

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA

KYSSYANNE SAMIHRA SANTOS OLIVEIRA

ONDA CIRCUMPOLAR ANTÁRTICA: INFLUÊNCIA NA VARIABILIDADE  
CLIMÁTICA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

RIO DE JANEIRO

2013

ONDA CIRCUMPOLAR ANTÁRTICA: INFLUÊNCIA NA VARIABILIDADE  
CLIMÁTICA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

KYSSYANNE SAMIHRA SANTOS OLIVEIRA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Meteorologia do Instituto de Geociências do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGM-IGEO-CCMN-UFRJ), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências (área: Meteorologia).

Orientador(a): Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva

RIO DE JANEIRO  
MAIO DE 2013

ONDA CIRCUMPOLAR ANTÁRTICA: INFLUÊNCIA NA VARIABILIDADE  
CLIMÁTICA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL  
KYSSYANNE SAMIHRA SANTOS OLIVEIRA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DO CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (PPGM-IGEO-CCMN-UFRJ) COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM METEOROLOGIA.

Examinada por:

---

Prof<sup>ª</sup>. Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva, D.Sc.

---

Prof<sup>ª</sup>. Ana Maria Bueno Nunes, D.Sc.

---

Prof<sup>º</sup>. Edilson Marton, D.Sc.

---

Prof<sup>º</sup>. Isimar de Azevedo Santos, D.Sc.

---

Prof<sup>º</sup>. Luciano Ponzi Pezzi, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MAIO DE 2013

Oliveira, Kyssyanne Samihra Santos

Onda Circumpolar Antártica: Influência na Variabilidade Climática do ESTADO do Rio Grande do Sul/Kyssyanne Samihra Santos Oliveira. – Rio de Janeiro: UFRJ/PPGM/IGEO/CCMN, 2013.

XIV, 57 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva.

Dissertação (Mestrado) – UFRJ/PPGM/IGEO/CCMN  
Programa de Pós-graduação Meteorologia, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 51-57.

1. Onda Circumpolar Antártica. 2. Rio Grande do Sul. 3. Anomalias anuais de precipitação. 4. Anomalias anuais de temperatura. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, PPGM/IGEO/CCMN, Programa de Pós-graduação em Meteorologia. III. Título

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGM/IGEO/CCMN/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.)

## ONDA CIRCUMPOLAR ANTÁRTICA: INFLUÊNCIA NA VARIABILIDADE CLIMÁTICA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Kyssyanne Samihra Santos Oliveira

Maio/2013

Orientadores: Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva  
Programa de Pós-graduação em Meteorologia

Neste estudo, a influência da Onda Circumpolar Antártica sobre as anomalias anuais regionais de precipitação e temperatura do Rio Grande do Sul foi investigada através da identificação de padrões de associação entre o comportamento das componentes interanuais OCA2 e OCA3 e as anomalias anuais regionais do Rio Grande do Sul. Foram utilizados dois conjuntos de dados que cobriram o período de 1981 a 2006. O 1º conjunto de dados consiste de valores mensais de temperatura média do ar e de precipitação, a partir das quais foram calculadas anomalias anuais normalizadas. Os dados dos valores mensais de precipitação e temperatura são referentes a 25 estações meteorológicas. O segundo conjunto de dados correspondem a médias mensais de temperatura da superfície do mar, pressão ao nível médio do mar, umidade específica em 1000 hPa e componente meridional do vento em 1000 hPa. Estes dados foram extraídos a partir da nova reanálise do NCEP - *Climate Forecast System Reanalysis*. A influência das componentes OCA2 e OCA3 foi analisada sobre as regiões homogêneas das anomalias anuais de temperatura (3 regiões) e precipitação (4 regiões) identificadas a partir da Análise de Agrupamento. Em relação às anomalias anuais de precipitação, os resultados mostraram que enquanto existe um padrão evidente de associação entre o comportamento da OCA3, ao longo do cinturão de latitude entre 40°S e 60°S, e as anomalias anuais de precipitação nas quatro regiões homogêneas do RS, o mesmo não foi encontrado para a OCA2. No que se refere a OCA3, foi encontrado que anos com anomalias negativas (positivas) de precipitação em 3 ou 4 regiões homogêneas estão associados tanto com condições simultâneas de anomalias positivas (negativas) de temperatura da superfície do mar e pressão ao nível médio do mar, como com condições simultâneas de anomalias negativas (positivas) de temperatura da superfície do mar e positivas (negativas) de pressão ao nível médio do mar no setor Atlântico Oeste do Oceano Sul. Já em relação às anomalias anuais de temperatura pôde-se determinar que anomalias positivas de temperatura observadas em ao menos 2 regiões homogêneas estão associadas a anomalias positivas (negativas) de temperatura da superfície do mar e negativas (positivas) de vento meridional superficial associadas a OCA3, e que anomalias positivas (negativas) de temperatura observadas em ao menos 2 regiões homogêneas estão associadas a anomalias negativas (positivas) de vento meridional superficial associadas a OCA2 no setor do Atlântico Oeste.

Palavras chave: Onda Circumpolar Antártica; Rio Grande do Sul; Anomalias anuais de precipitação; Anomalias anuais de temperatura.

Abstract of Dissertation presented to PPGM/IGEO/CCMN/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ANTARCTIC CIRCUMPOLAR WAVE: INFLUENCE IN THE CLIMATE VARIABILITY  
OF RIO GRANDE DO SUL STATE

Kyssyanne Samihra Santos Oliveira

May/2013

Advisors: Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva

Department: Meteorology

This study investigated the influence of the Antarctic Circumpolar Wave on the temperature and precipitation anomalies of the Rio Grande do Sul state by the identification of patterns of association between the behavior of the ACW2 and ACW3 interannual components and the regional annual anomalies of Rio Grande do Sul. Two datasets were used that covered the period of 1981 to 2006. The first dataset consisted of monthly values data of air temperature and precipitation, from which were calculated normalized annual anomalies. The monthly values of air temperature and precipitation were extracted from the 25 agrometeorological stations spread across the state. The second dataset consisted of monthly means of sea surface temperature, mean sea level pressure, specific humidity at 1000 hPa and meridional wind component at 1000 hPa. These dataset derived from the New Reanalysis from NCEP - *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR). The influence of OCA2 and OCA3 interannual components was analysed for the homogeneous regions of temperature (3 regions) and precipitation (4 regions) annual anomalies determined through of Cluster Analysis. With respect to the precipitation annual anomalies, the results showed whilst there is a evident pattern of association between the behavior of the ACW3, along the latitude belt between 40°S - 60°S, and the regional annual anomalies of Rio Grande do Sul, the same pattern could not be determined for the ACW2. To ACW3, was found that years with negative (positive) anomalies of precipitation at 3 or 4 homogeneous regions are associated with both simultaneous conditions of positive (negative) anomalies of sea surface temperature and mean sea level pressure, and simultaneous conditions of negative (positive) anomalies of sea surface temperature and positive (negative) anomalies of mean sea level pressure in the Western Atlantic sector of Southern Ocean. In relation to the temperature annual anomalies could be determined that positive (negative) anomalies observed in at least 2 homogeneous regions are associated with positive (negative) anomalies of sea surface temperature and negative (positive) anomalies of surface meridional wind associated to ACW3, and that positive (negative) anomalies of temperature in at least 2 homogeneous regions are associated with negative (positive) of surface meridional wind associated to ACW2, at the Western Atlantic sector of Southern Ocean.

Key words: Antarctic Circumpolar Wave; Rio Grande do Sul; Annual anomalies of precipitation; Annual anomalies of temperature

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me concedeu fé, forças e perseverança para não desistir diante das dificuldades, e que me permitiu chegar até aqui e escrever estes agradecimentos. Agradeço também ao meu Santo Anjo da Guarda que sempre me dá luz e me guia pelos caminhos da vida.

Também gostaria de agradecer a minha família e aos meus amigos, que mesmo de Vitória, me forneceram o suporte necessário para que eu pudesse realizar este Mestrado em outra cidade longe de praticamente tudo que conhecia. Agradeço também ao Acre que mesmo longe me incentivou a não desistir do Mestrado e me ajudou a lembrar do quanto eu era capaz e competente quando me esquecia, através de seu amor, carinho e amizade, mesmo a distância. Terminando os agradecimentos pessoais, gostaria de agradecer as minhas amigas Izabel, Laíssa, Geórgia, Rejane, Natachy e Nízea, que foram a minha família “postixa” enquanto realizei meu Mestrado na cidade do Rio de Janeiro, e que espero que saibam que nunca deixarão de ser.

Gostaria de agradecer à minha Orientadora: Professora Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva que me inspirou e me deu confiança, conhecimento científico, acadêmico e de vida necessário para que eu pudesse realizar este Mestrado e principalmente esta Dissertação. Que Deus te abençoe e ilumine nesta nova caminhada que você irá começar neste ano de 2013.

Aos meus colegas do Curso de Mestrado em Meteorologia da UFRJ, em especial a Noele, Thamiris e Leonardo que me ajudaram e contribuíram significativamente com seus conhecimentos de Meteorologia, Programação, além de todo um suporte “amiguístico” nos momentos de dificuldades e de alegrias dentro do laboratório do Pós e via *G-talk*.

Meu agradecimento aos docentes do Departamento de Meteorologia da UFRJ, que com toda paciência me ensinaram bastante sobre Meteorologia durante estes dois anos, além da acolhida que me permitiu me sentir a vontade para desenvolver a dissertação e evoluir profissionalmente e academicamente.

Meus sinceros agradecimentos aos pesquisadores Dr. Marco Alejandro Correa Ramírez e Dr. Samuel Hormazábal da *Universidad de Concepcion*, Chile, por terem fornecido as Rotinas em *Matlab*, permitindo assim que esta dissertação fosse realizada como se pretendia inicialmente.

Aos pesquisadores Dr. Michel E. Mann (*Earth System Science Center - Pennsylvania State University*, EUA) e Dr. Warren White (*Scripps Institution of Oceanography*, EUA) pelo auxílio no desenvolvimento da metodologia e na compreensão dos resultados a respeito da Onda Circumpolar Antártica. Obrigada pela prontidão em responder as dúvidas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro.

## SUMÁRIO

### LISTA DE FIGURAS

### LISTA DE TABELAS

### LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.1.1 Objetivos específicos.....	2
<b>CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
2.1 VARIABILIDADE CLIMÁTICA NAS MÉDIAS E ALTAS LATITUDES DO HEMISFÉRIO SUL.....	3
2.2 A ONDA CIRCUMPOLAR ANTÁRTICA.....	4
2.2.1 A influência da Onda Circumpolar Antártica no clima.....	9
2.3. CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA E VARIABILIDADE CLIMÁTICA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL .....	10
<b>CAPÍTULO 3: DADOS E METODOLOGIA.....</b>	<b>13</b>
3.1 DADOS .....	13
3.2 METODOLOGIA.....	15
3.2.1 Cálculo das anomalias anuais de precipitação e temperatura.....	15
3.2.2 Análise de Agrupamento das anomalias anuais de precipitação e temperatura.....	16
3.2.2.1 Fundamentação teórica.....	16
3.2.2.2 Identificação das regiões homogêneas e dos anos secos/chuvosos e de anos quentes/frios .....	18
3.2.3 Identificação e evolução espaço-temporal da Onda Circumpolar Antártica .....	18
3.2.3.1 Fundamentação teórica da Técnica MJM-DVS.....	19
3.2.4 Análise da Influência Combinada das componentes OCA2 e OCA3 da Onda Circumpolar Antártica, da Oscilação Antártica e do El-Niño/Oscilação Sul sobre as	

Anomalias Anuais Regionais de Precipitação .....	21
<b>CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>23</b>
4.1 REGIÕES HOMOGÊNEAS DAS ANOMALIAS ANUAIS DE TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO.....	23
4.2 EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA ONDA CIRCUMPOLAR ANTÁRTICA ...	27
4.3 PADRÕES DE ASSOCIAÇÃO ENTRE A ONDA CIRCUMPOLAR ANTÁRTICA E AS ANOMALIAS ANUAIS DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA .....	32
4.3.1 Padrões de Associação: Anomalias anuais de precipitação e OCA3.....	38
4.3.2 Padrões de Associação: Anomalias anuais de precipitação e OCA2.....	42
4.3.3 Padrões de Associação: Anomalias anuais de temperatura .....	43
4.4 INFLUÊNCIA COMBINADA: OCA3, OSCILAÇÃO ANTÁRTICA E EL-NIÑO/ OSCILAÇÃO SUL.....	46
<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES .....</b>	<b>48</b>
<b>CAPÍTULO 6: REFERÊNCIAS .....</b>	<b>51</b>

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Sumário esquemático simplificado das variações interanuais na TSM (rosa – quente; azul - frio), PNMM (alta – H; baixa - L), TVMS (representado por  $\tau$ ), EGM (linhas cinzas), e trajetória média da Corrente Circumpolar Antártica (linha verde). Setas pretas grossas indicam o movimento para leste das anomalias, enquanto que as outras setas indicam comunicações entre a corrente circumpolar e os subtropicais. Fonte: White e Peterson (1996). .....6
- Figura 2: Localização geográfica do ESTADO do Rio Grande do Sul, Brasil..... 11
- Figura 3: Localização geográfica das 25 estações meteorológicas distribuídas no Estado do Rio Grande do Sul. .... 14
- Figura 4: Regiões homogêneas das anomalias anuais de temperatura, para o período de 1981 a 2006. As estações meteorológicas pertencentes às Regiões homogêneas 1, 2 e 3 são sinalizadas, respectivamente, pelas bolinhas de cor azul, amarela e vermelha. ....24
- Figura 5: Regiões homogêneas das anomalias anuais de precipitação, para o período de 1981 a 2006. As estações meteorológicas pertencentes às Regiões homogêneas 1, 2, 3 e 4 são sinalizadas, respectivamente, pelas bolinhas de cor vermelha, amarela, verde e azul. .... 24
- Figura 6: Espectro de Variância Fracional Local do campo conjunto de TSM e PNMM baseado no período de 1981-2006, com níveis de significância de 99% (linha pontilhada), 95% (linha tracejada) e 90% (linha contínua) calculados através da técnica de reamostragem de *bootstrap*. .... 28
- Figura 7: Diagrama de Hovmöller obtido a partir da média zonal da banda de latitude entre 40°S e 60°S, trajetória principal da OCA, das anomalias normalizadas de TSM (a) e PNMM (b) associadas a OCA2. Tons claros representam anomalias positivas e tons escuros representam anomalias negativas. .... 29
- Figura 8: Diagrama de Hovmöller obtido a partir da média zonal da banda de latitude entre 40°S e 60°S, trajetória principal da OCA, das anomalias normalizadas de TSM (a) e PNMM (b) associadas a OCA3. Tons claros representam anomalias positivas e tons escuros representam anomalias negativas. .... 30
- Figura 9: Diagrama de Hovmöller obtido a partir da média zonal da banda de latitude entre 40°S e 60°S, trajetória principal da OCA, das anomalias normalizadas de UMI associadas a OCA3(a) e OCA2(b). Tons claros representam anomalias positivas e tons escuros representam anomalias negativas..... 32
- Figura 10: Sequência defasada de mapas de anomalias médias anuais normalizadas de PNMM associadas a componente OCA3, para o período de 1985 a 1990. Cada mapa estende-se globalmente sobre o Hemisfério Sul, a partir de 30°S a 90°S. .... 34

Figura 11: Sequência defasada de mapas de anomalias médias anuais normalizadas de TSM associadas a componente OCA3, para o período de 1985 a 1990. Cada mapa estende-se globalmente sobre o Hemisfério Sul, a partir de 30°S a 90°S. .... 35

Figura 12: Sequência defasada de mapas de anomalias médias anuais normalizadas de PNMM associadas a componente OCA2, para o período de 1985 a 1990. Cada mapa estende-se globalmente sobre o Hemisfério Sul, a partir de 30°S a 90°S. .... 36

Figura 13: Sequência defasada de mapas de anomalias médias anuais normalizadas de TSM associadas a componente OCA2, para o período de 1985 a 1990. Cada mapa estende-se globalmente sobre o Hemisfério Sul, a partir de 30°S a 90°S. .... 37

Figura 14: Massa de ar Polar Atlântica sobre o setor Atlântico Oeste do Oceano Sul. Fonte: Climas e Climogramas do Brasil, 2013. .... 45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estações Meteorológicas do ESTADO do Rio Grande do Sul, coordenadas geográficas,.....	15
Tabela 2: Raiz média quadrada das anomalias anuais regionais de precipitação e temperatura para o período de 1981 a 2006.....	25
Tabela 3: Anomalias anuais normalizadas de Precipitação das quatro regiões homogêneas, para o período de 1981 a 2006.....	26
Tabela 4: Anomalias anuais normalizadas de Temperatura das quatro regiões homogêneas, para o período de 1981 a 2006.....	27
Tabela 5: Anomalias normalizadas de PRP, TSM, PNMM, UMI e VMS associadas a componente OCA3 para o setor do Atlântico Oeste, para a banda de latitude entre 40°S e 60°S, trajetória principal da Onda Circumpolar Antártica, para o período de 1981 a 1996. As siglas PRP01, PRP02, PRP03, PRP04 representam, respectivamente, as anomalias de precipitação das regiões homogênea 1, 2, 3 e 4. ....	39
Tabela 6: Anomalias normalizadas de PNMM para os setores Atlântico Oeste (ATO) e Pacífico Leste (PCL) associadas a componente OCA3 para o setor do Atlântico Oeste, para a banda de latitude entre 40°S e 60°S, trajetória principal da Onda Circumpolar Antártica, para o período de 1981 a 1996. As siglas PRP01, PRP02, PRP03, PRP04 representam, respectivamente, as anomalias de precipitação das regiões homogênea 1, 2, 3 e 4. ....	40
Tabela 7: Coeficientes de Regressão e Correlação entre as anomalias de PNMM do Setor Atlântico Oeste do Oceano Sul, para a banda de latitude de 40°S a 60°S e as anomalias de precipitação das 4 regiões homogêneas, para o período de 1981 a 1996. Somente os coeficientes de regressão e correlação entre as anomalias de PNMM e as anomalias de precipitação da Região 02 foram significantes ao nível de 95%. ....	41
Tabela 8: Anomalias normalizadas de UMI para a região entre 30°S a 35°S e 60°W a 55°W, e associadas a componente OCA3, para o período de 1981 a 1998. As siglas PRP01, PRP02, PRP03, PRP04 representam, respectivamente, as anomalias de precipitação das regiões homogênea 1, 2, 3 e 4. ....	422
Tabela 9: Anomalias normalizadas de PRP, TSM, PNMM, UMI e VMS associadas a componente OCA2 para o setor do Atlântico Oeste, para a banda de latitude entre 40°S e 60°S, trajetória principal da Onda Circumpolar Antártica, para o período de 1983 a 2001. As siglas PRP01, PRP02, PRP03, PRP04 representam, respectivamente, as anomalias de precipitação das regiões homogênea 1, 2, 3 e 4. ....	433
Tabela 10: Anomalias anuais regionais normalizadas de temperatura do RS e anomalias normalizadas de TSM, PNMM e VMS associadas a componente OCA3 para o setor do Atlântico Oeste, para a banda de latitude entre 40°S e 60°S, trajetória principal da Onda	

Circumpolar Antártica, para o período de 1981 a 1996.....444

Tabela 11: Anomalias anuais regionais normalizadas de temperatura do RS e anomalias de VMS associadas a componente OCA2 para o setor do Atlântico Oeste, para a banda de latitude entre 40°S e 60°S, trajetória principal da Onda Circumpolar Antártica, para o período de 1983 a 2001.....45

Tabela 12: Anomalias normalizadas de TSM e PNMM associadas a componente OCA3, ENOS e AAO para o período de 1981 a 1996.....47

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AAO - OSCILAÇÃO ANTÁRTICA (ACRÔNIMO DE *ANTARCTIC OSCILLATION*)

APRP - ANOMALIA DE PRECIPITAÇÃO

ATS - ANOMALIA DE TEMPERATUR SUPERFICIAL

EGM - EXTENSÃO DE GELO MARINHO

ENOS - EL-NIÑO/OSCILAÇÃO SUL

HS - HEMISFÉRIO SUL

MJM-DVS MÉTODO DAS JANELAS MÚLTIPLAS – DECOMPOSIÇÃO DE VALORES SINGULARES

OCA - ONDA CIRCUMPOLAR ANTÁRTICA

OCA2 - COMPONENTE DE NÚMERO DE ONDA 2 DA ONDA CIRCUMPOLAR ANTÁRTICA

OCA3 - COMPONENTE DE NÚMERO DE ONDA 3 DA ONDA CIRCUMPOLAR ANTÁRTICA

ODP - OSCILAÇÃO DECADAL DO PACÍFICO

PNMM - PRESSÃO AO NÍVEL MÉDIO DO MAR

PRP - PRECIPITAÇÃO

PSA - PADRÃO PACÍFICO-AMÉRICA DO SUL

RMS - RAIZ QUADRADA MÉDIA (ACRÔNIMO DE *SQUARE MEAN ROOT*)

RS - RIO GRANDE DO SUL

TS - TEMPERATURA SUPERFICIAL

TSM - TEMPERATURA DA SUPERÍCIE DO MAR

TVMS - TENSÃO DO VENTO MERIDIONAL SUPERFICIAL

UMI - UMIDADE ESPECÍFICA

VFL - VARIÂNCIA FRACIONAL LOCAL

VMS - VENTO MERIDIONAL SUPERFICIAL

## CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

A variabilidade climática exerce significativa influência nas diversas atividades socioeconômicas de cada Estado, especialmente na produção agropecuária, devido à dependência direta que esta atividade tem do clima. Um Estado que se destaca por sua produção agropecuária é o Rio Grande do Sul, de forma que em 2009, o setor agropecuário teve uma estimativa de participação de 10,2% na estrutura do valor adicionado bruto do Estado (ATLAS, 2011). No entanto, apesar da relevância deste setor para a economia do Rio Grande do Sul, sabe-se que a variabilidade anual dos rendimentos é muito ampla, atingindo muitas vezes níveis desastrosos da safra agrícola (Berlato e Cordeiro, 2005). Diversos estudos (Cunha, 1999; Berlato e Fontana, 2003; Fontana e Berlato, 2005) têm mostrado que a variabilidade climática, especialmente a variabilidade interanual da precipitação, é a principal causa da variabilidade dos rendimentos e da produção agrícola do Estado.

