2008: JJA / 2010: AMJ / 2015: JJA / 2018: JAS

Na figura 14, é possível observar uma interessante configuração na qual a passagem de Frentes Frias sobre o estado catarinense estar relacionada com a inflexão da curva de derivada de AOI, e sua intensidade de acordo com o critério de ROSELI(2021), contrastando com a inclinação dessa curva, ou seja, mais inclinação significa mais intensidade com a área abrangida não mostrando ser dependente dos demais itens correlacionados. O eixo da abscissa apresenta o intervalo da data do evento de forma centralizada (4 a 5 dias), considerando 5 dias antes e após a passagem do evento para melhor visualizar as curvas. No eixo da ordenada temos valores de AOI (curva em azul), derivada de AOI (curva em verde), o índice de Frente Fria (curva em vermelho) varia de 0 a 10 que para uma melhor visualização foi normalizada como também a área abrangida (curva em vermelho escuro) que varia de 0 a 100% precisou ser normalizada.

A tabela 2 exhibe uma relação entre a fase de ENOS e as datas da passagem de Frentes Frias sobre Santa Catarina. Para o período analisado percebe-se que a maior incursão dessas frentes sobre o estado segundo o critério de ROSELI(2021) se dá em períodos de El Niño, representando quase metade dos casos de estudo.

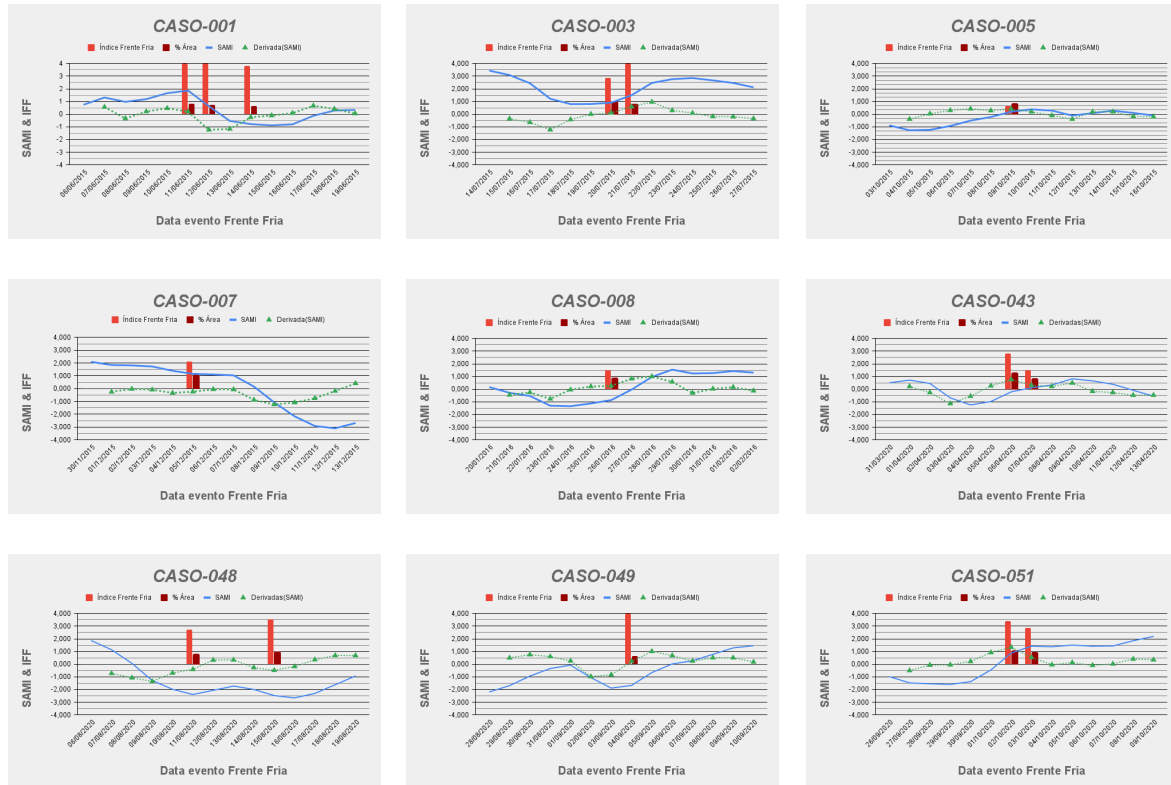


Figura 14. Gráfico referente a análise de passagens de Frentes Fria sobre o estado de Santa Catarina. Número do caso referente a unidade dentre os 54 casos analisados. Fonte: MULLER, 2021.