Devido à sua posição geográfica, o Rio Grande do Sul está sujeito à atuação tanto de sistemas de escala sinótica e subsinótica tais como sistemas frontais, complexos convectivos de mesoescala, jatos de baixos níveis e ciclones extratropicais, como de forçantes climáticas de escalas espaço-temporal maiores, como o fenômeno El-Niño – Oscilação Sul. Além destes, vários estudos também têm apontado para a influência da temperatura da superfície do mar sobre a precipitação do Rio Grande do Sul (Grimm e Feuser, 1998; Khan *et al.*, 1998; Sansigolo *et al.*, 2004; Marques *et al.*, 2010; Santos e Diniz, 2010). Segundo Santos e Diniz (2010), para se estudar a variabilidade da precipitação de um local é indispensável considerar a influência dos oceanos, pois estes possuem um papel determinante nos fluxos de calor sensível e de umidade para a atmosfera, afetando o regime de precipitação.

O estudo da influência dos modos de variabilidade climática provenientes das médias e altas latitudes do Hemisfério Sul na variabilidade climática do Estado do Rio Grande do Sul é consideravelmente recente, de forma que alguns padrões praticamente não tiveram sua influência estudada. Um exemplo é a Onda Circumpolar Antártica, um padrão climático de grande escala inerente às médias e altas latitudes do Hemisfério Sul, que foi identificado por White e Peterson (1996). Segundo estes autores, a Onda Circumpolar Antártica é um padrão caracterizado por apresentar anomalias positivas (negativas) de temperatura da superfície do

mar associadas com ventos meridionais de norte (de sul), e com retração (expansão) da cobertura de gelo marinho ao redor da Antártica.

Uma possível influência da Onda Circumpolar Antártica no clima do Rio Grande do Sul foi apontada por Khan *et al.* (1998). Eles encontraram uma forte relação entre a precipitação na Região Sul do Brasil e o cinturão de temperatura da superfície do mar do Oceano Sul, onde se situa a Frente Circumpolar Antártica, e com base nos resultados sugeriram que as anomalias das precipitações no sul do Brasil estão significativamente correlacionadas com as anomalias climáticas provocadas pela Onda Circumpolar Antártica. Além deste, outros estudos já constataram a importante influência da Onda Circumpolar Antártica na variabilidade climática de outros locais como a Nova Zelândia (White e Cherry, 1999), a Austrália (White, 2000) e a Índia (Prabhu *et al.*, 2010), e concluíram que considerar esta influência representou um importante avanço na previsão climática destes locais. Assim, investigar a já apontada influência da Onda Circumpolar Antártica no clima do Rio Grande do Sul (Khan *et al.*, 1998) pode contribuir significativamente para o avanço do entendimento do clima no Estado.

## 1.1 OBJETIVOS

Neste estudo objetiva-se estudar a influência das componentes da banda interanual da Onda Circumpolar Antártica de números de onda dois e três nas anomalias anuais de precipitação e temperatura do Estado Rio Grande do Sul, e assim contribuir para o avanço do conhecimento do clima do Estado.

### 1.1.1 Objetivos específicos

- Identificar padrões de associação entre o comportamento das componentes da Onda Circumpolar Antártica da banda interanual da Onda Circumpolar Antártica de números de onda dois e três em anos com anomalias positivas e negativas de precipitação/temperatura;
- Determinar possíveis explicações físicas para os padrões de associação identificados.

## CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 VARIABILIDADE CLIMÁTICA NAS MÉDIAS E ALTAS LATITUDES DO HEMISFÉRIO SUL

A dinâmica climática nas médias e altas latitudes do Hemisfério Sul (HS) varia naturalmente nas escalas sazonal, interanual, decadal e em escalas de tempo maiores (Turner e Marshall, 2011). Embora se saiba de sua importância, pouco se conhece do impacto dos extratropicais sobre o clima, sendo a falta de dados observacionais, principalmente nos oceanos, a principal dificuldade para o avanço do entendimento da influência das forçantes climáticas provenientes das médias e altas latitudes do HS sobre o clima (Mayewski *et al.*, 2004).

A variabilidade climática nas médias e altas latitudes do HS é resultado da interação das características topográficas (oceânicas e continentais), da formação e circulação de massas de água no Oceano Sul, do comportamento do vento e da superposição de um número de padrões de variabilidade climática do HS, tais como o El-Niño – Oscilação Sul, o Padrão Pacífico-América do Sul, a Oscilação Antártica, a Oscilação Semi-anual, o Dipolo Antártico e a Onda Circumpolar Antártica (Wilmes *et al.*, 2011; Turner e Marshall, 2011).

O El-Niño – Oscilação Sul (ENOS) é o padrão de variabilidade climática mais estudado pelos cientistas e tem sido apontado pelos mesmos como o padrão de maior impacto sobre o clima global. O ciclo ENOS refere-se às variações interanuais na temperatura da superfície do mar, nas chuvas convectivas, na pressão do ar em superfície e na circulação atmosférica que ocorre no Pacífico Equatorial (Bjerknes, 1969). O El-Niño e a La-Niña correspondem às fases extremas do ciclo ENOS. Durante o El-Niño (La-Niña) são observadas anomalias positivas (negativas) na temperatura da superfície do mar no setor leste-central do Oceano Pacífico Equatorial, e a pressão ao nível do mar tende a ser menor (maior) no Pacífico Leste e maior (menor) no Pacífico Oeste.

Associado ao padrão ENOS, o padrão Pacífico-América do Sul (PSA) consiste de três centros de anomalias positivas e negativas alternadas na pressão atmosférica na região do Pacífico Sul (Karoly, 1989). O padrão PSA de fato é a superposição de dois modos (PSA1 e PSA2) representados por trens de ondas de Rossby que se propagam a partir do Pacífico Tropical para o Pacífico Sudeste (Mo e Paegle, 2001). O PSA1 está relacionado às anomalias de

temperatura da superfície do mar sobre o Pacífico Leste e Central, nas escalas decadais, e ele é a resposta do ENOS na banda interanual. O PSA2 está associado com a componente quase-bienal do ENOS, com um período de 22-28 meses (Mo e Peagle, 2001).

Um importante padrão de variabilidade climática de baixa frequência no Hemisfério Sul é a Oscilação Antártica ou Modo Anular Sul. A Oscilação Antártica é definida como uma oscilação na pressão atmosférica (também pode ser observada na altura geopotencial) entre as altas e médias latitudes do Hemisfério Sul (HS) (Gong e Wang 1999; Thompson e Wallace 2000). A influência da Oscilação Antártica sobre o HS foi estudada por Gillett *et al.* (2006). Os autores encontraram que a fase positiva da Oscilação Antártica está associada com anomalias negativas de precipitação sobre a América do Sul, Nova Zelândia e Tasmânia, devido ao deslocamento para sul da trajetória de tempestades, e com anomalias positivas de precipitação sobre grande parte da Austrália e da África do Sul.

Outros dois importantes padrões de variabilidade climática de baixa frequência no Hemisfério Sul são a Oscilação Semi-anual e o Dipolo Antártico. A Oscilação Semi-anual é um modo acoplado oceano-atmosfera que varia na escala de tempo sazonal (Van Den Broek, 1998), e é caracterizada por um centro de baixa pressão semipermanente ao redor da Antártica, que mostra variações na intensidade e na sua posição: contrai e intensifica-se, movendo-se para sul durante o outono e a primavera austral, enquanto que durante o inverno e o verão austral ele move-se para norte e se enfraquece (Van Den Broek, 1998). Investigando a variabilidade interanual do gelo marinho Antártico e sua relação com o clima tropical, Yuan e Martinson (2001) encontraram uma onda quase estacionária nos campos de gelo marinho do Oceano Sul e da temperatura do ar em superfície fortemente ligada ao padrão climático ENOS, e a chamaram de Dipolo Antártico. Segundo os autores, o Dipolo Antártico é caracterizado por uma relação fora de fase entre as anomalias de gelo marinho e temperatura do ar em superfície nos setores do Pacífico Central/Leste e Atlântico do Oceano Sul.

## 2.2 A ONDA CIRCUMPOLAR ANTÁRTICA

A Onda Circumpolar Antártica (OCA) é um padrão de variabilidade climática no sistema oceano-atmosfera-criosfera do Hemisfério Sul que foi primeiramente identificado por White e Peterson (1996). Usando uma variedade de técnicas observacionais e dados que cobriram o período de 1985 a 1994, os autores encontraram anomalias interanuais de pressão atmosférica

ao nível médio do mar (PNMM), tensão do vento meridional superficial (TVMS), temperatura da superfície do mar (TSM) e extensão do gelo marinho (EGM) propagando-se para leste como um padrão ondulatório de número de onda dois e com uma velocidade média de 6-8 cm/s, levando cerca de 8 – 10 anos para uma fase individual viajar ao redor do globo. Além disso, correlações cruzadas defasadas mostraram que anomalias de TSM estão aproximadamente  $90^\circ$  fora de fase com a PNMM (Figura 1), isto é, anomalias negativas (positivas) de PNMM são seguidas por anomalias negativas (positivas) de TSM cerca de 1 ano depois, e quase  $180^\circ$  fora de fase com a TVMS e a EGM; isto é, anomalias positivas (negativas) de TSM estão associadas com ventos meridionais de norte (de sul), e com uma retração (extensão) do gelo marinho. Segundo ainda White e Peterson (1996), este sistema de anomalias acopladas parece surgir no Pacífico Sul Subtropical Oeste, associado à atividade do El-Niño, e então se espalha para sul e para leste no Oceano Sul, onde a subsequente propagação para leste é devido principalmente a Corrente Circumpolar Antártica.

Os trabalhos posteriores ao de White e Peterson (1996) a respeito da OCA destinaram-se a estudar seus processos de geração e manutenção, as relações de fase entre seus componentes (PNMM, TSM, TVS e EGM), e as possíveis teleconexões da OCA com outras partes do globo. Os estudos foram realizados através de análise de dados observacionais (Jacobs e Mitchell, 1996; Gloersen e White, 2001), modelagem numérica (Christoph *et al.*, 1998; Talley, 1999; Haarsma *et al.*, 2000) , e em alguns casos, foi feito o uso de ambas as técnicas (Qiu e Jin, 1997; White *et al.*, 1998).

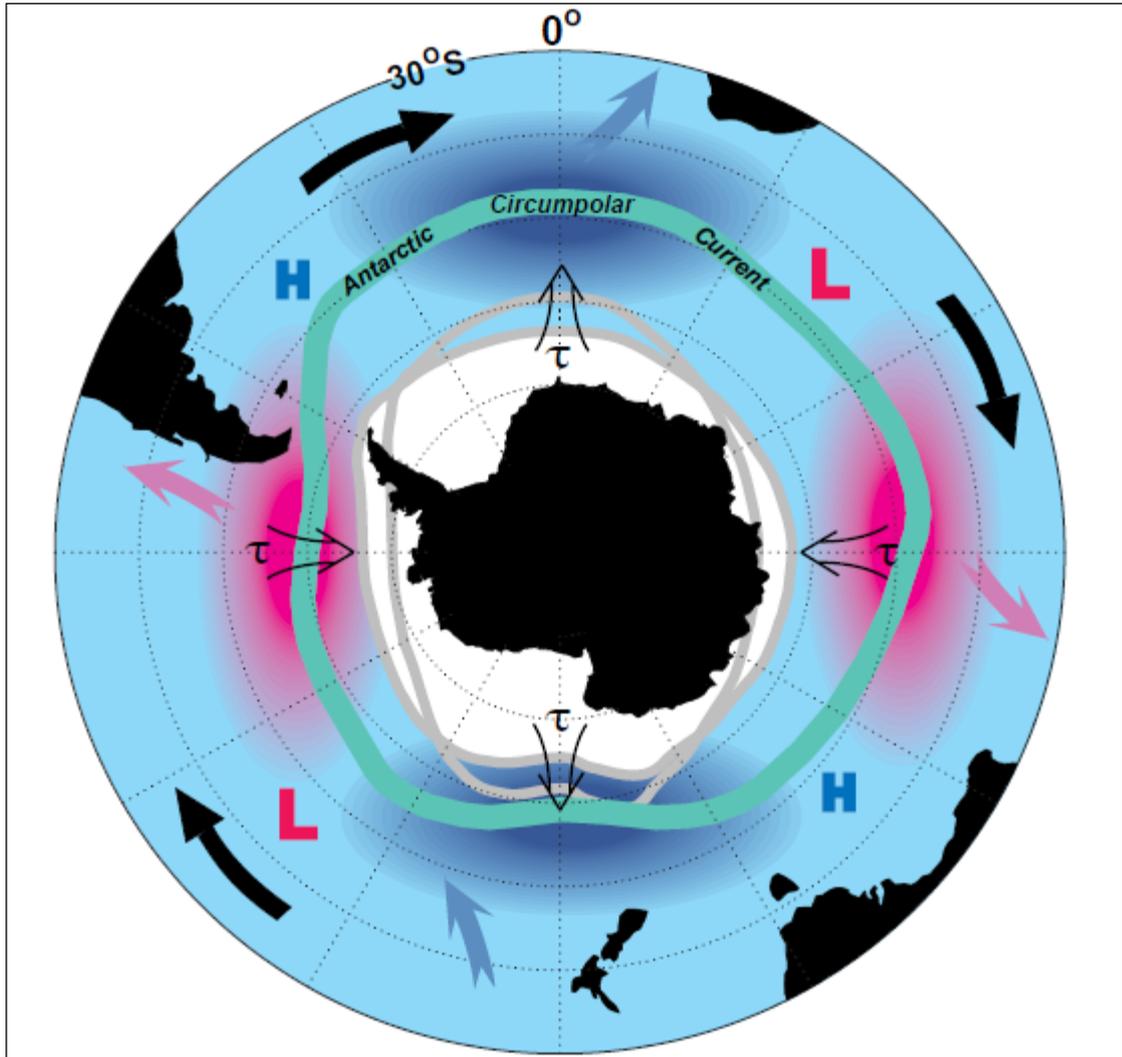


Figura 1: Sumário esquemático simplificado das variações interanuais na TSM (rosa – quente; azul - frio), PNMM (alta – H; baixa - L), TVMS (representado por  $\tau$ ), EGM (linhas cinzas), e trajetória média da Corrente Circumpolar Antártica (linha verde). Setas pretas grossas indicam o movimento para leste das anomalias, enquanto que as outras setas indicam comunicações entre a corrente circumpolar e os subtropicais. Fonte: White e Peterson (1996).

Embora a relação de fase entre as variáveis que caracterizam a OCA seja bem entendida, os processos responsáveis por sua geração não são. Enquanto alguns estudos sugeriram uma importante conexão com o padrão ENOS (Peterson e White, 1998; Carril e Navarra, 2001), outros estudos, principalmente os de modelagem numérica, indicaram que o mecanismo principal de geração era o acoplamento oceano-atmosfera extratropical (Qiu e Jin, 1997; Cai *et al.*, 1999). Qiu e Jin (1997), através de evidências observacionais e de um modelo teórico acoplado oceano-atmosfera, encontraram que a Onda Circumpolar Antártica não é forçada e mantida por eventos tropicais remotos, como o ENOS, como sugeriram White e Peterson (1996), mas que o acoplamento dinâmico oceano-atmosfera nos extratropicais é o mecanismo responsável pela Onda Circumpolar Antártica. Diferentemente de Qiu e Jin

(1997), Peterson e White (1998), investigando 13 anos (1982-1994) de dados de anomalias interanuais de pressão ao nível médio do mar, temperatura da superfície do mar e água precipitável, encontraram uma forte ligação entre a OCA e o ENOS. Segundo Peterson e White (1998), a maior fonte para a OCA está no Pacífico Sul Subtropical, onde as anomalias interanuais de TSM se formam. Uma vez estabelecidas, estas anomalias de TSM movem-se para sul, em direção ao Oceano Antártico, juntamente com as anomalias de PNMM. Este sistema de anomalias acopladas migra então para leste, ao redor do globo.

Estudos mais recentes, entretanto, têm encontrado que ambos ENOS e acoplamento oceano-atmosfera extratropical são responsáveis pela geração da OCA. Os estudos de Christoph *et al.* (1998), Cai e Baines (2001) e Connolley (2003) mostraram que na escala de tempo interanual a OCA é a soma de dois padrões, um com número de onda dois e o outro com número de onda três. A existência deste último padrão tem sido sustentada por alguns estudos de modelagem numérica (Christoph *et al.*, 1998; Cai *et al.*, 1999), que encontraram anomalias de TSM se propagando e interagindo com uma anomalia de PNMM estacionária (Connolley, 2003).

Um estudo recente e detalhado sobre a Onda Circumpolar Antártica e que também identificou na escala interanual a existência de um padrão com número de onda dois e outro com número de onda três foi o de Venegas (2003). Através do método estatístico de análise multivariada denominada Método das Janelas Múltiplas - Decomposição de Valores Singulares, o qual permite detectar simultaneamente um sinal oscilatório de frequência específica em ambos dados temporais e espaciais, Venegas (2003) estudou possíveis hipóteses para os mecanismos de geração e sustentação da OCA durante o período de 1969 a 2000. A análise revelou que a OCA é um fenômeno acoplado que decorre da combinação de dois padrões espaciais similares, mas não idênticos na escala interanual. O primeiro (OCA3) foi identificado com um número de onda três, e um período de 3.3 anos, enquanto o segundo (OCA2) com um número de onda dois e um período de aproximadamente 5 anos.

Segundo Venegas (2003), o padrão OCA3 parece ser uma feição inerente ao Oceano Sul (a partir da costa da Antártica até 60°S), no qual a presença da Corrente Circumpolar Antártica fluindo para leste é essencial para advectar anomalias de TSM entre dois centros de PNMM fixos, e assim mudando a polaridade da oscilação na pressão atmosférica ao nível médio do mar. O período da oscilação OCA3 é de certa forma definido pela velocidade da Corrente

Circumpolar Antártica. Os resultados de Venegas (2003) sugerem que o padrão OCA3 parece ser autossustentado por um acoplamento entre o oceano e a atmosfera. Este acoplamento envolve três elementos essenciais: a resposta das temperaturas oceânicas às anomalias de circulação atmosférica através de ventos meridionais e fluxos de calor, a advecção para leste das anomalias de TSM pela Corrente Circumpolar Antártica e a mudança de polaridade do padrão estacionário de PNMM quando as anomalias de TSM aproximam-se dos centros de PNMM a partir de oeste. Já o padrão OCA2, segundo Venegas (2003), parece ter sua origem no Pacífico Tropical e é provavelmente relacionado ao fenômeno ENOS. A componente atmosférica do padrão OCA2 é excitada pelos eventos ENOS no Pacífico Equatorial e transportado para as altas latitudes pelo padrão Pacífico-América do Sul, principalmente no Pacífico Leste e Atlântico Oeste. Este sinal atmosférico é então transferido para o oceano no Pacífico leste através da tensão do vento meridional superficial e dos fluxos de calor, e então finalmente propaga-se para leste para as outras bacias através das anomalias de TSM advectadas pela Corrente Circumpolar Antártica.

Com base na análise de seus resultados, Venegas (2003) também explicou a razão pela qual White e Peterson (1996) identificaram a OCA com número de onda 2. Segundo a autora, uma explicação para isto reside no fato de que os registros observacionais analisados por White e Peterson (1996), cobriram o período de 1985 até 1994, durante o qual o sinal OCA2 foi particularmente significativo, e mais dominante que o sinal OCA3. Segundo Venegas (2003), houve uma mudança no regime de número de onda 2 para 3 depois de 1991. Esta mudança no regime do padrão interanual também foi sugerido por Carril e Navarra (2001), que concluiu que a estrutura de número de onda zonal 2 observada na TSM e na PNMM pode ser modulada por variabilidade interdecadal ao redor de 1970, 1980, e 1990.

Desta forma, para Venegas (2003) o padrão resultante da soma OCA2 mais OCA3 mostra uma alternância entre um número de onda 2 dominante, e um número de onda 3 dominante ao longo do tempo, dependendo da interferência construtiva ou destrutiva dos padrões. A estrutura OCA3 domina de 1969 até aproximadamente 1986. De 1986 até 1991, um forte padrão com número de onda 2 dominante resulta a partir do comportamento aproximadamente em fase dos dois padrões, reforçando a maior amplitude da OCA2. Após aproximadamente 1991, a mudança de fase entre os dois sinais tornou-se maior, de forma que a OCA2 foi parcialmente destruída e a OCA3 recuperou sua dominância. Finalmente, após 1997, a OCA2 dominou novamente devido ao enfraquecimento da OCA3.

### 2.2.1 A influência da Onda Circumpolar Antártica no clima

O estudo da influência da OCA no clima é de caráter consideravelmente recente, mas já tem fornecido importantes resultados. A influência da OCA na temperatura e na precipitação da Nova Zelândia, durante os invernos de 1982 a 1995, foi estudada por White e Cherry (1999). Os resultados obtidos a partir da análise estatística multivariada dos dados mostraram que as anomalias de temperatura do ar em superfície estão em aparente equilíbrio termal com as anomalias de TSM adjacentes, isto é, anomalias positivas (negativas) de temperatura estão associadas a anomalias positivas (negativas) de TSM. Estas anomalias positivas (negativas) de TSM foram observadas ao norte e a leste (ao sul e a oeste) da Nova Zelândia, e estavam associadas com anomalias de vento superficial meridional em direção ao polo (equador). Quanto à precipitação, os autores também encontram evidências de que anomalias de precipitação ocorrem em resposta a três diferentes mecanismos resultantes da interação da OCA com a Nova Zelândia, os quais são: atividade ciclônica anômala sobre a Nova Zelândia, a convergência de fluxo de umidade em baixos níveis anômala e precipitação orográfica anômala produzida por ventos de oeste incidente sobre as montanhas na Ilha Sul.

Construindo um sistema estatístico de previsão climática para as mudanças de ano-a-ano na precipitação da Austrália, White (2000) estudou a influência da Onda Circumpolar Antártica na precipitação do país, durante o período de 1958 a 1997. Os resultados mostraram uma grande influência da Onda Circumpolar Antártica, de forma que anos chuvosos (secos) estavam associados com anomalias positivas (negativas) de temperatura da superfície do mar ao redor da Austrália, sendo estas associadas em grande parte com a OCA, e anomalias de fluxo de umidade convergente (divergente) diretamente acima. Além disso, os autores mostraram que conhecer a influência da OCA sobre as anomalias de precipitação melhorou consideravelmente o sistema estatístico de previsão do clima, já que este foi capaz de prever mais de 50% da variância total, quando se considerou o domínio ao sul de 20°S, ao longo dos 40 anos estudados.

Mais recentemente, Prabhu *et al.* (2010) analisaram casos de anos com anomalias positivas de precipitação e anos com anomalias negativas de precipitação da Monção Indiana, durante o período de 1980-2005, para determinar o possível papel desempenhado pela OCA nos eventos de chuva de monção. Os autores encontraram anos com anomalias negativas (positivas) de precipitação associados a anomalias positivas (negativas) de extensão de gelo marinho sobre

os Mares de Amundsen e Bellingshausen, durante o verão austral do ano anterior ao observado, e que para o mesmo ano, anomalias negativas (positivas) de precipitação estavam associadas a anomalias positivas (negativas) de temperatura da superfície do mar. Além disso, com base nestes resultados, Prabhu *et al.* (2010) verificaram a aplicabilidade dos parâmetros associados a OCA como preditores para o caso da seca extrema ocorrida em 2009, e encontram que os padrões observados dos parâmetros associados a OCA combinam bem com os padrões compostos para os casos de seca observados anteriormente. Assim eles concluíram que a OCA tem um papel importante na modulação dos eventos de monção, e que considerar esta influência representa um avanço na previsão climática dos eventos de monção no verão Indiano.

Além da influência da Onda Circumpolar Antártica no clima dos locais mencionados anteriormente, um estudo realizado por White e Annis (2004) também constatou a influência da OCA na modulação do ENOS durante a segunda metade do século XX (1950-2001). Segundo os autores, o ramo norte da OCA alcançou a porção subtropical dos Oceanos Pacífico Sul e Índico e Sul, onde influenciou positivamente, durante todo o período de 1950 a 2001, a magnitude e a fase do El – Niño no Oceano Pacífico Equatorial Leste. Além disso, a partir de seus resultados, os autores constaram que a OCA propaga-se ao redor do Oceano Sul desde os subtropicais até os extratropicais, sendo observada principalmente entre 40°S e 65°S.

### 2.3. CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA E VARIABILIDADE CLIMÁTICA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Situado no extremo sul do Brasil (Figura 2), o Estado do Rio Grande do Sul (RS) apresenta clima do tipo subtropical úmido, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano (Mendonça e Oliveira, 2007). Devido a sua posição geográfica o Estado recebe influência das seguintes massas de ar: Massa Tropical Atlântica, Massa Tropical Continental e Massa Polar Atlântica, sendo a última a de maior impacto sobre as condições meteorológicas do Estado (Nimer, 1989).

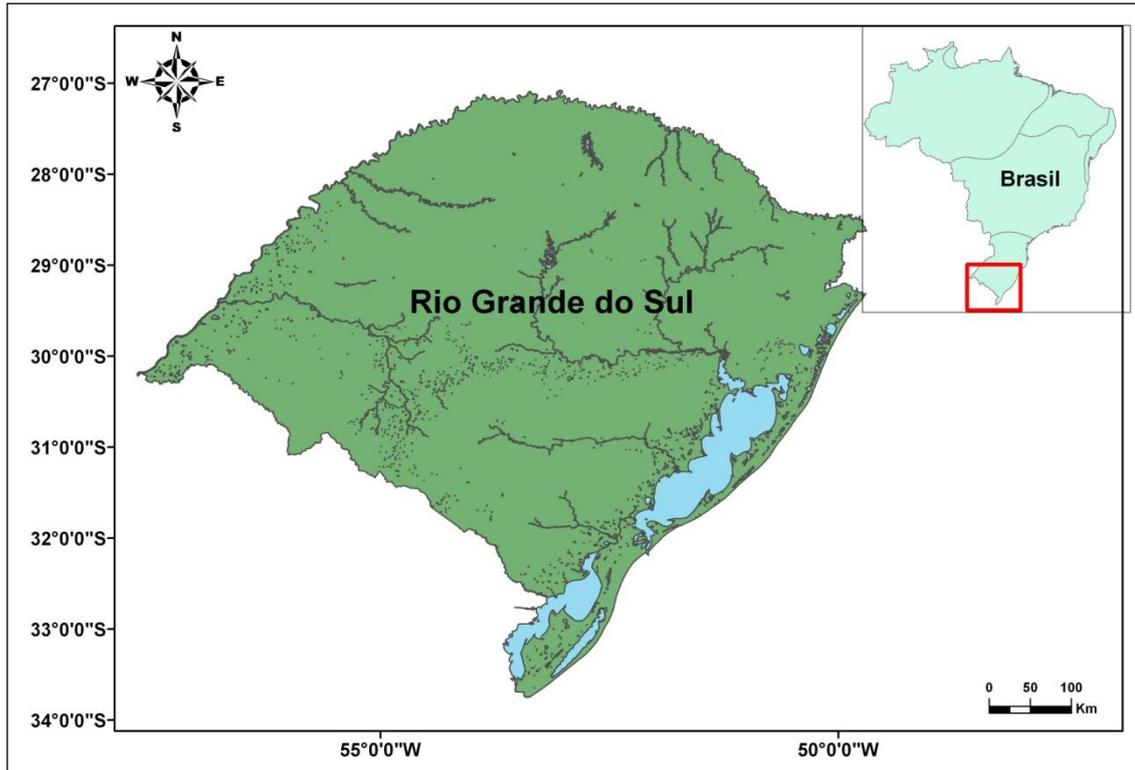


Figura 2: Localização geográfica do ESTADO do Rio Grande do Sul, Brasil.

Quanto às médias anuais de temperatura e precipitação, no RS o clima apresenta grande variação sazonal, com verões quentes e úmidos e invernos frios (Amarante e Silva, 2002). A temperatura média anual, ao longo de todo o Estado, varia entre 12°C e 22°C. Com relação à precipitação, o Estado apresenta chuvas bem distribuídas ao longo de todo o ano em decorrência das massas de ar oceânicas que penetram no Estado (ATLAS, 2011). O volume de chuvas, no entanto não é espacialmente homogêneo, ocorrendo no sul uma precipitação média entre 1.299 e 1.500mm e, no norte entre 1.500 e 1.800mm, com intensidade maior de chuvas no extremo noroeste do Estado (Amarante e Silva, 2002). Além disso, uma análise da variabilidade mensal e sazonal da precipitação no RS realizada por Britto *et al.* (2006) mostrou que sazonalmente, no litoral e no centro-sul do Estado, os meses de inverno são os mais chuvosos, devido a frequência de passagens de sistemas frontais. Além disso, no sudoeste do Estado, o outono é mais chuvoso porque as frentes que já começam a chegar com maior frequência ficam estacionadas devido à atuação dos bloqueios atmosféricos; no noroeste os meses da primavera são os mais chuvosos, devido à formação dos Complexos Convectivos de Mesoescala; e no verão chove mais na sub-região nordeste do ESTADO, em função das chuvas convectivas associadas a sistemas atmosféricos como a Zona de Convergência do Atlântico Sul.

Desta forma pode-se perceber que diversos sistemas sinóticos atuam no clima do Estado do Rio Grande do Sul. Além destes, outras forçantes de maior escala espaço-temporal, tais como os padrões de variabilidade climática El-Niño – Oscilação Sul, Oscilação Antártica e Oscilação Decadal do Pacífico também influenciam o clima do Estado.

A influência do ENOS no clima do RS é bem conhecida (Nery *et al.*, 1997; Diaz *et al.*, 1998; Berlato e Fontana, 2003; Britto *et al.*, 2008). Estes estudos e outros têm mostrado que o ENOS exerce um papel significativo nas anomalias interanuais de precipitação no RS. Embora seja mais evidente a influência do ENOS sobre o regime de precipitação, o regime térmico também pode ser modificado (Britto *et al.*, 2006). Em geral, no RS em anos de El-Niño, são observadas anomalias positivas de precipitação e temperatura, enquanto que em anos de La-Niña são observadas anomalias negativas de precipitação. Embora seja evidente a influência do ENOS no clima do RS, alguns estudos (Studzinski, 1995; Nery *et al.*, 1997; Britto *et al.*, 2008) também têm identificado anos com anomalias positivas/negativas na precipitação ou na temperatura do ar à superfície não relacionadas com o ENOS.

A influência de outros padrões de variabilidade climática no clima do RS é bem menos conhecida. Estudos recentes, ainda que escassos, têm mostrado que existe uma relação entre a precipitação e a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), de modo que décadas com anomalias positivas de precipitação estão associadas à fase quente da ODP e décadas com anomalias negativas de precipitação estão associadas à fase fria da ODP, o que indica oscilações periódicas de médio e longo prazo na precipitação do RS (Sperling *et al.*, 2009; Streck *et al.*, 2009; Prestes *et al.*, 2010).

Poucos estudos também são encontrados a respeito da influência da Oscilação Antártica no clima do Rio Grande do Sul. Marques *et al.* (2010) analisando dados de precipitação mensal que cobriram o período de 1979 a 2008, encontraram que situações de sinais negativos bem definidos do Índice de Oscilação Antártica mostram padrões atmosféricos associados à intensificação da alta polar, contribuindo para que as frentes frias sejam mais organizadas e mais intensas sobre o Rio Grande do Sul. Situações de sinais positivos bem definidos estão associadas a enfraquecimento da alta polar e desorganização dos sistemas frontais. Oliva e Justi da Silva (2011), usando dados mensais para um período de 30 anos (1979-2008), encontraram uma ocorrência de maior volume de chuva durante a fase negativa da Oscilação Antártica, em contraste com chuva reduzida na fase positiva.

## **CAPÍTULO 3: DADOS E METODOLOGIA**

### **3.1 DADOS**

Neste estudo foram utilizados dois conjuntos de dados, ambos cobrindo o período de 1981 a 2006. O primeiro conjunto consiste de valores mensais de temperatura média do ar a 2 metros da superfície (TS) e de precipitação (PRP). As médias mensais de TS foram obtidas a partir da média aritmética entre médias mensais da temperatura mínima do ar a 2 metros superfície (TMIN) e médias mensais da temperatura máxima do ar a 2 metros da superfície (TMAX), ou seja,  $TS = (TMIN + TMAX) / 2$ . Os dados de totais mensais de precipitação e das temperaturas mínima e máxima do ar a 2 metros da superfície são referentes a 25 estações meteorológicas (Tabela 1) distribuídas no Estado do Rio Grande do Sul (Figura 3) e foram obtidos do Banco de Dados do Centro de Meteorologia Aplicada pertencente à Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária - FEPAGRO/SCT-RS e do 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Os dados de médias mensais da temperatura mínima e máxima do ar à superfície utilizados neste trabalho tiveram suas falhas preenchidas por Diniz (2002), que utilizou o método das correlações para obter séries completas.

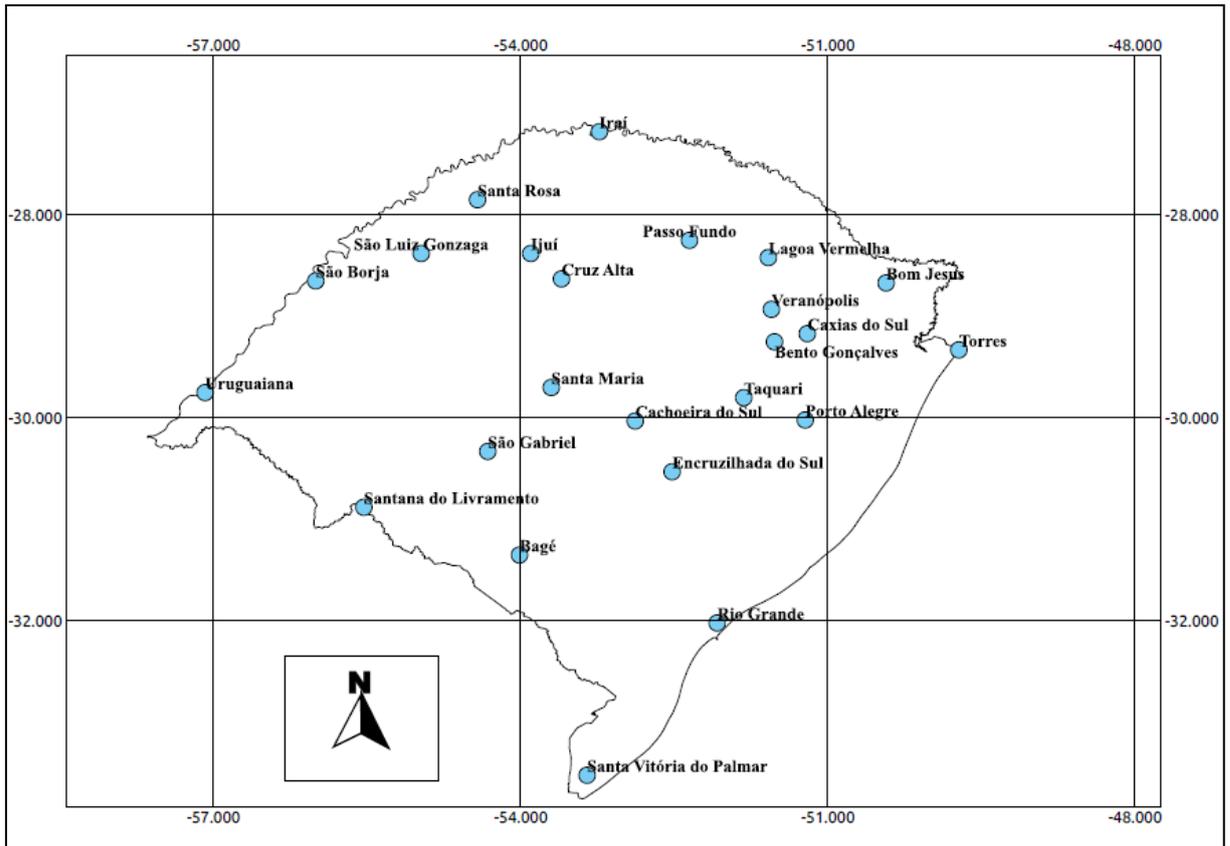


Figura 3: Localização geográfica das 25 estações meteorológicas distribuídas no Estado do Rio Grande do Sul.