Tabela 2. Datas referentes aos 54 casos de passagem de Frentes Fria sobre o estado de Santa Catarina. Hachurados em vermelho, branco e azul correspondendo respectivamente a El Niño, fase neutra e La Niña. Fonte: Elaborado pelo autor.

DATA CASOS FRENTE FRIA	
EL NIÑO 26/54 48,2%	[01-11/06/2015], [02-13/07/2015], [03-19/07/2015], [04-16/09/2015],[05-11/10/2015], [06-20/10/2015], [07-05/12/2015], [08-25/01/2016], [09-26/02/2016],[21-01/10/2018], [22-08/10/2018], [23-17/10/2018], [24-10/01/2019], [25-16/01/2019],[26-23/01/2019], [27-01/02/2019], [28-11/02/2019], [29-23/02/2019], [30-11/03/2019],[31-26/04/2019], [32-09/05/2019], [33-21/05/2019], [34-26/05/2019], [35-25/06/2019],[44-01/07/2019], [45-05/07/2019]
NEUTRO 11/54 20,3%	[10-13/05/2016], [13-12/03/2017], [36-01/07/2019], [37-12/07/2019],[38-05/01/2020], [39-15/01/2020], [40-18/02/2020], [41-25/02/2020], [42-18/03/2020],[43-05/04/2020], [52-25/10/2019]
LA NIÑA 17/54 31,5%	[11-12/07/2016], [12-01/11/2016], [14-05/10/2017], [15-08/11/2017],[16-22/12/2017], [17-14/01/2018], [18-22/01/2018], [19-18/03/2018], [20-10/04/2018],[46-11/07/2020], [47-27/07/2020], [48-11/08/2020], [49-02/09/2020], [50-26/09/2020],[51-01/10/2020], [53-12/12/2020], [54-18/12/2020]

5. CONCLUSÕES

Conclui-se que a AAO não influencia de forma direta a precipitação sobre o RSB. O fato de não serem evidentes os padrões de correlação abordados neste trabalho, acredita-se que possivelmente ela auxilia a modular de forma positiva e/ou negativa, intensificando ou desintensificando outro padrão de onda existente na região. Aparentemente a maior incursão da passagem de Frentes Fria se deu no período de El Niño, corroborando com estudos que indicam que durante esta fase de anomalia de TSM existe uma correlação positiva com anomalias positivas de precipitação sobre a região Sul do Brasil.

As demais figuras contabilizadas dos períodos de correlação (não mostradas) apresentaram padrões semelhantes (DIPOL, POLO E ONDA), porém com uma correlação mais baixa, isso acontece porque estamos analisando somente se o valor de AOI está crescendo/decrescendo com os acumulados de precipitação ou inversamente. De acordo com (MÜLLER, 2021) a maioria dos casos de passagem de Frentes Fria sobre o estado de Santa Catarina se devem a inflexão da curva de derivada, ou seja, a inflexão na média do cálculo de correlação tende a neutralidade, e por isso apresenta uma baixa correlação. De forma geral, a maioria dos casos da passagem destes sistemas está diretamente relacionado com a inflexão da curva do AOI, mostrando que não importa se a AAO está intensamente ativa (positivamente ou negativamente) e, sim, sua variação, sem preferência por fase positiva ou negativa. Isso mostra um indicativo de que durante períodos de El Niño a AAO tende a variar mais o sentido de oscilação (inflexionando) e com isso aumentando a incursão de frentes sobre RSB.

Em virtude de que as frentes frias e outros sistemas frontais são os principais causadores de precipitação nessa região, e a AAO define a rota de ciclones extratropicais, o conjunto de ingredientes para a gênese do ciclone juntamente com a fase de AAO é fundamental para definir até onde essas frentes irão avançar sobre o Brasil e consequentemente ditando o regime de precipitação sobre a região de forma transitória ou estacionária. Então o acompanhamento do índice diário de Oscilação Antártica, juntamente com a previsão de ciclones extratropicais, com seus ingredientes de ciclogênese devidamente monitorados (Ondas de Rossby, Correntes de Jato e TSM), tal qual fase de ENOS são de fato alguns dos *gatilhos* responsáveis pela precipitação ou ausência dela em RSB.

6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros considera-se realizar correlações de forma anual e com *lag* para ampliar a visão da influência de AAO sobre a RSB, afim de usar como comparativo para demais oscilações, como Madden-Julian por exemplo, que influenciam o regime de precipitação nessa região, no intuito de achar mais gatilhos e antecipar com mais acurácia os acumulados de chuvas nessa região.

REFERÊNCIAS

- AMBRIZZI, T., B.J. HOSKINS e H.-H. Hsu, 1995: Rossby wave propagation and teleconnection patterns in the austral winter. *J. Atmos. Sci*, 52, 3661-3672.
- AMBRIZZI, T.; SACCO M. A L.; FERRAZ, S. E. T. A importância das teleconexões para a Previsão Sazonal. *Ciência e Natura*, v.36, ed Especial, p. 137-148, 2014.
- AMBRIZZI, T.; SOUZA, E. B.; PULWARTY, R. S. The Hadley and Walker regional circulations and associated ENSO impacts on the South American Seasonal Rainfall. In: Henry F. Diaz; Raymond S. Bradley. (Org.). *The Hadley Circulation: Present, Past and Future*. 1ed. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2004, v. 21, p. 203-235.
- ANA (2009) – Inventário das estações pluviométricas. Agência Nacional de Águas. 2 ed. – Brasília: ANA; SGH. Back, A.J. (2001) – Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 36, n. 5, p. 717-726. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2001000500001>
- BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. *Atmosfera, tempo e clima*. Tradução por: Ronaldo Cataldo Costa. Porto Alegre: Editora Bookman, 9. ed., 512 p. 2013.
- Baldwin, M. P., D. B. Stephenson, and I. T. Jolliffe, 2009: Spatial weighting and iterative projection methods for EOFs. *J. Climate*, 234–243.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. 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, 2003. 110 p
- BITENCOURT, D. P.; FUENTES, M. V.; CARDOSO, C. S. Climatologia de ciclones explosivos para a área ciclogênica da América do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.28, n.1, 43-56. 2013.
- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; AMBRIZZI, T. Opposite phases of the Antarctic Oscillation and relationships with intraseasonal to interannual activity in the tropics during the austral summer. *Journal of Climate*, v. 18, n. 5, p. 702–718, 2005.
- CAVALCANTI IF & KOUSKY VE. 1996. Configuração de Anomalias Associadas a Propagação, ao de Sistemas Sinóticos sobre a América do Sul. *Anais do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Campos do Jordao, p. 1331–1332.
- Chappell, A., L. J. Renzullo, T. H. Raupach, and M. Haylock. 2013. “Evaluating Geostatistical Methods of Blending Satellite and Gauge Data to Estimate near Real-Time Daily Rainfall for Australia.” *Journal of Hydrology* 493 (June): 105–114. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.04.024.
- CHENG, C. L.; SHALABH, S; GARG, G. Coefficient of determination of multiple measurement error models. *Journal of Multivariate Analyses*. v. 126, 2014. p. 137-152.
- CHRISTOPHERSON, ROBERT W. *Geossistemas: uma introdução à geografia física*. Tradução por: Francisco Eliseu Aquino et al. Porto Alegre: Editora Bookman, 7. ed., 728 p. 2012.
- DE LUIZ, M.; González-Hidalgo, J.C.; Brunetti, M. & Longares, L.A. (2011) – Precipitation concentration changes in Spain 1946-2005. *Natural Hazards and Earth System Science*, vol. 11, n. 5, p. 1259-1265. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-1259-2011>

ELY, D.F.; Almeida, I.R. & Sant'Anna Neto, J.L. (2003) – Implicações políticas e econômicas, variabilidade climática e o rendimento da cultura do milho no estado do Paraná. *Geografia*, v. 12, n. 1, p. 495-508.

ESCOBAR, G. C. J.; SELUCHI, M. E. Classificação sinótica dos campos de pressão atmosférica na América do Sul e sua relação com as baixas do chaco e do noroeste argentino. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.27, n.3, p. 365-375. 2012.

FABIANE, N. GONÇALVES,; ÁLVARO J.BACK. Análise da variação espacial e sazonal e de tendências de precipitação na região sul do Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*, v.41, n.3, p. 592-602. 2018.

FREITAS, A. C. V.; AMBRIZZI, T. Changes in the Austral Winter Hadley Circulation and the Impact on Stationary Rossby Waves Propagation. *Advances in Meteorology*, v. 2012, p. 1-15, 2012.

GAN, M. A., RAO, V. B. Surface cyclogenesis over South America. *American Meteorological Society. Notes and correspondence*, p. 1293-1302. 1991.