O segundo conjunto de dados refere-se às médias mensais de temperatura da superfície do mar (TSM), pressão ao nível médio do mar (PNMM), umidade específica (UMI) em 1000 hPa e componente meridional do vento (VMS) em 1000 hPa. Estes dados foram extraídos a partir da nova reanálise do NCEP - *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR; Saha et al., 2010). O sistema de assimilação de dados e de modelagem da nova reanálise do NCEP, *i.e.*, CFSR, foi aprimorado em comparação com as reanálises anteriores do NCEP, através principalmente, do acoplamento de um sistema de modelagem oceânica do *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory* (GFDL) *Modular Ocean Model* versão 4 (MOM4; Griffies et al., 2004). Em comparação com as anteriores, a CFSR inclui um acoplamento oceano-atmosfera durante a geração do “*guess field*” (6 horas), um modelo de gelo-marinho interativo e um modelo atmosférico, onde a resolução atmosférica global é de aproximadamente 38 km (T382), com 64 níveis verticais, estendendo-se da superfície até 0,26 hPa. O modelo oceânico global possui resolução de 0,25° no Equador, estendendo-se para 0,5° além dos trópicos, com 40 níveis (4737 metros). Já o modelo de superfície global tem 4 níveis de solo e o modelo de gelo marinho tem 3 níveis. Além disso, na nova reanálise o modelo atmosférico contém variações observadas de CO<sub>2</sub> sobre todo o período de 1979-2009, juntamente com mudanças

em aerossóis e outros gases traços, além de variações na atividade solar (CFSR; Saha *et al.*, 2010).

Tabela 1: Estações Meteorológicas do ESTADO do Rio Grande do Sul, coordenadas geográficas, altitude e instituições a que pertencem.

Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Fonte
Bagé	31°21'	54°06'	215	8° DISME
Bento Gonçalves	29°15'	51°31'	619	8° DISME
Bom Jesus	28°40'	50°26'	1047	8° DISME
Cachoeira do Sul	30°02'	52°53'	72	8° DISME
Caxias do Sul	29°10'	51°12'	785	8° DISME
Cruz Alta	28°38'	53°36'	472	8° DISME
Encruzilhada do Sul	30°32'	52°31'	427	8° DISME
Ijuí	28°23'	53°54'	448	FEPAGRO
Iraí	27°11'	53°14'	222	8° DISME
Lagoa Vermelha	28°25'	51°35'	836	8° DISME
Passo Fundo	28°15'	52°21'	676	8° DISME
Pelotas	31°52'	52°21'	13	8° DISME
Porto Alegre	30°01'	51°13'	46	8° DISME
Rio Grande	32°01'	52°05'	5	8° DISME
Santa Maria	29°42'	53°42'	95	8° DISME
Santa Rosa	27°51'	54°25'	360	8° DISME
Santa Vitória do Palmar	33°31'	53°21'	6	8° DISME
Santana do Livramento	30°53'	55°32'	210	8° DISME
São Borja	28°39'	56°00'	96	FEPAGRO
São Gabriel	30°20'	54°19'	124	8° DISME
São Luiz Gonzaga	28°23'	54°58'	254	8° DISME
Taquari	29°48'	51°49'	76	8° DISME
Torres	29°20'	49°43'	43	8° DISME
Uruguaiana	29°45'	57°05'	74	8° DISME
Veranópolis	28°56'	51°33'	705	FEPAGRO

## 3.2 METODOLOGIA

### 3.2.1 Cálculo das anomalias anuais de precipitação e temperatura

Para cada uma das 25 estações meteorológicas foram calculadas médias anuais de TS e PRP a partir dos valores mensais. Então foi feito o cálculo das anomalias anuais normalizadas, dividindo-se o valor das anomalias pelo desvio padrão correspondente, obtendo assim 26

anomalias anuais de precipitação (APRP) e de temperatura (ATS) para cada uma das 25 estações.

### **3.2.2 Análise de Agrupamento das anomalias anuais de precipitação e temperatura**

#### **3.2.2.1 Fundamentação teórica**

A análise de agrupamento (*cluster analysis*) é uma técnica útil na identificação de grupos homogêneos baseada no grau de similaridades entre um número  $X$  de observações individuais (Wilks, 2006). Segundo Hair *et al.* (2005), as características de cada objeto são combinadas em uma medida de semelhança, que pode ser de similaridade ou dissimilaridade, calculada para todos os pares de objetos, possibilitando a comparação de qualquer objeto com outro pela medida de similaridade e a associação dos objetos semelhantes por meio da análise de agrupamento.

A ideia central da análise de agrupamento de dados é o conceito de distância. Agrupamentos devem ser compostos de pontos separados por pequenas distâncias, relativas às distâncias entre os grupos. A medida de distância mais comumente usada na análise de agrupamentos é a distância euclidiana (Wilks, 2006). Segundo Hair *et al.* (2005), a distância euclidiana essencialmente é uma medida do comprimento de um segmento de reta desenhado entre dois objetos e é utilizada para calcular medidas específicas, assim como a distância euclidiana simples e a distância euclidiana quadrática ou absoluta. A última consiste na soma dos quadrados das diferenças, sem calcular a raiz quadrada. Quanto mais próximo de zero for a distância euclidiana, mais similares são os objetos comparados.

A identificação dos grupos pode ser realizada através de dois tipos de procedimentos: os hierárquicos e os não hierárquicos (Wilks, 2006). Os procedimentos hierárquicos se caracterizam pelo estabelecimento de uma hierarquia ou estrutura em forma de árvore, denominada dendograma. Estes procedimentos formam agrupamentos por meio de uma sequência crescente de partições de grupos – abordagem divisiva – ou de junções sucessivas de grupos – abordagem aglomerativa. Os métodos hierárquicos mais utilizados são: ligação simples (método do vizinho mais próximo), ligação completa (método do vizinho mais distante), ligação média, método do centroide e método de Ward (Hair *et al.*, 2005).

Os procedimentos não hierárquicos, diferentemente dos hierárquicos, produzem um número fixo de agrupamentos (Hair *et al.*, 2005). Esses procedimentos têm por objetivo encontrar diretamente uma partição de  $n$  elementos em  $g$  grupos pré-especificados pelo pesquisador. Um dos procedimentos não hierárquicos mais utilizado é o método  $k$ -médias.

Vale salientar que embora não exista o que se possa chamar de melhor método na análise de agrupamentos, alguns são mais indicados para determinadas situações do que outros. Por exemplo, para agrupar anomalias de precipitação e temperatura não é possível estabelecer a priori o número ideal de grupos a serem formados. Nesse caso, os métodos não hierárquicos não são apropriados, pois sua aplicação exigiria grande esforço de cálculo nas sucessivas tentativas para encontrar o número adequado de grupos.

Um método hierárquico bastante utilizado na Meteorologia é o método de Ward (Wilks, 2006). Segundo Hair *et al.* (2005), o método de Ward consiste em um procedimento de agrupamento hierárquico no qual a medida de similaridade usada para juntar agrupamentos é calculada como a soma de quadrados entre os dois agrupamentos feita sobre todas as variáveis. Esse método tende a resultar em agrupamentos de tamanhos aproximadamente iguais devido a sua minimização de variação interna. O método começa com  $n$  grupos de membros individuais e uni dois grupos em cada passo de tempo, até que todos os dados estejam em um único grupo depois de  $n-1$  passos de tempo. O método de Ward forma grupos, minimizando o total das somas de quadrados dentro de grupos, também conhecida como soma de quadrados dos desvios (SQD). Em cada etapa do procedimento, são formados grupos, de tal maneira que a solução resultante tenha o menor SQD dentro de grupos. Nessas etapas, são consideradas as uniões de todos os possíveis pares de grupos e, os dois que resultam em menor aumento de SQD são agrupados até que todos os grupos formem um único, reunindo todos os indivíduos (Everitt e Dunn, 1991).

Para identificar o estágio da análise que apresenta a quantidade de grupos mais adequada é identificado o ponto onde ocorre uma alteração evidente na distância entre os “grupos”, ou seja, um salto (Wilks, 2006). Assim, define-se como ponto de parada aquele que antecede ao grande aumento da distância. Desta forma, determina-se a quantidade de grupos que sairá da análise.

### 3.2.2.2 Identificação das regiões homogêneas e dos anos secos/chuvosos e de anos quentes/frios

A identificação das regiões homogêneas de anomalias anuais de precipitação e temperatura foi feita através do método de Ward, tendo como medida de dissimilaridade a distância euclidiana. O método foi escolhido por ser um método hierárquico que tem sido usado com sucesso em diversos trabalhos de identificações de regiões homogêneas de precipitação ou temperatura (Lyra *et al.*, 2006; Fachine e Galvínio, 2008; Guedes *et al.*, 2010). Identificada as regiões homogêneas uma nova série de anomalias foi calculada, a partir da média aritmética das anomalias anuais das estações pertencentes a cada região homogênea. Como resultado obteve-se 26 anomalias médias regionais (1981 a 2006) para cada região homogênea. Posteriormente, foram identificados os anos com anomalias positivas ou negativas de precipitação e temperatura (secos/chuvosos e frios/quentes) para cada uma das regiões homogêneas identificadas.

### 3.2.3 Identificação e evolução espaço-temporal da Onda Circumpolar Antártica

A técnica utilizada para a identificação e reconstrução da evolução espaço-temporal das componentes na banda interanual de número de onda 2 e número de onda 3 da Onda Circumpolar Antártica foi a Análise Espectral pelo Método das Janelas Múltiplas (“*Multitaper*”) associada à Decomposição dos Valores Singulares (MJM-DVS) (Mann e Park, 1999). Esta técnica já tem sido utilizada em outros estudos para estudar a Onda Circumpolar Antártica (Mann e Park, 1999; Venegas, 2003; White *et al.*, 2004). Estes estudos, utilizando a técnica MJM-DVS, encontraram na banda interanual duas componentes da Onda Circumpolar Antártica, a OCA2 (número de onda 2) e a OCA3 (número de onda 3). A escolha deste método vem do fato de que ele identifica padrões acoplados, ou seja, identifica somente “modos de comportamento” nos quais as variações de dois campos quaisquer estão fortemente acopladas, e como a Onda Circumpolar Antártica se trata de um modo acoplado no sistema criosfera-atmosfera-oceano, este é o método mais adequado para identificá-la.

Para a identificação da OCA, a região selecionada compreende o cinturão de latitude entre 30°S e 90°S. Este cinturão de latitude foi selecionado, pois segundo White e Annis (2004) e White *et al.* (2004), a Onda Circumpolar Antártica pode ser encontrada propagando-se ao redor do globo desde os subtropicais até os extratropicais. Além disso, a resolução espacial dos

dados de TSM, PNMM, UMI e VMS, que era inicialmente de 0.5° de latitude por 0.5° de longitude, foi reduzida para 5° de latitude por 5° de longitude por meio do método “*Box Averaging*”. A redução da resolução espacial foi realizada devido a escala espaço-temporal necessária para detectar a variabilidade climática em escala de bacia sobre o oceano superior global (White, 1995). A partir destes dados, anomalias mensais foram calculadas a partir da subtração das médias mensais de longo termo dos dados originais, e a partir destas, 12 desvios padrões de longo-termo foram calculados. As anomalias mensais normalizadas foram calculadas a partir da razão entre as anomalias e os respectivos desvios padrões de longo-termo (Venegas, 2001). O cálculo do desvio padrão de longo-termo foi feito conforme a equação (1), onde ( $\varphi$ ) são as anomalias mensais calculadas,  $t = 1 \dots N$  é o comprimento da série (no estudo presente  $N = 312$ ) e  $m$  representa cada ponto de grade:

$$\sigma_m = \left[ \frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^N \varphi_m^2(t) \right]^{1/2} \quad (1)$$

Primeiramente foi feita uma análise MJM-DVS conjunta entre as anomalias normalizadas de TSM e PNMM a fim de identificar e isolar as duas componentes OCA2 e OCA3. Uma segunda análise MJM-DVS conjunta entre as anomalias normalizadas das quatro variáveis: TSM, PNMM, UMI e VMS a fim de isolar os padrões de vento meridional e de umidade específica associados às componentes OCA2 e OCA3.

### 3.2.3.1 Fundamentação teórica da Técnica MJM-DVS

O MJM-DVS é uma técnica de análise multivariada de detecção de sinais desenvolvida por Mann e Park (1999) que objetiva identificar oscilações em bandas estreitas estatisticamente significantes, que estão correlacionadas em um grande número de séries temporais (locais). Ela explora a análise espectral do Método das Múltiplas Janelas, em combinação com a Decomposição de Valores Singulares (Venegas, 2001). A seguir faz-se uma breve descrição do MJM-DVS. Para um maior detalhamento consultar Mann e Park (1999).

Cada série temporal  $F_m(t)$ , onde  $t = 1, \dots, N$  é o comprimento da série e  $m = 1, \dots, M$  é o número de locais ou pontos de grade, é primeiramente normalizada e transformada do domínio temporal ao domínio espectral utilizando o Método Espectral de Múltiplas Janelas (MJM) (Mann e Park, 1999). No MJM para cada uma das  $M$  séries temporais calcula-se  $K$

autoespectros independentes  $Y_m^s(f)$  pela multiplicação das séries temporais por uma família de  $K$  janelas Slepianas, que são construídas de forma que minimizam a perda espectral devido ao comprimento finito dos dados. O número  $K$  de janelas Slepianas deve ser menor que  $2p - 1$ , onde  $p$  é um número inteiro que representa a largura da banda de frequência/tempo e define uma família particular de janelas Slepianas com sequências de comprimento  $N$  que tem a maior concentração possível de energia no intervalo de frequência  $[-W; +W]$ . Para comprimentos típicos de registros climáticos, os valores  $K = 3$  e  $p = 2$  têm fornecidos bons resultados. Segundo Venegas (2001), a técnica MJM-DVS busca reter as informações estatísticas fornecidas por cada autoespectro independente a fim de encontrar uma combinação linear ótima entre eles. Esta combinação linear ótima é tal que maximiza a variância (sobre todos os locais) explicada pelo padrão dominante em cada banda de frequência da decomposição. Os valores dos  $K$  autoespectros para as  $M$  séries temporais são organizados em uma matriz para cada frequência  $f$  de dimensão  $M \times K$ . Por exemplo, a matriz  $Y(f)$  para uma dada frequência  $f$  tem a seguinte forma:

$$Y(f) = \begin{bmatrix} Y_1^1(f) & \cdots & Y_1^K(f) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_M^1(f) & \cdots & Y_M^K(f) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Feita a MJM, a DVS é então realizada em cada matriz  $Y(f)$  e a partir da aplicação da mesma são obtidas um conjunto de três matrizes: duas contendo os vetores singulares (em uma matriz os vetores singulares representam os padrões de função ortogonal empírica espaciais e na outra os vetores singulares representam os padrões de função ortogonal empírica espectrais) e uma contendo os valores singulares. Em uma dada frequência, o primeiro valor singular da decomposição é proporcional a variância explicada pelo primeiro modo DVS, isto é, o padrão mais significativo detectado nos dados dentro de uma banda estreita ao redor daquela frequência. Um espectro de variância fracional local é então construído pela plotagem da percentagem da variância explicada pelo primeiro modo em cada frequência.

Os níveis de significância estatística são determinados através do procedimento de reamostragem de *bootstrap* (Mann e Park, 1999), um teste de significância estatística não paramétrico no qual os campos originais são permutados, com reposição no tempo, enquanto a estrutura espacial é mantida intacta. Este procedimento de reamostragem é feito para um grande número de amostras *bootstrap* (cerca de 1000 a 2000) e então o MJM-DVS é aplicado

para cada uma delas. Assim, são obtidos, por exemplo, 1000 espectros de VFL em cada frequência, que constituem uma estimativa da distribuição nula do parâmetro VFL para o ruído colorido correlacionado espacialmente na ausência do sinal. Níveis de significância empíricos são obtidos a partir dos percentis 50%, 80%, 90%, 95% e 99% desta distribuição nula (Venegas, 2001).

Identificados os picos significativos, a evolução espaço-temporal do padrão associado com o primeiro modo da DVS na frequência pode ser reconstruída através da combinação das duas matrizes de vetores singulares complexas obtidas através da DVS, isto é, as funções ortogonais empíricas espectrais e espaciais e da reincorporação do desvio padrão obtido inicialmente na normalização das séries temporais (Mann e Park, 1999).

#### **3.2.4 Análise da Influência Combinada das componentes OCA2 e OCA3 da Onda Circumpolar Antártica, da Oscilação Antártica e do El-Niño/Oscilação Sul sobre as Anomalias Anuais Regionais de Precipitação**

Estudos têm mostrado que diferentes padrões climáticos interanuais atuam sobre a precipitação no Rio Grande do Sul (Britto et al., 2008; Marques et al. 2010; Oliva e Justi da Silva, 2011). Assim, no presente estudo, com o objetivo de se avaliar a atuação conjunta dos padrões climáticos sobre as anomalias anuais de precipitação, foi analisada a influência combinada da OCA3 da Onda Circumpolar Antártica, da AAO e do ENOS sobre as anomalias anuais de precipitação, com base nos resultados encontrados neste estudo e em estudos anteriores. Esta análise é justificada pelo fato de que alguns estudos anteriores (Nery *et al.*, 1997; Britto *et al.*, 2008) têm identificado anos com anomalias positivas/negativas na precipitação sobre o RS não relacionadas com os padrões de variabilidade climática interanuais já estudados, como o ENOS e a AAO.

Os valores anuais dos índices da AAO e do ENOS foram calculados a partir de dados de médias mensais dos mesmos. Os dados de médias mensais do Índice de Oscilação Antártica foram obtidos através do *Climate Prediction Center/National Centers for Environmental Prediction* (CPC/NCEP) para o período compreendido entre janeiro de 1981 e dezembro de 2006. O CPC computa o Índice de Oscilação Antártica diariamente através da projeção das anomalias de altura geopotencial em 700 hPa sobre o modo principal da EOF (EOF-1)

derivado de médias mensais de anomalias de altura geopotencial em 700 hPa de 20° a 90° S (mais informações disponíveis em <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/>).

O Índice escolhido para se determinar anos de El-Niño ou La-Niña foi o “novo” Niño 3.4 (5S-5N; 170W-120W). Neste novo índice a tendência de aquecimento significativa que tem sido observada na região do Niño 3.4 foi removida. Para isto, o CPC considerou múltiplos períodos base centrados em 30 anos que foram usados para definir o Índice Niño Oceânico (INO). Estes períodos base de 30 anos foram usados para calcular as anomalias para sucessivos períodos de 5 anos no registro histórico. Assim, valores de INO durante 1950-1955 serão baseados no período base de 1936-1965, valores de INO durante 1956-1960 serão baseados no período base 1941-1970, e assim por diante.

## CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 REGIÕES HOMOGÊNEAS DAS ANOMALIAS ANUAIS DE TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

A partir da Análise de Agrupamento das ATS e APRP foi possível identificar três regiões homogêneas para a primeira (Figura 4) e quatro regiões homogêneas para a última (Figura 5). Em relação às ATS, a primeira região homogênea reúne estações meteorológicas localizadas principalmente no sul do Estado do RS, a oeste das Lagoas dos Patos e Mirim, e estações meteorológicas espalhadas pelo norte do RS (Ijuí, Torres, Veranópolis e Taquari); a segunda região homogênea reúne estações meteorológicas localizadas na porção centro-norte do RS; e a terceira região homogênea reúne estações meteorológicas localizadas, principalmente, tanto na porção noroeste do RS, como no litoral sul do Estado. As regiões homogêneas 1, 2, 3 e 4 das APRP do Estado do RS reúnem estações localizadas principalmente, respectivamente, nas porções sul, central, nordeste e noroeste do Estado. Como já observado em outros trabalhos (Diniz (2002); Araújo (2005); Machado *et al.*, (2010) e Santos *et al.*, (2011)), a aproximação física das estações meteorológicas não garantiu a afinidade climática entre elas e as regiões homogêneas parecem se agrupar pela combinação da atuação tanto de forçantes locais (variação latitudinal, relevo, vegetação e atuação de massas de ar), como de forçantes remotas (padrões de variabilidade climática). Embora se tenha observado esta combinação de fatores atuantes em ambas variáveis, as APRP apresentaram menor variabilidade espacial que as ATS, visto que ao contrário das primeiras, as últimas apresentaram regiões homogêneas partidas em locais distintos (Regiões 1 e 3).

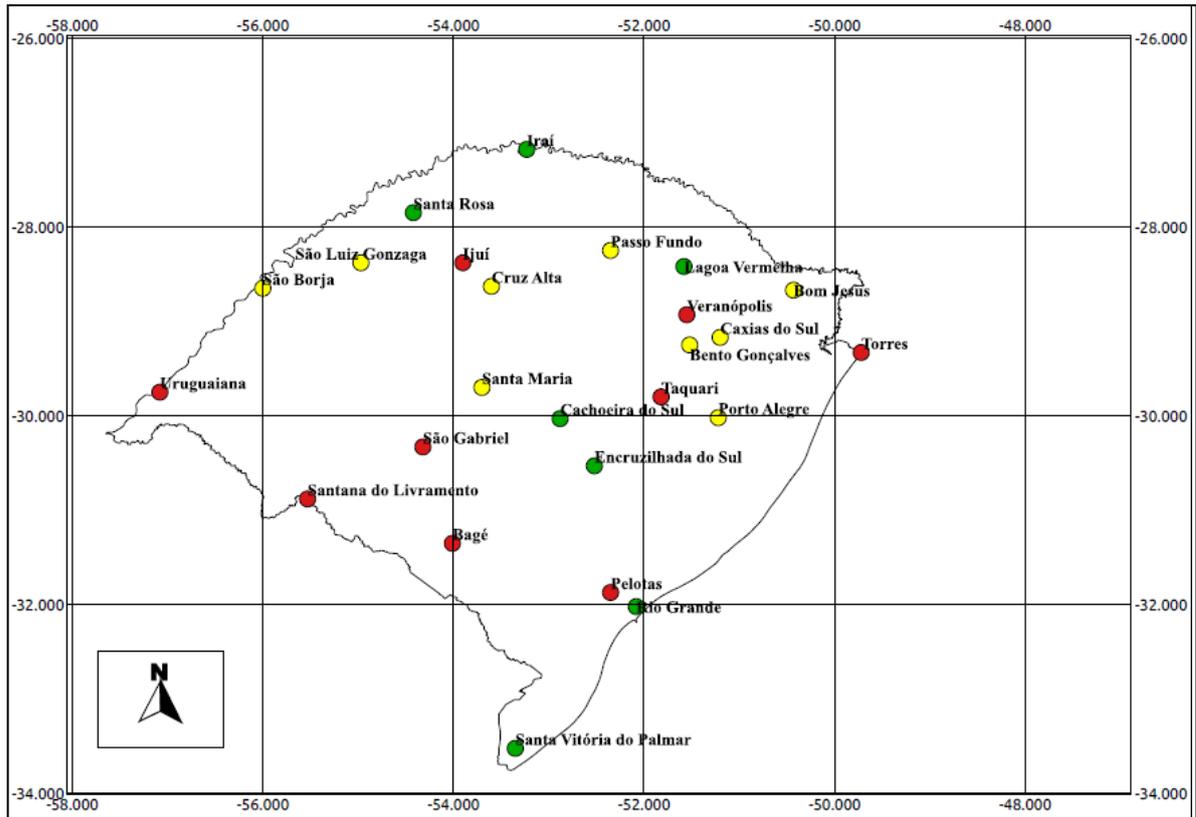


Figura 4: Regiões homogêneas das anomalias anuais de temperatura, para o período de 1981 a 2006. As estações meteorológicas pertencentes às Regiões homogêneas 1, 2 e 3 são sinalizadas, respectivamente, pelas bolinhas de cor azul, amarela e vermelha.

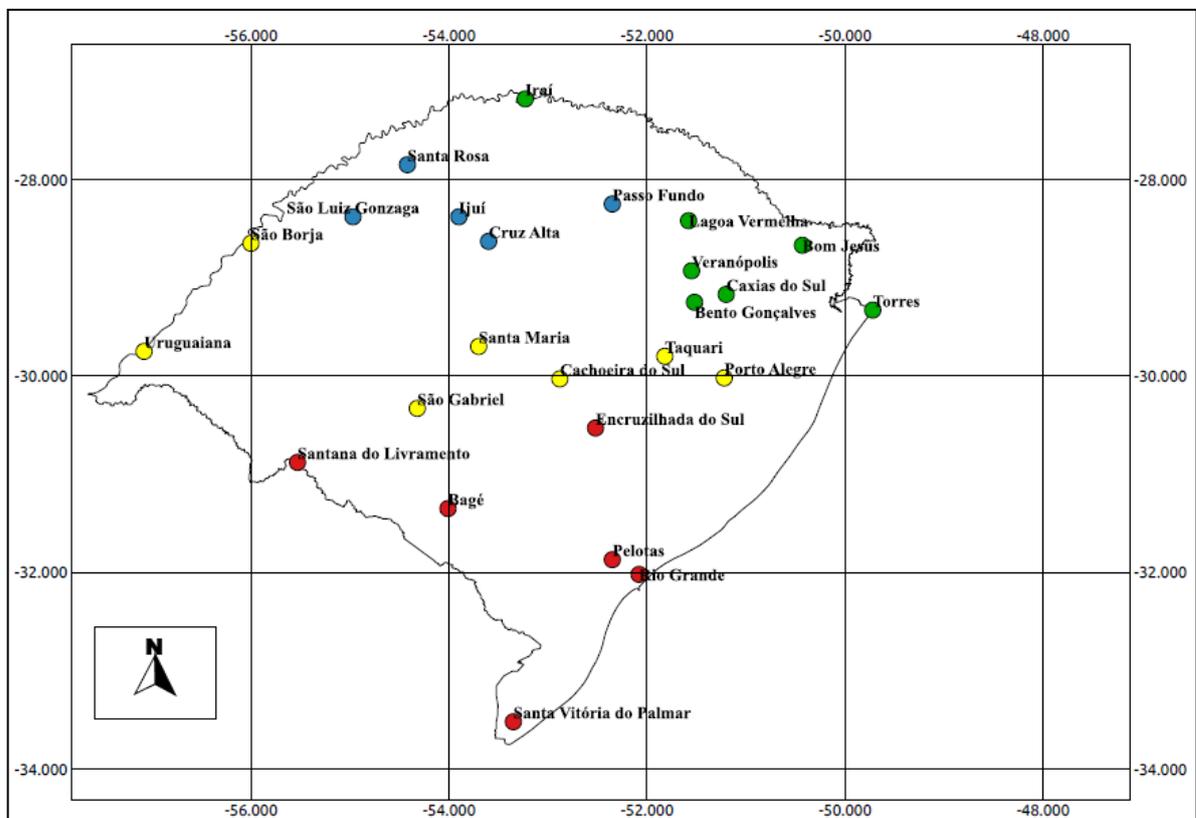


Figura 5: Regiões homogêneas das anomalias anuais de precipitação, para o período de 1981 a 2006. As estações meteorológicas pertencentes às Regiões homogêneas 1, 2, 3 e 4 são sinalizadas, respectivamente, pelas bolinhas de cor vermelha, amarela, verde e azul.

Uma análise da variabilidade interanual das ATS e APRP foi realizada através do cálculo da raiz quadrada da média (RMS) dos valores das séries de anomalias de cada uma das regiões homogêneas, a fim de mostrar onde a variabilidade interanual é relativamente fraca ou forte. A partir da Tabela 2, pode ser notado que dentre as regiões homogêneas de ATS, a porção Central e Nordeste (Região 2) do RS é a região em que foram observadas as maiores variações de temperatura de um ano para outro, e que dentre as regiões homogêneas de APRP, a porção Central e Noroeste (Regiões 2 e 4) do RS é a região em que foram observadas as maiores diferenças de precipitação de um ano para outro. Isto sugere que as porções Central e Noroeste do RS são as que mais estão sob influência dos padrões de variabilidade climática de escala interanual.

Tabela 2: Raiz média quadrada das anomalias anuais regionais de precipitação e temperatura para o período de 1981 a 2006.

Regiões	RMS	
	ATS	APRP
1	0,822	0,840
2	0,929	0,879
3	0,800	0,876
4	----	0,932

A análise espaço-temporal das APRP (Tabela 3) mostrou que dos 26 anos: 7 (7) anos apresentaram anomalias anuais positivas (negativas) nas quatro regiões e 12 anos apresentaram pelo menos uma região com anomalia de sinal oposto as demais. Já as ATS mostram-se com um comportamento qualitativo bem mais uniforme (Tabela 4), dado que dos 26 anos analisados, 9 (11) anos apresentaram anomalias anuais positivas (negativas) de temperatura nas três regiões. Assim, sugere-se que as forçantes dominantes sobre as ATS possuem grande abrangência espacial e atuam de forma semelhante sobre todo o Estado do RS. Por outro lado, os resultados indicam que para as APRP estas forçantes atuam geralmente de forma mais localizada, ou seja, com menor abrangência espacial, ou ainda atuam de forma diferenciada.

Tabela 3: Anomalias anuais normalizadas de Precipitação das quatro regiões homogêneas, para o período de 1981 a 2006.

<b>Anomalias anuais de precipitação</b>				
<b>Anos</b>	<b>Região 1</b>	<b>Região 2</b>	<b>Região 3</b>	<b>Região 4</b>
<b>1981</b>	-0,48	-1,26	-1,37	-1,42
<b>1982</b>	0,06	0,48	-0,13	0,13
<b>1983</b>	0,21	0,26	1,79	1,70
<b>1984</b>	0,41	1,36	1,20	0,57
<b>1985</b>	-0,21	0,44	-0,89	0,13
<b>1986</b>	0,51	1,74	-0,16	0,53
<b>1987</b>	0,23	0,66	1,07	0,69
<b>1988</b>	-1,30	-0,97	-0,63	-0,72
<b>1989</b>	-1,15	-1,11	0,01	0,03
<b>1990</b>	0,19	0,63	0,89	0,94
<b>1991</b>	-0,48	-0,92	-1,32	-1,30
<b>1992</b>	0,18	-0,19	0,17	0,54
<b>1993</b>	-0,16	0,02	0,05	0,34
<b>1994</b>	-0,18	0,65	0,74	0,66
<b>1995</b>	-0,46	-0,80	-0,89	-1,39
<b>1996</b>	-0,93	-0,64	0,38	-0,35
<b>1997</b>	0,67	0,63	0,47	0,98
<b>1998</b>	1,09	0,50	-0,11	1,23
<b>1999</b>	-1,08	-0,59	-1,21	-0,88
<b>2000</b>	0,13	0,29	0,05	0,06
<b>2001</b>	1,52	0,12	0,79	-0,52
<b>2002</b>	2,53	1,48	0,98	1,92
<b>2003</b>	0,37	0,19	-0,21	0,20
<b>2004</b>	-0,48	-1,61	-1,41	-1,59
<b>2005</b>	-0,65	-0,58	0,01	0,49
<b>2006</b>	-0,88	-1,22	-1,28	-0,77

Tabela 4: Anomalias anuais normalizadas de Temperatura das quatro regiões homogêneas, para o período de 1981 a 2006.

<b>Anomalias anuais de temperatura</b>			
<b>Anos</b>	<b>Região 1</b>	<b>Região 2</b>	<b>Região 3</b>
<b>1981</b>	0,48	0,10	0,07
<b>1982</b>	0,49	0,14	-0,34
<b>1983</b>	-0,73	-1,57	-1,25
<b>1984</b>	-0,17	-0,59	-0,87
<b>1985</b>	1,53	0,63	0,35
<b>1986</b>	1,55	0,74	0,49
<b>1987</b>	-0,02	-1,07	-0,53
<b>1988</b>	-0,79	-1,30	-0,96
<b>1989</b>	-0,32	-1,39	-0,23
<b>1990</b>	-0,68	-1,05	-0,74
<b>1991</b>	1,13	1,18	0,87
<b>1992</b>	-0,42	-0,84	-0,49
<b>1993</b>	0,12	-0,58	-0,47
<b>1994</b>	0,18	0,47	-0,30
<b>1995</b>	-0,28	0,43	-0,39
<b>1996</b>	-0,35	-0,49	-0,25
<b>1997</b>	0,68	0,75	0,86
<b>1998</b>	-1,36	-0,66	-0,41
<b>1999</b>	-0,94	-0,54	-0,72
<b>2000</b>	-1,28	-0,30	-0,25
<b>2001</b>	1,25	2,14	1,72
<b>2002</b>	0,19	0,95	1,23
<b>2003</b>	-1,19	0,28	0,43
<b>2004</b>	-0,92	-0,15	0,38
<b>2005</b>	0,32	0,98	1,55
<b>2006</b>	0,34	1,33	1,35

#### 4.2 EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA ONDA CIRCUMPOLAR ANTÁRTICA

O espectro de Variância Fracional Local do campo conjunto de TSM e PNMM mostrado na Figura 6 revelou as componentes da Onda Circumpolar Antártica com número de onda 2 (OCA2) e número de onda 3 (OCA3) com período de 4,27 anos e 3,55 anos, respectivamente. Os picos foram encontrados com significância de 99 %. A identificação das componentes OCA2 e OCA3 foi feita comparando-se os padrões espaço-temporal reconstruídos de anomalias de TSM e PNMM de cada um dos picos significativos encontrados na escala interanual encontrados neste estudo com os padrões espaço-temporal das componentes de

número de onda 2 e 3 já identificados por Venegas (2003) e White e Annis (2004). As análises de Correlação Cruzada (não mostradas aqui), bem como a reconstrução dos padrões (Figuras 7 e 8) mostraram anomalias de TSM associadas as OCA2 e OCA3 propagando-se para leste ao redor do Oceano Sul com as maiores anomalias localizadas no Oceano Pacífico, de forma que em ambas OCA2 (Figura 7) e OCA3 (Figura 8), estas anomalias positivas de TSM foram observadas a leste de centros de anomalias positivas de PNMM, concordando com os padrões espaciais associados às componentes já identificados em outros trabalhos (White e Peterson, 1996; Connolley, 2003; Venegas, 2003; White e Annis, 2004).

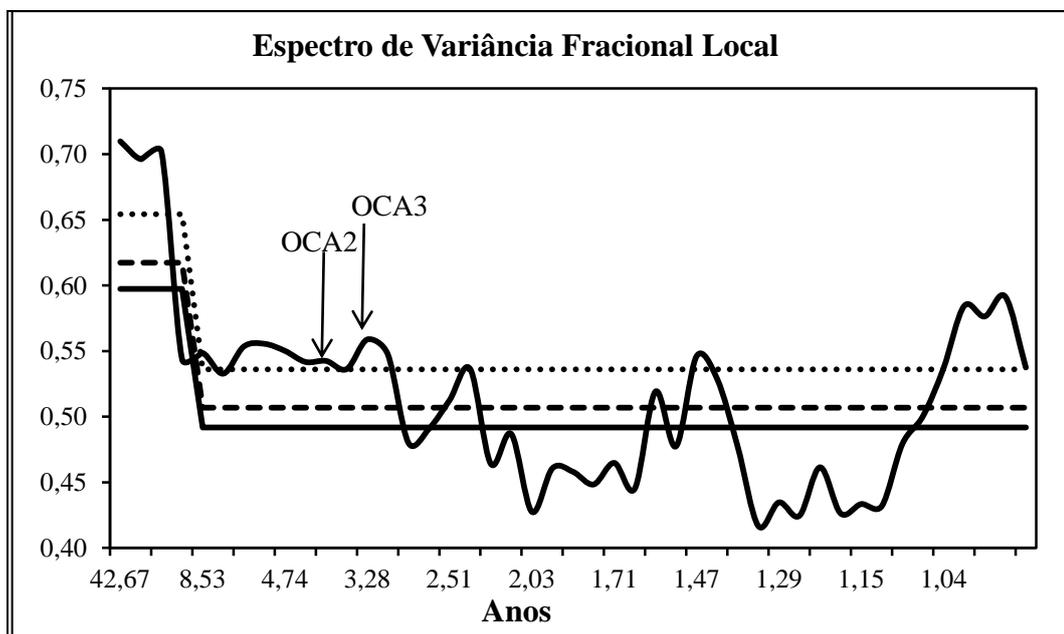


Figura 6: Espectro de Variância Fracional Local do campo conjunto de TSM e PNMM baseado no período de 1981-2006, com níveis de significância de 99% (linha pontilhada), 95% (linha tracejada) e 90% (linha contínua) calculados através da técnica de reamostragem de *bootstrap*.

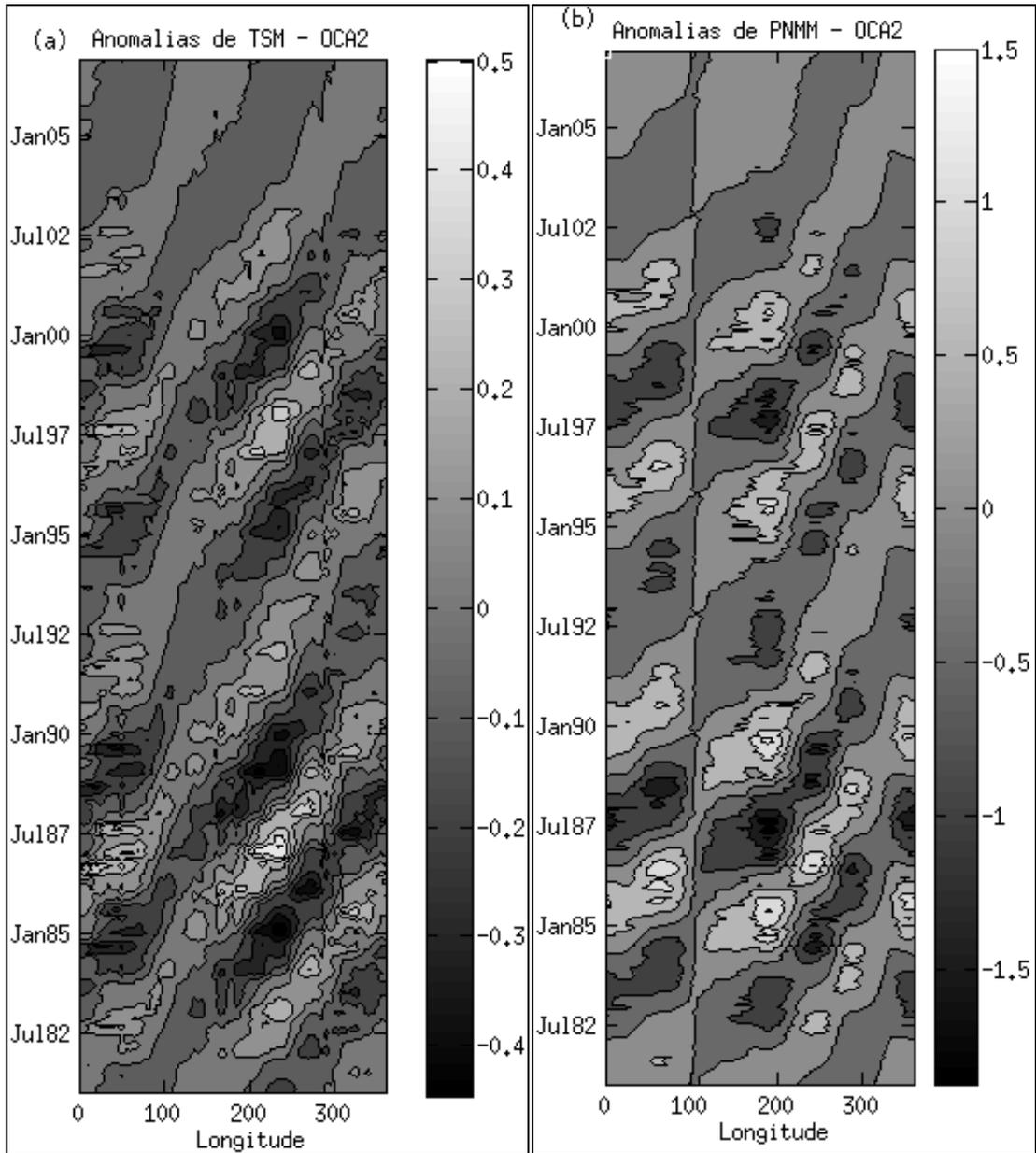


Figura 7: Diagrama de Hovmöller obtido a partir da média zonal da banda de latitude entre 40°S e 60°S, trajetória principal da OCA, das anomalias normalizadas de TSM (a) e PNMM (b) associadas a OCA2. Tons claros representam anomalias positivas e tons escuros representam anomalias negativas.