GILLETT, N. P.; KELL, T. D.; JONES, P. D. Regional climate impacts of the southern annular mode. *Geophysical Research Letters*, v. 33, n. L23704, p. 4p., Dec. 2006. 1, 12, 17, 59, 81, 131.

GOTARDO, R.; PIAZZA, G. A.; TORRES, E.; SEVERO, D. L.; KAUFMANN, V. Distribuição espacial e temporal das chuvas no estado de Santa Catarina. *Revista Geosul*. v. 33, n. 67, 2018. p. 253 – 276.

GRIMM, A.M.; TEDESCHI, R.G. ENSO and extreme rainfall events in South America. *Journal of Climate*, v. 22, p. 1589-1609, 2009.

GRIMM, A.M. (2009) – Clima da região Sul do Brasil, In: Cavalcanti, I.F.A. (Ed.) – Tempo e Clima no Brasil. São Paulo, Oficina Textos. p. 259-275.

GRIMM, A.M.; Ferraz, S.E.T. & Gomes, J. (1998) – Precipitation Anomalies in Southern Brazil Associated with El Niño and La Niña Events. *Journal of Climate*, vol. 11, n. 11, p. 2863-2880. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011<2863:PAISBA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011<2863:PAISBA>2.0.CO;2)

GONG, D.; WANG, S. Antarctic oscillation: concept and applications. *Chinese Science Bulletin*, v. 43, n. 9, p. 734–738, May 1998. 1, 7.

GONG, D. Y.; WANG, S. W. Definition of Antarctic oscillation index. *Geophysical Research Letters*, v.26, n. 4, p. 459-462, 1999.

HAAS, R. (2002) – Simulações da chuva orográfica associada a um ciclone extratropical no Litoral sul do Brasil. Tese de Doutorado. São Paulo, Universidade de São Paulo. 169 p.

HOREL, J.D., e J.M. WALLACE, 1981: Planetary-scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation. *M.W.R.* 109, 813-829.

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Grupo de Previsão do Tempo (GPT). Meteorologia sinótica prática – Ciclogêneses na América do Sul.2019.Disponível em: < http://dca.iag.usp.br/material/ritaynoue/aca-0523/referencias/Met_Pratica_SBMET_P arte2.pdf>. Acesso em 05 fev. 2022.

LEITE FILHO, C. A. Considerations on linear correlation analysis. *Audiology Communication Research*. v. 24, n. 2143, 2019. p. 1-2.

LEMOS CF & CALBETE NO. 1996. Sistemas Frontais que atuaram no Brasil de 1987 a 1995. Climanalise Especial, Edição comemorativa de 10 anos. MCT/INPE-CPTEC.

LICHTENSTEIN, E. R. La Depresion del Noroeste Argentino. Tese de Doutorado. Universidad of Buenos Aires. 1980.

LIMA, M.; Rodrigues, M.L.G.; Sacco, F.; Araújo, G. & Alves, M. (2009) – Análise da configuração atmosférica associada a eventos extremos de chuva no litoral do Estado de Santa Catarina, Sul do Brasil. In: III Simpósio Internacional de Climatologia. Canela, RS, Sociedade Brasileira de Meteorologia.

José Roberto Rozante , Enver Ramirez Gutierrez , Alex de Almeida Fernandes & Daniel A. Vila (2020) Performance of precipitation products obtained from combinations of satellite and surface observations, International Journal of Remote Sensing, 41:19, 7585-7604, DOI: 10.1080/01431161.2020.1763504

JUSTI DA SILVA MGA & SILVA DIAS MAF. 2000. A Estatística dos transientes na America do Sul. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro.

JUSTI DA SILVA MGA & SILVA DIAS MAF. 2002. A frequência de fenômenos meteorológicos na América do Sul: uma climatologia. Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu.

KASUYA, E. On the use of r and r squared in correlation and regression. Ecological Research. v. 34, n. 1, 2018. p. 235-236.

KAYANO, M.T.; ANDREOLI, R.V. Clima da Região Nordeste do Brasil. In: I. F. A. Cavalcanti, N. J. Ferreira, M. G. A. J. Silva, A. F. da Silva Dias. Tempo e Clima no Brasil. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, p. 213-233, 2009a.

KAYANO, Mary T.; ANDREOLI, RITA V.; SOUZA, RODRIGO A. F. de; GARCIA, SÂMIA R.; CALHEIROS, ALAN J. P. El Niño e La Niña dos últimos 30 anos: diferentes tipos. Artigo científico, pg. 7-12. 2016.