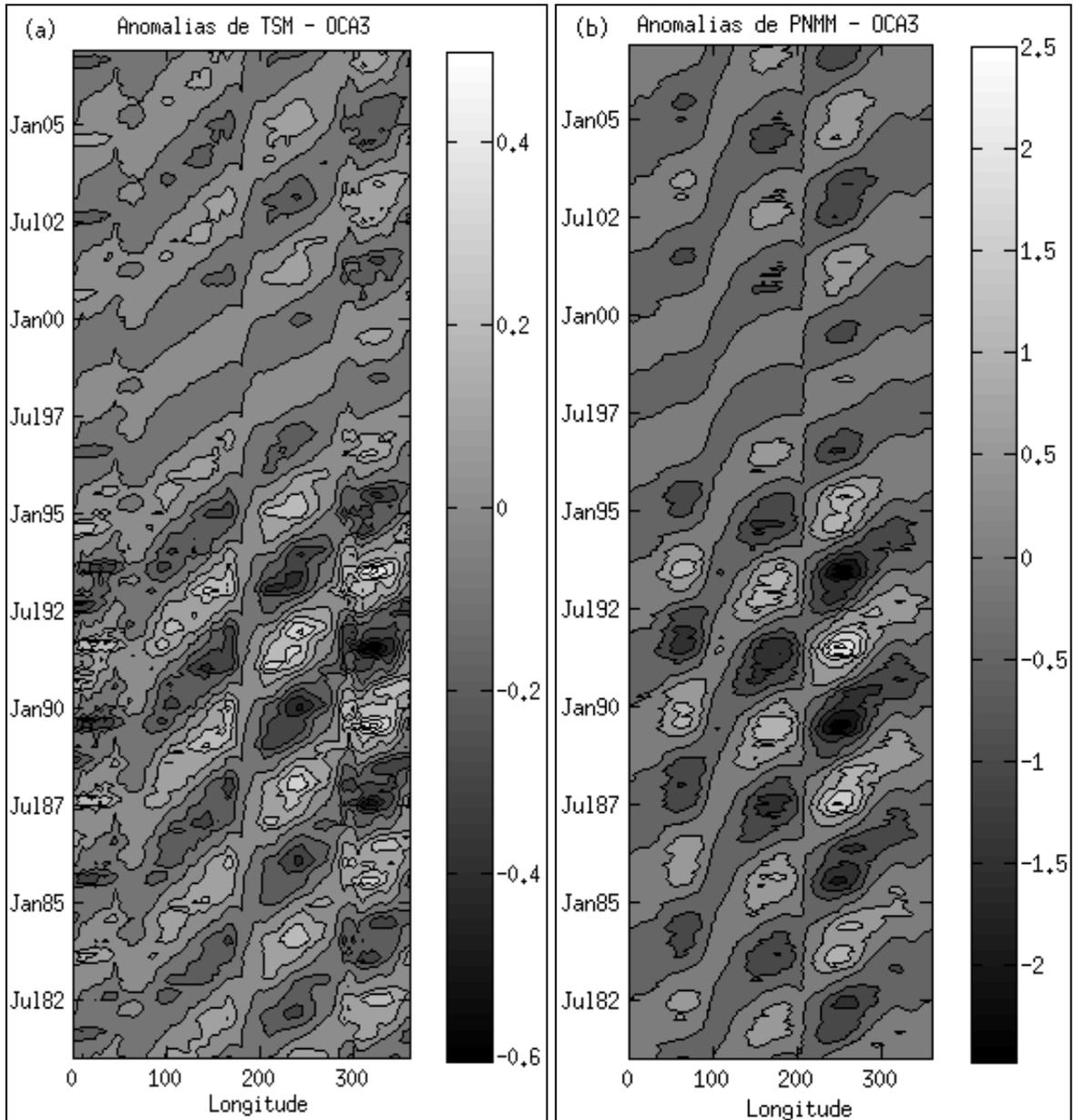


Figura 8: Diagrama de Hovmöller obtido a partir da média zonal da banda de latitude entre 40°S e 60°S, trajetória principal da OCA, das anomalias normalizadas de TSM (a) e PNMM (b) associadas a OCA3. Tons claros representam anomalias positivas e tons escuros representam anomalias negativas.

A segunda análise conjunta de MJM-DVS, entre as anomalias de TSM, PNMM, UMI e VMS, mostrou que para a banda de latitude entre 40°S e 60°S, banda latitudinal referente a principal trajetória da OCA (White e Chen, 2002; White e Annis, 2004), a OCA2 apresentou anomalias positivas de PNMM (Figura 7b) associadas a anomalias positivas de UMI (Figura 9b) para os setores Pacífico, Índico e Atlântico Central e Leste do Oceano Sul e anomalias positivas de PNMM associadas a anomalias negativas de UMI para o setor Atlântico Oeste do Oceano Sul. Já a OCA3 apresentou anomalias positivas de PNMM (Figura 8b) associadas a anomalias positivas de UMI (Figura 9a) para os setores Índico e Pacífico Oeste e Central do Oceano Sul e anomalias positivas de PNMM associadas a anomalias negativas de UMI para os setores

Pacífico Leste, Atlântico Oeste, Central e Leste do Oceano Sul. Isto sugere que ocorre uma mudança no comportamento do acoplamento do sistema oceano-atmosfera quando a OCA propaga-se através do setor Pacífico Central para os setores Pacífico Leste e Atlântico Oeste do Oceano Sul. Esta mudança de comportamento quando a OCA propaga-se para leste entre estes setores também foi encontrada por White e Chen (2002). Os autores encontraram, ao longo da trajetória da OCA, correlações cruzadas positivas entre anomalias de TSM, calor sensível mais latente, calor latente e precipitação, ao longo dos setores Atlântico leste, Índico, e Pacífico Central e Oeste do Oceano Sul. Por outro lado, nos setores Pacífico Leste e Atlântico Oeste do Oceano Sul, correlações negativas entre as anomalias de TSM, calor sensível mais latente, calor latente e precipitação. Além disso, White e Chen (2002) encontraram anomalias positivas de PNMM deslocadas aproximadamente  $45^\circ$  para leste das anomalias positivas de TSM, indicando uma invasão do centro de anomalia positiva de PNMM sobre o centro de anomalia positiva de TSM nos setores Pacífico Leste e Atlântico Oeste do Oceano Sul. Esta aproximação entre os centros de anomalias positivas de TSM e PNMM quando se aproximam da Passagem de Drake, também foi observada no presente estudo (Figuras 7 e 8). Com base nestes resultados, White e Chen (2002) sugeriram que, nos setores Pacífico Leste e Atlântico Oeste do Oceano Sul, a influência da anomalia positiva de TSM na anomalia de calor latente é suprimida pela influência do centro de anomalia positiva PNMM de núcleo quente.

Dentro do período analisado neste estudo (1981-2006), o padrão espaço-temporal da Onda Circumpolar Antártica com número de onda 2 (OCA2) foi observado propagando-se para leste ao redor do Oceano Sul de 1983 até 2001 (Figura 7), quando as anomalias associadas a OCA2 enfraquecem consideravelmente, não sendo mais possível detectá-la. Já para a Onda Circumpolar Antártica com número de onda 3 (OCA3), o padrão espaço-temporal característico da mesma foi observado propagando-se ao redor do Oceano Sul de 1981 até 1996, quando ocorre um enfraquecimento das anomalias, as quais recomeçam a fortalecer posteriormente a partir do final de 2002 (Figura 8). Estes resultados confirmam a evolução temporal das componentes OCA2 e OCA3 já encontrada por Venegas (2003), onde o período analisado foi de 1969 a 2000. A autora encontrou a OCA2 propagando-se ao redor do Oceano Sul de 1985 até 2000 e a OCA3 de 1978 até 1997. Ambos os resultados sugerem que periodicamente ocorre um amortecimento do sinal das componentes interanuais da OCA quando as mesmas propagam-se ao redor do Oceano sul.

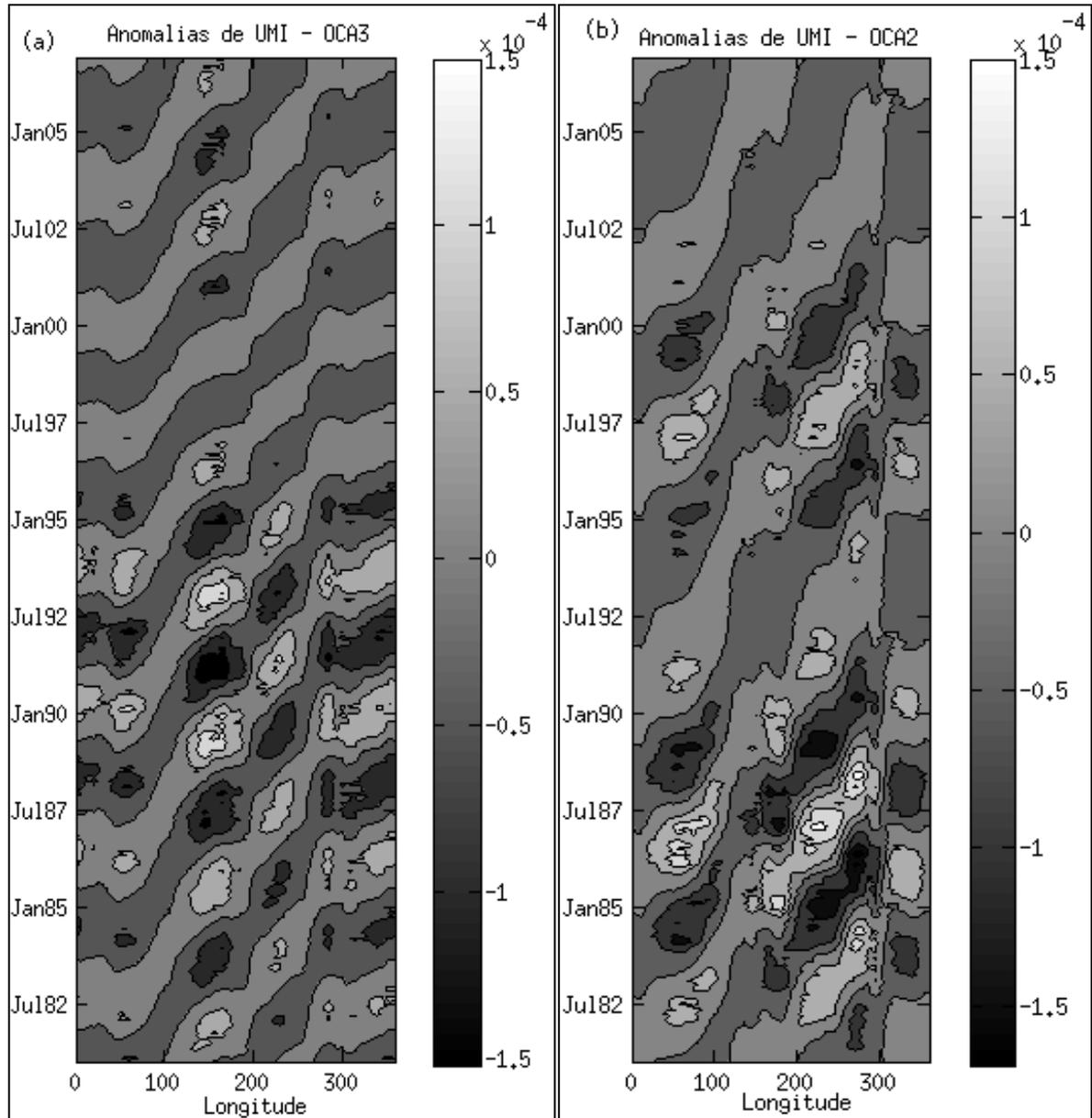


Figura 9: Diagrama de Hovmöller obtido a partir da média zonal da banda de latitude entre 40°S e 60°S, trajetória principal da OCA, das anomalias normalizadas de UMI associadas a OCA3(a) e OCA2(b). Tons claros representam anomalias positivas e tons escuros representam anomalias negativas.

#### 4.3 PADRÕES DE ASSOCIAÇÃO ENTRE A ONDA CIRCUMPOLAR ANTÁRTICA E AS ANOMALIAS ANUAIS DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA

Sabendo que o presente estudo é o primeiro a investigar a influência da OCA sobre a variabilidade climática da precipitação e da temperatura do RS, e que a influência deste padrão climático sobre sistemas meteorológicos nos setores Pacífico leste e Atlântico Oeste do Oceano Sul ainda não foi estudada, aqui neste estudo propõe-se identificar padrões de associação entre o comportamento das componentes interanuais da OCA (OCA2 e

OCA3) e das ATS e APRP do RS, e quando possível, as relações físicas responsáveis por estes padrões de associação. Além disso, vale ressaltar que embora White e Chen (2002) tenham estudado os mecanismos termodinâmicos envolvidos no acoplamento oceano-atmosfera da OCA ao longo do Oceano Sul, ainda não existe um estudo aprofundado sobre estes mecanismos no acoplamento oceano-atmosfera de cada uma das componentes interanuais (OCA2 e OCA3) da OCA. Portanto, qualquer comparação com estudos já realizados anteriormente a respeito da influência da OCA sobre a variabilidade climática de outros locais no HS (White e Cherry, 1999; White *et al.*, 2000; Prabhu *et al.*, 2010) pode ser um tanto precipitada.

Como neste estudo as componentes OCA2 e OCA3 foram identificadas, respectivamente, nos períodos de 1983 a 2001 e de 1981 a 1996, a influência das mesmas sobre as ATS e APRP foi analisada somente ao longo destes períodos. As figuras 10 - 13 mostram as sequências defasadas em 1 ano de anomalias médias anuais de TSM e PNMM associadas às componentes OCA2 e OCA3, para o período de 1985 a 1990. Este período cobre pelo menos um ciclo inteiro de ambas as componentes. Estas figuras serão utilizadas na identificação dos padrões de associação entre as variáveis associadas à OCA (TSM, PNMM, UMI e VMS) e s anomalias anuais de precipitação e temperatura. Além disso, como os setores Pacífico leste e Atlântico Oeste do Oceano Sul constituem as principais regiões fontes dos sistemas meteorológicos que atuam no Estado do RS (Reboita *et al.*, 2010), estes foram considerados para investigar a influências de ambas as OCA2 e OCA3 sobre as ATS e APRP do Estado do RS. O setor Pacífico Leste, aqui considerado, compreende a região situada entre 40°S - 60°S e entre 120°W - 70°W (240°E – 290°E). Já o setor Atlântico Oeste compreende a região situada entre 40°S - 60°S e entre 70°W - 35°W (290°E – 325°E).

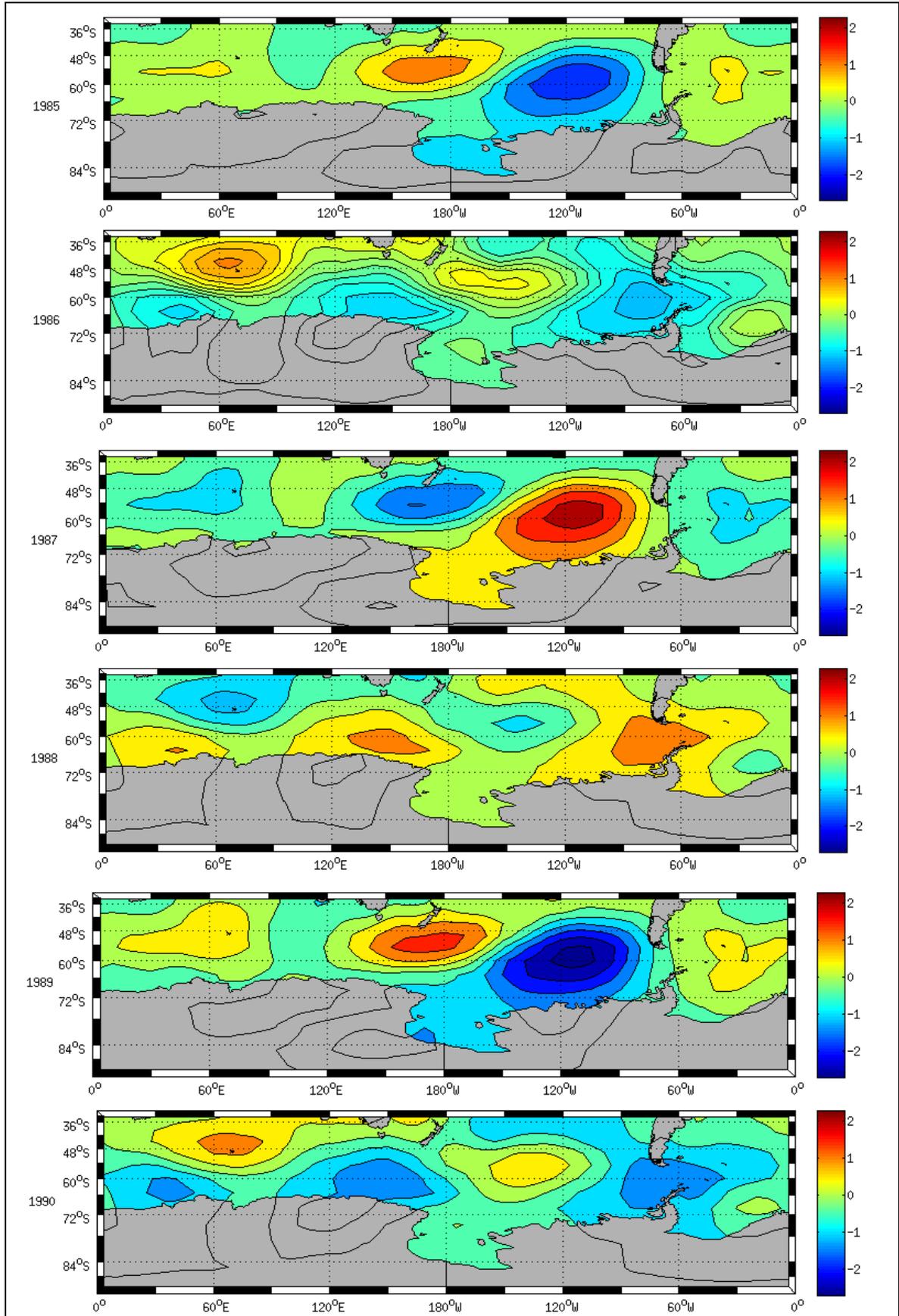


Figura 10: Sequência defasada de mapas de anomalias médias anuais normalizadas de PNMM associadas a componente OCA3, para o período de 1985 a 1990. Cada mapa estende-se globalmente sobre o Hemisfério Sul, a partir de 30°S a 90°S.

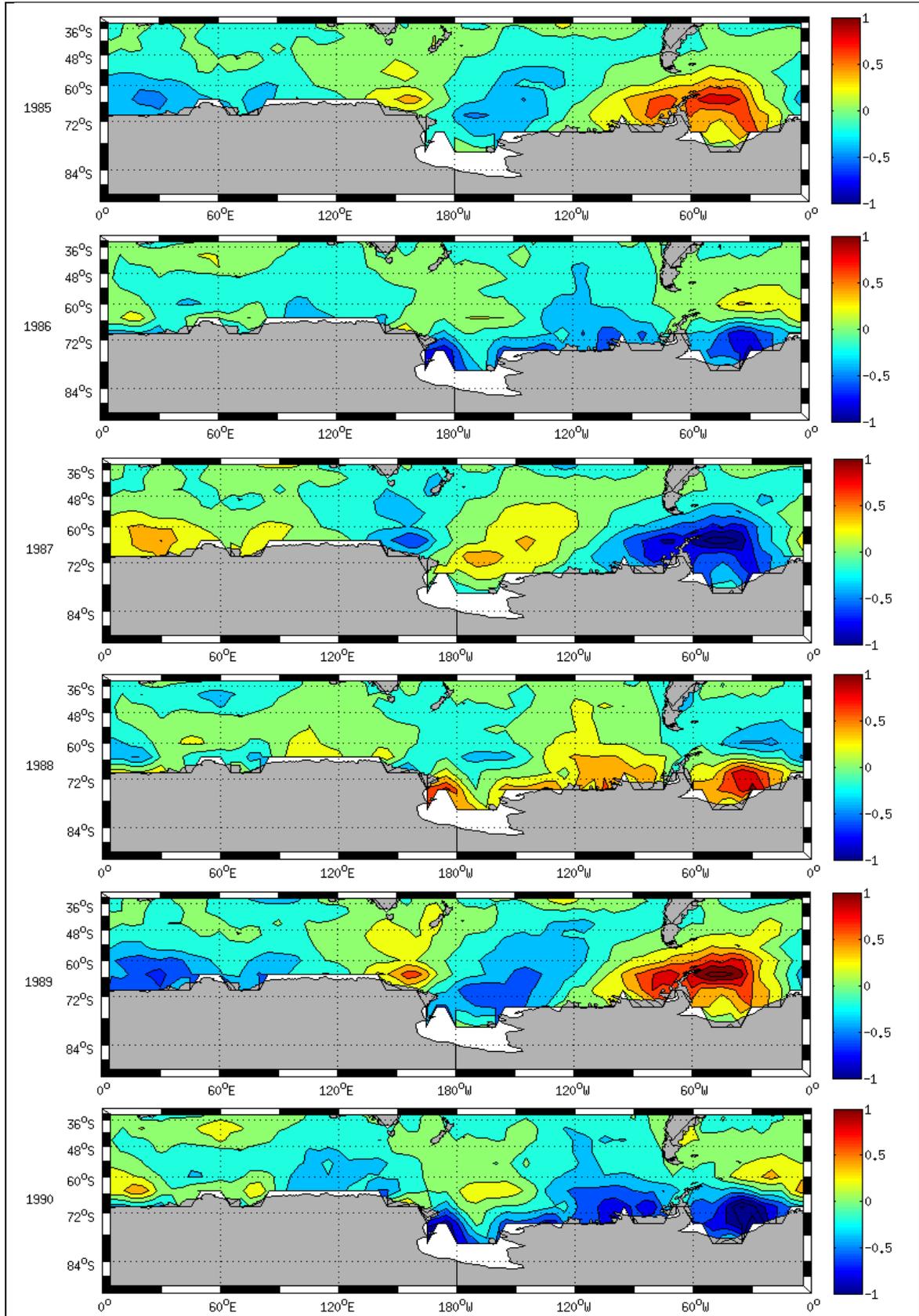


Figura 11: Sequência defasada de mapas de anomalias médias anuais normalizadas de TSM associadas a componente OCA3, para o período de 1985 a 1990. Cada mapa estende-se globalmente sobre o Hemisfério Sul, a partir de 30°S a 90°S.

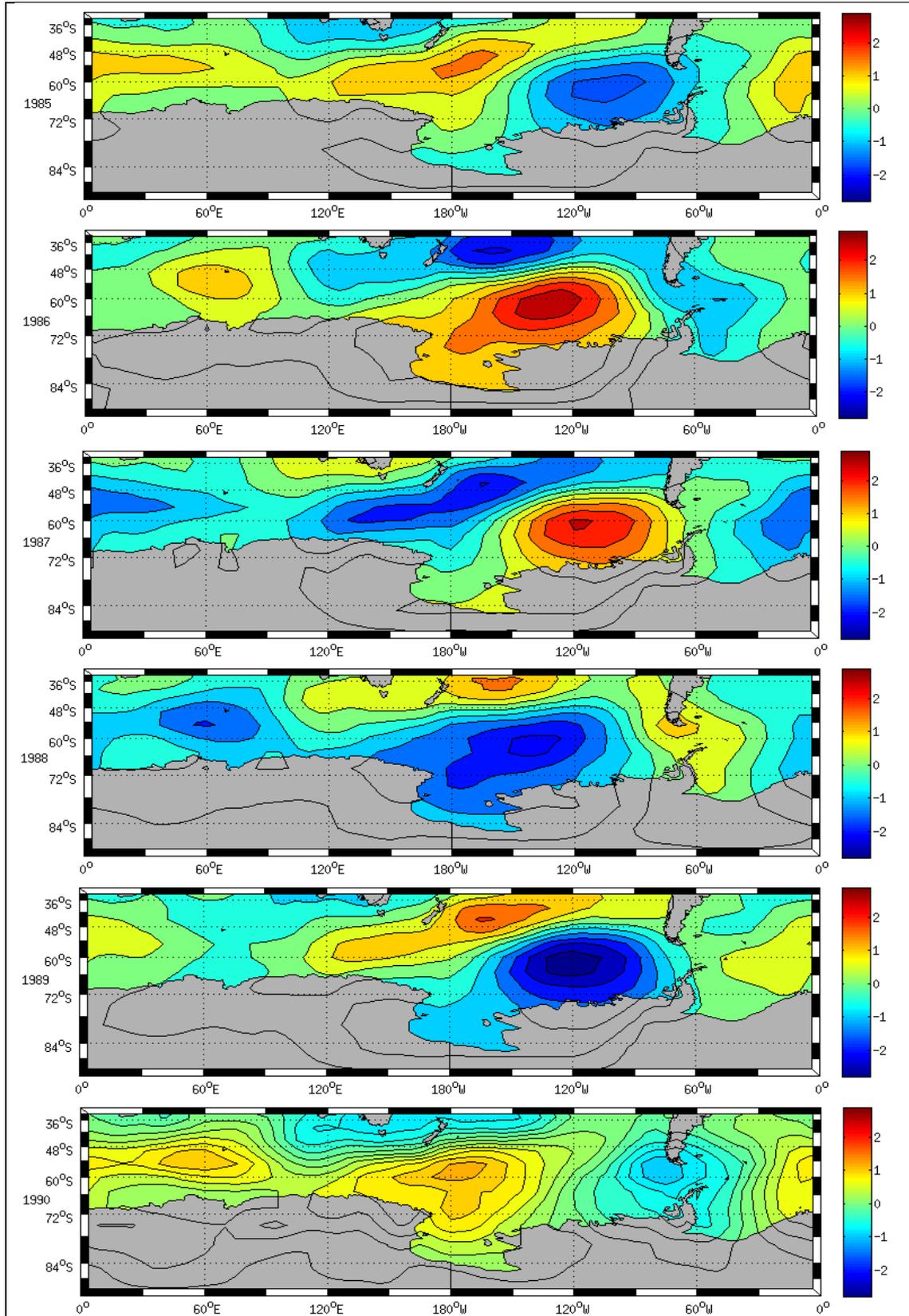


Figura 12: Sequência defasada de mapas de anomalias médias anuais normalizadas de PNMM associadas a componente OCA2, para o período de 1985 a 1990. Cada mapa estende-se globalmente sobre o Hemisfério Sul, a partir de 30°S a 90°S.

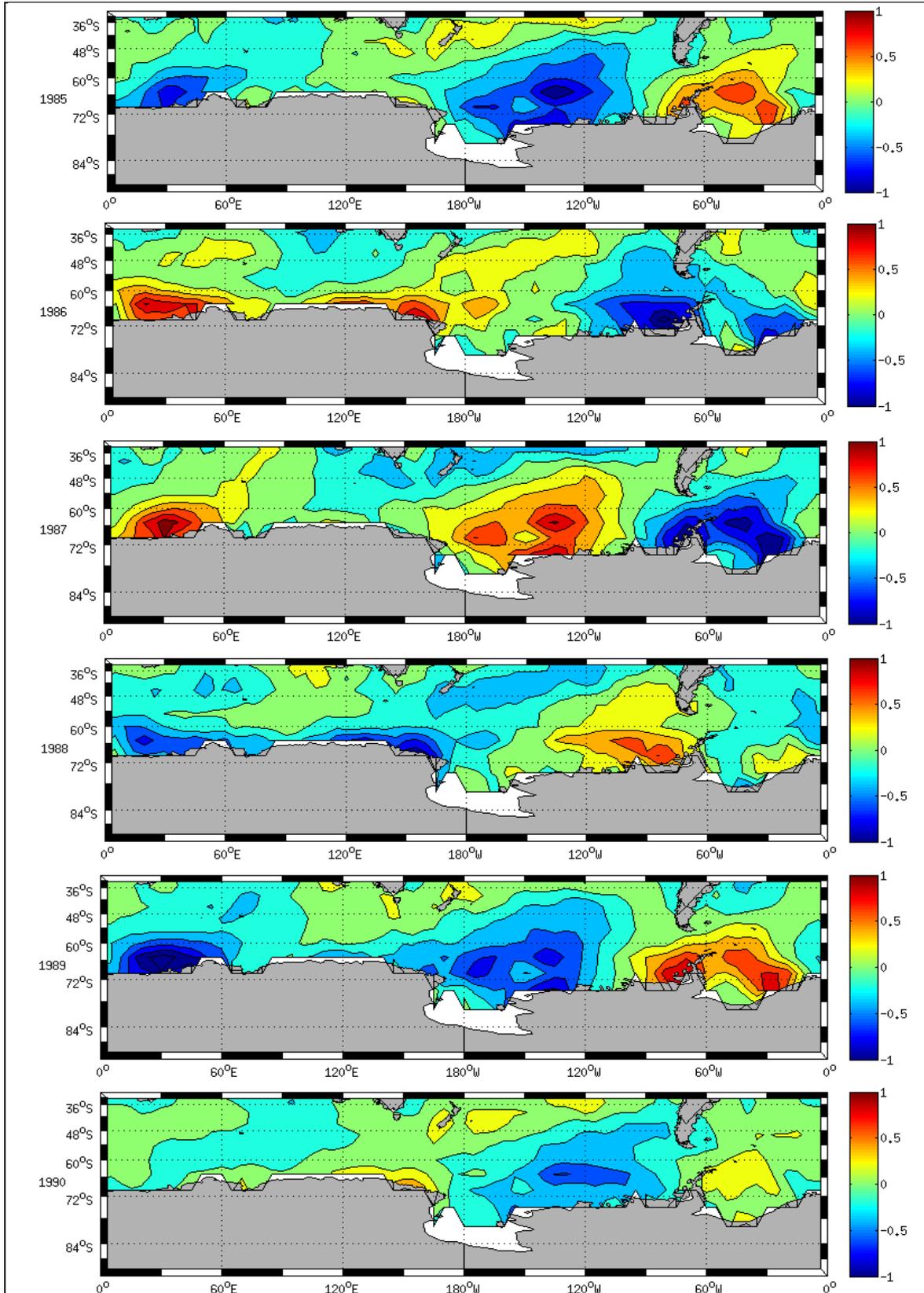


Figura 13: Sequência defasada de mapas de anomalias médias anuais normalizadas de TSM associadas a componente OCA2, para o período de 1985 a 1990. Cada mapa estende-se globalmente sobre o Hemisfério Sul, a partir de 30°S a 90°S.

### 4.3.1 Padrões de Associação: Anomalias anuais de precipitação e OCA3

Buscando determinar os padrões de associação entre o comportamento das anomalias de TSM, PNMM, UMI e VMS associadas a componente OCA3 e as anomalias anuais regionais de precipitação a Tabela 5 foi construída. A Tabela 5 mostra as anomalias de TSM, PNMM, UMI e VMS associadas a componente OCA3 para o setor do Atlântico Oeste, para a banda de latitude entre 40°S e 60°S, trajetória principal da Onda Circumpolar Antártica. Uma tabela similar foi construída para o setor do Pacífico Leste (não mostrada aqui), porém nenhum padrão evidente de associação pôde ser determinado. Ressalta-se aqui que, assim como outros modos de variabilidade climática interanual (ENOS, AAO, PSA, etc), a OCA por modificar os campos médios de PNMM, TSM e VMS nos subtropicais e extratropicais do HS deve atuar sobre o comportamento de sistemas meteorológicos presentes nestas regiões e que atuam no clima do RS, como sistemas frontais, bloqueios atmosféricos, sistemas convectivos de mesoescala e vórtices ciclônicos de altos níveis e por consequência nas anomalias anuais de temperatura e precipitação do Estado do RS.

A partir de uma análise das Figuras 8, 10 e 11, e Tabela 5 pôde-se determinar que anos com anomalias negativas de precipitação (1981, 1988, 1991, 1995, 1996) em 3 ou 4 regiões homogêneas estão associados tanto com condições simultâneas de anomalias positivas de TSM e PNMM, como com condições simultâneas de anomalias negativas de TSM e positivas de PNMM no setor Atlântico Oeste do Oceano Sul. Já anos com anomalias positivas de precipitação (1982, 1983, 1984, 1986, 1987, 1990, 1992, 1993, 1994) em 3 ou 4 regiões homogêneas estão associados tanto com condições simultâneas de anomalias negativas de TSM e PNMM, como com condições simultâneas de anomalias positivas de TSM e negativas de PNMM no setor Atlântico Oeste do Oceano Sul.

Tabela 5: Anomalias normalizadas de PRP, TSM, PNMM, UMI e VMS associadas a componente OCA3 para o setor do Atlântico Oeste, para a banda de latitude entre 40°S e 60°S, trajetória principal da Onda Circumpolar Antártica, para o período de 1981 a 1996. As siglas PRP01, PRP02, PRP03, PRP04 representam, respectivamente, as anomalias de precipitação das regiões homogênea 1, 2, 3 e 4.

<b>OCA3</b>								
<b>ANO</b>	<b>PRP01</b>	<b>PRP02</b>	<b>PRP03</b>	<b>PRP04</b>	<b>TSM</b>	<b>PNMM</b>	<b>VMS</b>	<b>UMI</b>
<b>1981</b>	-0,480	-1,260	-1,370	-1,420	0,041	0,353	-0,005	5,33E-006
<b>1982</b>	0,060	0,480	-0,130	0,130	0,130	-0,238	-0,062	3,01E-005
<b>1983</b>	0,210	0,260	1,790	1,700	-0,111	-0,296	0,034	-1,97E-005
<b>1984</b>	0,410	1,360	1,200	0,570	-0,111	0,389	0,059	-2,74E-005
<b>1985</b>	-0,210	0,440	-0,890	0,130	0,159	0,241	-0,054	2,97E-005
<b>1986</b>	0,510	1,740	-0,160	0,530	0,100	-0,499	-0,059	2,64E-005
<b>1987</b>	0,230	0,660	1,070	0,690	-0,200	-0,216	0,071	-3,86E-005
<b>1988</b>	-1,300	-0,970	-0,630	-0,720	-0,095	0,613	0,061	-2,66E-005
<b>1989</b>	-1,150	-1,110	0,010	0,030	0,245	0,171	-0,093	4,93E-005
<b>1990</b>	0,190	0,630	0,890	0,940	0,067	-0,719	-0,053	2,14E-005
<b>1991</b>	-0,480	-0,920	-1,320	-1,300	-0,276	-0,042	0,111	-5,77E-005
<b>1992</b>	0,180	-0,190	0,170	0,540	-0,004	0,723	0,025	-7,01E-006
<b>1993</b>	-0,160	0,020	0,050	0,340	0,250	-0,146	-0,108	5,44E-005
<b>1994</b>	-0,180	0,650	0,740	0,660	-0,067	-0,541	0,012	-1,06E-005
<b>1995</b>	-0,460	-0,800	-0,890	-1,390	-0,154	0,267	0,072	-3,48E-005
<b>1996</b>	-0,930	-0,640	0,380	-0,350	0,092	0,217	-0,034	1,94E-005

Aplicando-se aqui os resultados encontrados por White e Chen (2002), que com base em seus resultados, sugeriram que nos setores Pacífico Leste e Atlântico Oeste do Oceano Sul a influência positiva da anomalia positiva de TSM sobre a anomalia de calor latente é suprimida pela influência do centro de anomalia positiva PNMM de núcleo quente, pôde-se inferir que anomalias positivas (negativas) de PNMM no Atlântico Oeste encontradas neste estudo levam a anomalias negativas (positivas) de precipitação na região e por consequência a anomalias negativas (positivas) de precipitação no RS. Estas anomalias de precipitação no setor Atlântico Oeste do Oceano Sul seriam transportadas por sistemas meteorológicos oriundos de latitudes extratropicais, como frentes frias e ciclones extratropicais, que alcançam o Estado do RS ao longo de todo o ano.

Outra associação entre o comportamento da OCA3 e as anomalias anuais de precipitação no RS foi determinada comparando-se os padrões de PNMM observados nos setores Pacífico Leste e Atlântico Oeste do Oceano Sul (Tabela 6). Anos com anomalias positivas (negativas) de precipitação em 3 ou 4 regiões homogêneas foram encontrados associados a anomalias positivas (negativas) de PNMM no Pacífico Leste e anomalias negativas (positivas) no Atlântico Oeste.

Tabela 6: Anomalias normalizadas de PNMM para os setores Atlântico Oeste (ATO) e Pacífico Leste (PCL) associadas a componente OCA3 para o setor do Atlântico Oeste, para a banda de latitude entre 40°S e 60°S, trajetória principal da Onda Circumpolar Antártica, para o período de 1981 a 1996. As siglas PRP01, PRP02, PRP03, PRP04 representam, respectivamente, as anomalias de precipitação das regiões homogênea 1, 2, 3 e 4.

<b>OCA3</b>						
<b>ANO</b>	<b>PRP01</b>	<b>PRP02</b>	<b>PRP03</b>	<b>PRP04</b>	<b>ATO</b>	<b>PCL</b>
<b>1981</b>	-0,480	-1,260	-1,370	-1,420	0,353	-0,129
<b>1982</b>	0,060	0,480	-0,130	0,130	-0,238	-0,677
<b>1983</b>	0,210	0,260	1,790	1,700	-0,296	0,475
<b>1984</b>	0,410	1,360	1,200	0,570	0,389	0,616
<b>1985</b>	-0,210	0,440	-0,890	0,130	0,241	-0,720
<b>1986</b>	0,510	1,740	-0,160	0,530	-0,499	-0,585
<b>1987</b>	0,230	0,660	1,070	0,690	-0,216	0,922
<b>1988</b>	-1,300	-0,970	-0,630	-0,720	0,613	0,579
<b>1989</b>	-1,150	-1,110	0,010	0,030	0,171	-1,150
<b>1990</b>	0,190	0,630	0,890	0,940	-0,719	-0,467
<b>1991</b>	-0,480	-0,920	-1,320	-1,300	-0,042	1,321
<b>1992</b>	0,180	-0,190	0,170	0,540	0,723	0,161
<b>1993</b>	-0,160	0,020	0,050	0,340	-0,146	-1,235
<b>1994</b>	-0,180	0,650	0,740	0,660	-0,541	0,216
<b>1995</b>	-0,460	-0,800	-0,890	-1,390	0,267	0,793
<b>1996</b>	-0,930	-0,640	0,380	-0,350	0,217	-0,402

Para confirmar as relações qualitativas encontradas entre os padrões de comportamento entre as anomalias de TSM e PNMM associadas a componente OCA3 e anomalias anuais regionais de precipitação, foram calculados os coeficientes de regressão e correlação entre as anomalias de PNMM e as anomalias de precipitação das 4 regiões homogêneas (Tabela 7), para o período de 1981 a 1996. A análise foi realizada com as anomalias de PNMM, pois os resultados encontrados mostram que enquanto estas parecem ser determinantes na ocorrência de anomalias positivas ou negativas de precipitação no RS, as anomalias de TSM parecem ter um papel secundário. Com o coeficiente de correlação foi investigada a medida da relação linear entre as anomalias de PNMM associadas a OCA3 e as anomalias anuais regionais de precipitação e a partir do coeficiente de regressão foi investigado o impacto das anomalias de PNMM associadas a OCA3 sobre as anomalias anuais regionais de precipitação. A partir da Tabela 7 pode ser notado que ambos coeficientes de regressão e correlação confirmaram a relação negativa entre as anomalias de PNMM associadas a OCA3 e as anomalias anuais regionais de precipitação, corroborando que anomalias negativas (positivas) de PNMM associadas a OCA3 no Atlântico Oeste favorecem a anomalias positivas (negativas) de precipitação no Estado do RS. Além disso, pode ser verificado que a porção Central e Noroeste (Regiões 2 e 4) do RS foi a que apresentou maiores valores de coeficientes de regressão e correlação, sugerindo que esta região é a que está sujeita a maior influência da OCA3. Relembrando os valores de RMS apresentados na Tabela 2, e combinando com os

valores dos coeficientes de regressão e correlação apresentados na Tabela 7, pode-se sugerir que a maior variabilidade interanual observadas nas Regiões 2 e 4 (Tabela 2) pode estar associada a maior influência da OCA3 nestas regiões. Isto pode ser explicado pelas sucessivas mudanças anuais das anomalias de TSM e PNMM no Oceano Sul, devido a propagação contínua para leste das anomalias de TSM, que invertem a polaridade das anomalias de PNMM a medida que se propagam, propiciando desta forma uma inversão contínua das anomalias de TSM, VMS e PNMM observadas no setor Atlântico Oeste do Oceano Sul.