KIDD, Chris; FERRARO, Ralph; LEVIZZANI, Vincenzo. The Fourth International Precipitation Working Group Workshop. Bulletin Of The American Meteorological Society, [S.L.], v. 91, n. 8, p. 1095-1099, ago. 2010. American Meteorological Society. <http://dx.doi.org/10.1175/2009bams2871.1>.

MO KC, Ghil M. 1987. Statistics and dynamics of persistent anomalies. Journal of the Atmospheric Sciences 44: 877-902.

MÜLLER, A. N. S.; et al. . ANÁLISE TEMPORAL DA RELAÇÃO ENTRE A OSCILAÇÃO ANTÁRTICA E A PASSAGEM DE FRENTES FRIA SOBRE O ESTADO DE SANTA CATARINA. In: Simpósio em Clima, Água, Energia e Alimentos, 2021. Anais do Simpósio em Clima, Água, Energia e Alimentos, 2021.

NIMER, E. (1979) – Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE. 422 p.

NORTH, G.R., T.L. BELL e R.F. CAHALAN, 1982: Sampling Errors in the Estimation of Empirical Orthogonal Functions. M.W.R, 110, 699-706.

OLIVEIRA AS. 1986. Interações entre Sistemas Frontais na América do Sul e Convecção na Amazônia. INPE-4008-TDL/239.

OLIVER, J.E. (1980) – Monthly precipitation distribution: A comparative index. The Professional Geographer, vol. 32, n. 3, p. 300-309. <https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.1980.00300.x>

PELLEGRINO, G.Q.; Assad, E.D. & Marin, F.R. (2007) – Mudanças Climáticas Globais e a Agricultura no Brasil. *Revista Multiciência*, n. 8.

PEREIRA, NADIARA. Impactos dos ciclones extratropicais em eventos extremos de precipitação na bacia do Rio da Prata. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. 2013.

PEZZA, A. B.; AMBRIZZI, T. Variability of Southern Hemisphere Cyclone and Anticyclone Behavior: Further Analysis. *Journal of Climate*, 16. 1075-1083. 2003.

QUADRO, M.F.L; Machado, L.H.L.; Calbete, S.; Batista, N.N.M., Oliveira, G. S. Climatologia de Precipitação e Temperatura no período de 1986 a 1996. *Climanálise Especial*, Edição Comemorativa de 10 anos, 1996.

QUEIROZ, M.A. (2013) – Avaliação de tendências em séries de precipitação diária máxima anual na faixa central do Estado de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte. 202 p.

REBOITA, MICHELLE SIMÕES. Ciclones Extratropicais sobre o Atlântico Sul: Simulação Climática e Experimentos de Sensibilidade. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2008.

REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T.; DA ROCHA, R. P. Relationship between the Southern Annular Mode and Southern Hemisphere Atmospheric Systems. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 1, p. 48-55, 2009.

REBOITA, M.S.; M.S., Gan, M.A.; da Rocha, R.P.; Ambrizzi, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

ROCHA, F. P; ARAVÁQUIA, J. A.; RIBEIRO, B. Z. Estudo de ciclones e de padrões de circulação atmosférica no Oceano Atlântico Sul próximo à costa das regiões Sul e Sudeste do Brasil usando dados da reanálise do Era-Interim. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 2, 141-156. 2016.

ROGERS, J. C., and H. van Loon, 1982: Spatial variability of sea level pressure and 500-mb height anomalies over the Southern Hemisphere. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 1375–1392.

ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño / Southern Oscillation, *Monthly Weather Review.*, v. 115, n. 11, p. 1606-1626, 1987.

ROSELI DE OLIVEIRA; Mário Francisco Leal de Quadro. DETECÇÃO DE FRENTE FRIAS EM EVENTOS DE MÉDIO E ALTO IMPACTO QUE OCORRERAM EM SANTA CATARINA. In: ANAIS DO SIMPÓSIO EM CLIMA, ÁGUA, ENERGIA E ALIMENTOS - 2021, 2021, Rio de Janeiro. Anais eletrônicos... Campinas, Galoá, 2021. Disponível em: <<https://proceedings.science/simclea-2021/papers/deteccao-de-frentes-frias-em-eventos-de-medio-e-alto-impacto-que-ocorreram-em-santa-catarina>> Acesso em: 29 mar. 2022.

ROSSBY, CARL GUSTAF. Relation between variations in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and the displacements of the semi-permanent centers of action. *Journal of Marine Research*, v. 2, n. 1, p. 38–55. 1939.

ROSSO, Flávia Venturini. A ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL E SUA RELAÇÃO COM A OSCILAÇÃO ANTÁRTICA. 2017. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meteorologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2017.

ROZANTE, J. R.; Moreira, D. S. ; Gonçalves., L. G. G. ; Vila, Daniel A. . Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: Technique and Validation Over South America. *Weather and Forecasting*, v. 25, p. 885-894, 2010.

Rozante, J., D. Vila, J. B. Chiquetto, A. Fernandes, and D. S. Alvim. 2018. "Evaluation of TRMM/GPM Blended Daily Products over Brazil." *Remote Sensing* 10 (6): 882. doi:10.3390/rs10060882.

SATYAMURTY P & MATTOS LF. 1989. Climatological Lower Tropospheric Frontogenesis in the Midlatitudes Due to Horizontal Deformation and Divergence. *Monthly Weather Review*, 117: 1355–1364.

SELUCHI, MARCELO E. Geadas e Friagens. IN: CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J. e DIAS, M.A.F.S (orgs.). *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, p. 149-167, 2009.

SHIMIZU, MARÍLIA HARUMI. Fontes de ondas de Rossby: aspectos observacionais, simulações numéricas projeções futuras. Tese de Doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2012.

SILVA DIAS, M.A.F. (2009) – As chuvas de novembro de 2008 em Santa Catarina: Um estudo de caso visando à melhoria do monitoramento e da previsão de eventos extremos. Relatório Técnico INPE-16631-RPQ/255, 67 p.

SILVESTRI, G. E.; VERA, C. S. Antarctic Oscillation signal on precipitation anomalies over southeastern South America. *Geophysical Research Letters*, v. 30, n. 21, 2003.

TALJAARD JJ. 1967. Development, Distribution and Movement of Cyclones and Anticyclones in the Southern Hemisphere During the IGY. *Journal of Applied Meteorology*, 6: 973–987.

THOMPSON, D. W. J., and J. M. Wallace (2000), Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-month variability, *J. Clim.*, 13, 1000 – 1016.

THOMPSON, D. W. J. Annular Modes Website - A Brief Introduction to the Annular Modes and Annular Mode Research, 2007. Disponível em <<http://ao.atmos.colostate.edu>> . Acesso em 15 jan. 2021, 22:30.

TRENBERT, K.E.,1997. The definition of El Niño. *Bull.Amer.Meteo.Soc.*, 78, 2771-2777.

TRENBERT, GW. BRANSTATOR, D. KAROLY, A. KUMAR, N.-C. LAU, e C. ROPELWESKI, 1998: Progress during TOGA in understanding and modeling global teleconnections associated with tropical sea surface temperatures. *J. Geoph. Resear.*, 103, C7, 14291-14324.

TUCCI, C.E.M. (2004) – Hidrologia: ciência e aplicação. 4 ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 943 p. UFSC (2016) – Relatório dos danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais em Santa Catarina. 1995 – 2014. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres Florianópolis: CEPED UFSC. 72p.

VANROSSUM, Guido, and Fred L. Drake. *The python language reference*. Amsterdam, Netherlands: Python Software Foundation, 2010.

VASCONCELLOS, F. C.; CAVALCANTI, I. F. A. Extreme Precipitation over Southeastern Brazil in the Austral Summer and Relations with the Southern Hemisphere Annular Mode. *Atmospheric Science Letters*, vol. 11, n. 01, p. 21-26, 2010a.

Zeng, Q., Y. Wang, L. Chen, Z. Wang, H. Zhu, and Li, B. 2018. "Inter-comparison and Evaluation of Remote Sensing Precipitation Products over China from 2005 to 2013." *Remote Sensing* 10 (3): 168. doi: 10.3390/rs10020168.

WALLACE, J.M e GUTZLER, D.S., 1981: Teleconnections in the Southern Hemisphere. *M.W.R.*, 113; 22-37.

WATTERSON, I. G., Southern midlatitude zonal wind vacillation and its interaction with the ocean in GCM simulations, *J. Clim.*, 13, 562 – 578, 2000.

<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/history/method.shtml#var>. Acesso em 02 de abril. 2022, 22:00.

<https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php>. Acesso em 14 Março. 2022, 20:40.

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Regi%C3%A3o_Sul_do_Brasil>. Acesso em 20 maio. 2021, 16:00.

<<https://safras.com.br/agronegocio/>>. Acesso em 15 abril. 2021, 09:00.