Tabela 7: Coeficientes de Regressão e Correlação entre as anomalias de PNMM do Setor Atlântico Oeste do Oceano Sul, para a banda de latitude de 40°S a 60°S e as anomalias de precipitação das 4 regiões homogêneas, para o período de 1981 a 1996. Somente os coeficientes de regressão e correlação entre as anomalias de PNMM e as anomalias de precipitação da Região 02 foram significantes ao nível de 95%.

<b>Regiões/Coefficientes</b>	<b>Coefficiente de Correlação</b>	<b>Coefficiente de Regressão</b>
<b>Região 01</b>	-0,455	-0,590
<b>Região 02</b>	-0,536	-1,156
<b>Região 03</b>	-0,395	-0,871
<b>Região 04</b>	-0,487	-1,033

Um importante resultado também foi encontrado analisando-se as anomalias de UMI sobre o sul do RS (30°S - 35°S e 300°E - 305°E). A Tabela 8 mostra que dos seis anos (1982, 1983, 1984, 1986, 1987, 1990) em que anomalias positivas de precipitação foram observadas nas regiões homogêneas 1 e 2, em quatro anos (com exceção de 1982 e 1984) anomalias positivas de UMI associadas a OCA3 foram observadas sobre as duas regiões homogêneas e que dos seis anos (1981, 1988, 1989, 1991, 1995 e 1996) em que anomalias negativas de precipitação foram observadas nas duas regiões, em quatro anos (com exceção de 1991 e 1996) anomalias negativas de UMI associadas a OCA3 foram observadas. Segundo Reboita (2008), a disponibilidade de umidade favorece a precipitação que, por consequência, libera calor latente que aquece a coluna atmosférica e induz convergência na baixa troposfera, favorecendo a ocorrência de ciclogêneses. Portanto, os resultados encontrados aqui também indicam uma influência da OCA3 nas anomalias anuais de precipitação via anomalias anuais locais de UMI.

Tabela 8: Anomalias normalizadas de UMI para a região entre 30°S a 35°S e 60°W a 55°W, e associadas a componente OCA3, para o período de 1981 a 1998. As siglas PRP01, PRP02, PRP03, PRP04 representam, respectivamente, as anomalias de precipitação das regiões homogênea 1, 2, 3 e 4.

<b>OCA3</b>					
<b>ANO</b>	<b>PRP01</b>	<b>PRP02</b>	<b>PRP03</b>	<b>PRP04</b>	<b>UMI</b>
<b>1981</b>	-0,480	-1,260	-1,370	-1,420	-8,15E-005
<b>1982</b>	0,060	0,480	-0,130	0,130	-1,09E-005
<b>1983</b>	0,210	0,260	1,790	1,700	9,72E-005
<b>1984</b>	0,410	1,360	1,200	0,570	-2,25E-005
<b>1985</b>	-0,210	0,440	-0,890	0,130	-1,06E-004
<b>1986</b>	0,510	1,740	-0,160	0,530	4,55E-005
<b>1987</b>	0,230	0,660	1,070	0,690	1,19E-004
<b>1988</b>	-1,300	-0,970	-0,630	-0,720	-6,90E-005
<b>1989</b>	-1,150	-1,110	0,010	0,030	-1,30E-004
<b>1990</b>	0,190	0,630	0,890	0,940	1,02E-004
<b>1991</b>	-0,480	-0,920	-1,320	-1,300	1,18E-004
<b>1992</b>	0,180	-0,190	0,170	0,540	-1,31E-004
<b>1993</b>	-0,160	0,020	0,050	0,340	-7,21E-005
<b>1994</b>	-0,180	0,650	0,740	0,660	1,27E-004
<b>1995</b>	-0,460	-0,800	-0,890	-1,390	9,55E-006
<b>1996</b>	-0,930	-0,640	0,380	-0,350	-7,84E-005

#### **4.3.2 Padrões de Associação: Anomalias anuais de precipitação e OCA2**

Diferentemente da OCA3, analisando-se as Figuras 7, 12 e 13, e Tabela 9, não foi possível encontrar um padrão evidente de associação entre o comportamento da OCA2, ao longo do cinturão de latitude entre 40°S e 60°S, e as anomalias anuais de precipitação nas quatro regiões homogêneas do RS. Entretanto, analisando-se somente as anomalias anuais locais de UMI associadas a OCA2 sobre as regiões 1 e 2, os resultados também indicaram, assim como para a OCA3, uma influência da OCA2 nas anomalias anuais de precipitação via anomalias anuais locais de UMI. Foi encontrado que dos nove anos (1983, 1984, 1986, 1987, 1990, 1997, 1998, 2000 e 2001) em que anomalias positivas de precipitação foram observadas nas duas regiões, em sete anos (com exceção de 1984 e 2000) anomalias positivas de UMI associadas a OCA3 foram encontradas nas regiões homogêneas 1 e 2 e que dos seis anos (1988, 1989, 1991, 1995, 1996 e 1999) em que anomalias negativas de precipitação foram observadas nas duas regiões, em quatro anos (com exceção de 1991 e 1996) anomalias negativas de UMI associadas a OCA3 foram observadas.

Os resultados encontrados no presente estudo sugerem uma fraca influência sistemática do ramo extratropical da OCA2 nas anomalias anuais de precipitação do RS, visto que embora não tenha sido possível encontrar uma associação entre o comportamento das variáveis associadas a OCA2, quando as mesmas se propagam entre 40°S e 60°S, e as anomalias

regionais anuais de precipitação, foi encontrado uma associação entre anomalias anuais locais de UMI associadas a OCA2 sobre as regiões homogêneas 1 e 2 e as anomalias anuais de precipitação destas regiões. Além disso, vale salientar que, assim como a OCA3, a OCA2 também modifica o campo médio de TSM, PNMM e VMS, e, portanto também deve atuar sobre o comportamento de sistemas meteorológicos oriundos dos extratropicais e que atuam no clima do RS.

Tabela 9: Anomalias normalizadas de PRP, TSM, PNMM, UMI e VMS associadas a componente OCA2 para o setor do Atlântico Oeste, para a banda de latitude entre 40°S e 60°S, trajetória principal da Onda Circumpolar Antártica, para o período de 1983 a 2001. As siglas PRP01, PRP02, PRP03, PRP04 representam, respectivamente, as anomalias de precipitação das regiões homogêneas 1, 2, 3 e 4.

OCA2								
ANO	PRP01	PRP02	PRP03	PRP04	TSM	PNMM	VMS	UMI
1983	0,210	0,260	1,790	1,700	-0,069	0,206	0,149	-7,28E-006
1984	0,410	1,360	1,200	0,570	0,072	0,309	0,113	4,53E-007
1985	-0,210	0,440	-0,890	0,130	0,118	-0,191	-0,169	9,83E-006
1986	0,510	1,740	-0,160	0,530	-0,051	-0,440	-0,185	2,36E-006
1987	0,230	0,660	1,070	0,690	-0,146	0,062	0,125	-9,62E-006
1988	-1,300	-0,970	-0,630	-0,720	-0,001	0,447	0,213	-5,17E-006
1989	-1,150	-1,110	0,010	0,030	0,124	0,114	-0,033	6,05E-006
1990	0,190	0,630	0,890	0,940	0,053	-0,283	-0,161	5,77E-006
1991	-0,480	-0,920	-1,320	-1,300	-0,052	-0,221	-0,053	-6,77E-007
1992	0,180	-0,190	0,170	0,540	-0,069	0,011	0,041	-3,15E-006
1993	-0,160	0,020	0,050	0,340	-0,036	0,176	0,081	-3,66E-006
1994	-0,180	0,650	0,740	0,660	0,035	0,232	0,088	-1,55E-006
1995	-0,460	-0,800	-0,890	-1,390	0,095	-0,003	-0,038	4,86E-006
1996	-0,930	-0,640	0,380	-0,350	0,026	-0,326	-0,162	5,70E-006
1997	0,670	0,630	0,470	0,980	-0,099	-0,187	-0,039	-2,95E-006
1998	1,090	0,500	-0,110	1,230	-0,075	0,250	0,152	-7,03E-006
1999	-1,080	-0,590	-1,210	-0,880	0,059	0,279	0,093	-9,43E-008
2000	0,130	0,290	0,050	0,060	0,084	-0,089	-0,083	5,24E-006
2001	1,520	0,120	0,790	-0,520	-0,009	-0,232	-0,091	2,00E-006

#### 4.3.3 Padrões de Associação: Anomalias anuais de temperatura

A partir das Figuras 10-13 e das Tabelas 10 e 11 determinou-se padrões de associação entre o comportamento de ambas OCA3 (Figuras 10 e 11, e Tabela 10) e OCA2 (Figuras 12 e 13, e Tabela 11) e as anomalias anuais de temperatura das três regiões homogêneas identificadas no RS. Os resultados encontrados neste estudo mostram que anomalias positivas (negativas) de temperatura observadas em ao menos 2 regiões homogêneas estão associadas a anomalias positivas (negativas) de TSM e negativas (positivas) de VMS associadas a OCA3, e que estas

mesmas anomalias anuais regionais de temperatura estão associadas a anomalias negativas (positivas) de VMS associadas a OCA2 no setor Atlântico Oeste do Oceano Sul. Nenhum padrão evidente de associação entre anomalias de TSM, PNMM e VMS associadas a OCA3 e anomalias anuais de temperatura foi encontrado para a região do Pacífico Leste.

Tabela 10: Anomalias anuais regionais normalizadas de temperatura do RS e anomalias normalizadas de TSM, PNMM e VMS associadas a componente OCA3 para o setor do Atlântico Oeste, para a banda de latitude entre 40°S e 60°S, trajetória principal da Onda Circumpolar Antártica, para o período de 1981 a 1996.

<b>OCA3</b>						
<b>ANO</b>	<b>Região 1</b>	<b>Região 2</b>	<b>Região 3</b>	<b>TSM</b>	<b>PNMM</b>	<b>VMS</b>
<b>1981</b>	0,48	0,10	0,07	0,041	0,353	-0,005
<b>1982</b>	0,49	0,14	-0,34	0,130	-0,238	-0,062
<b>1983</b>	-0,73	-1,57	-1,25	-0,111	-0,296	0,034
<b>1984</b>	-0,17	-0,59	-0,87	-0,111	0,389	0,059
<b>1985</b>	1,53	0,63	0,35	0,159	0,241	-0,054
<b>1986</b>	1,55	0,74	0,49	0,100	-0,499	-0,059
<b>1987</b>	-0,02	-1,07	-0,53	-0,200	-0,216	0,071
<b>1988</b>	-0,79	-1,30	-0,96	-0,095	0,613	0,061
<b>1989</b>	-0,32	-1,39	-0,23	0,245	0,171	-0,093
<b>1990</b>	-0,68	-1,05	-0,74	0,067	-0,719	-0,053
<b>1991</b>	1,13	1,18	0,87	-0,276	-0,042	0,111
<b>1992</b>	-0,42	-0,84	-0,49	-0,004	0,723	0,025
<b>1993</b>	0,12	-0,58	-0,47	0,250	-0,146	-0,108
<b>1994</b>	0,18	0,47	-0,30	-0,067	-0,541	0,012
<b>1995</b>	-0,28	0,43	-0,39	-0,154	0,267	0,072
<b>1996</b>	-0,35	-0,49	-0,25	0,092	0,217	-0,034

Estudos anteriores (Monteiro e Furtado, 1995; Monteiro, 2001) têm mostrado que um dos sistemas meteorológicos de grande impacto sobre o regime climático do RS é a Massa de ar Polar Atlântica (Figura 14), a qual se origina nas altas latitudes do Hemisfério Sul e desloca-se sobre o Oceano Atlântico. Assim, sugere-se neste estudo que, para ambas OCA2 e OCA3, um possível mecanismo físico de atuação das mesmas sobre as anomalias anuais normalizadas de temperatura seria através da atuação de uma Massa de ar Polar Atlântica anômala: anomalias negativas (positivas) de VMS que transportam ar quente (frio) oriundo de latitudes mais baixas (altas) para a região do Atlântico Oeste extratropical, desintensificam (intensificam) a Massa de ar Polar Atlântica, que por sua vez alcança o Estado do RS com temperaturas maiores (menores) que a média, contribuindo para as anomalias anuais regionais positivas (negativas) de temperaturas observadas. Além disso, para a OCA3, tem-se o efeito adicional das anomalias positivas (negativas) de TSM associadas às anomalias negativas (positivas) de VMS, que também contribuem para a desintensificação (intensificação) da

Massa de ar Polar Atlântica, e assim para as anomalias positivas (negativas) de temperatura no Estado do RS.

Tabela 11: Anomalias anuais regionais normalizadas de temperatura do RS e anomalias de VMS associadas a componente OCA2 para o setor do Atlântico Oeste, para a banda de latitude entre 40°S e 60°S, trajetória principal da Onda Circumpolar Antártica, para o período de 1983 a 2001.

OCA2				
ANO	Região 1	Região 2	Região 3	VMS
1983	-0,73	-1,57	-1,25	0,149
1984	-0,17	-0,59	-0,87	0,113
1985	1,53	0,63	0,35	-0,169
1986	1,55	0,74	0,49	-0,185
1987	-0,02	-1,07	-0,53	0,125
1988	-0,79	-1,30	-0,96	0,213
1989	-0,32	-1,39	-0,23	-0,033
1990	-0,68	-1,05	-0,74	-0,161
1991	1,13	1,18	0,87	-0,053
1992	-0,42	-0,84	-0,49	0,041
1993	0,12	-0,58	-0,47	0,081
1994	0,18	0,47	-0,30	0,088
1995	-0,28	0,43	-0,39	-0,038
1996	-0,35	-0,49	-0,25	-0,162
1997	0,68	0,75	0,86	-0,039
1998	-1,36	-0,66	-0,41	0,152
1999	-0,94	-0,54	-0,72	0,093
2000	-1,28	-0,30	-0,25	-0,083
2001	1,25	2,14	1,72	-0,091

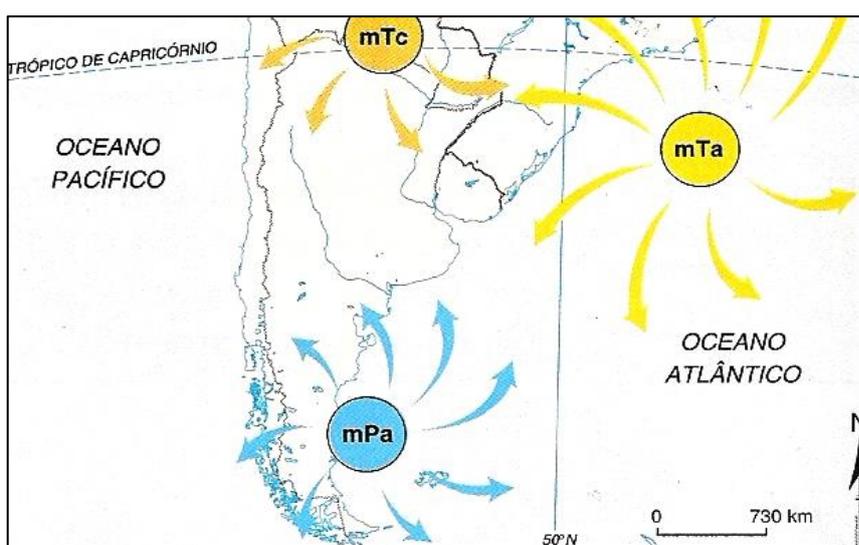


Figura 14: Massa de ar Polar Atlântica sobre o setor Atlântico Oeste do Oceano Sul. Fonte: Climas e Climogramas do Brasil, 2013.

#### 4.4 INFLUÊNCIA COMBINADA: OCA3, OSCILAÇÃO ANTÁRTICA E EL-NIÑO/ OSCILAÇÃO SUL

Com o objetivo de verificar a influência combinada da OCA, da AAO e do ENOS sobre as anomalias anuais regionais de precipitação do RS, foi realizada uma análise conjunta com base nos resultados encontrados neste estudo e em conclusões obtidas a partir de estudos realizados anteriormente. Como não foi determinado um padrão de associação entre o comportamento da OCA2 quando a mesma se propaga sobre os extratropicais e as anomalias anuais regionais de precipitação, somente a componente OCA3 foi considerada.

Conforme vários estudos realizados (Diaz *et al.*, 1998; Berlato e Fontana, 2003; Britto *et al.*, 2008) no RS, anos de El-Niño favorecem anomalias positivas de precipitação, enquanto que anos de La-Niña favorecem anomalias negativas de precipitação. Em relação à AAO, os estudos (Marques *et al.*, 2010; Oliva e Justi da Silva, 2011) têm encontrado que a fase negativa da Oscilação Antártica favorece a ocorrência de maior volume de chuva, em contraste com a chuva reduzida na fase positiva. A influência da OCA3 foi analisada considerando-se o padrão simultâneo TSM-PNMM observado no Atlântico Oeste, sendo que anomalias negativas de precipitação foram encontradas associadas tanto com condições simultâneas de anomalias positivas de TSM e PNMM, como com condições simultâneas de anomalias negativas de TSM e positivas de PNMM no setor do Atlântico Oeste e anomalias positivas de precipitação foram encontradas associadas tanto com condições simultâneas de anomalias negativas de TSM e PNMM, como com condições simultâneas de anomalias positivas de TSM e negativas de PNMM no setor Atlântico Oeste do Oceano Sul. Com base nestes padrões de associação, a Tabela 12 foi construída. Uma análise qualitativa da Tabela 12 sugere que, durante o período no qual a OCA3 é observada se propagando ao longo do Oceano Sul (1981-1996), a mesma juntamente com o ENOS parecem dominar a variabilidade climática das anomalias anuais regionais do RS, em relação à AAO, pois dos 16 anos considerados, em 12 (10) anos a OCA3 (ENOS) explicou as anomalias observadas em 3 ou 4 regiões homogêneas, ao passo que dos 18 anos a AAO somente em 4 anos explicou as anomalias observadas. Portanto, considerar o comportamento da OCA3 nos setores Pacífico Leste e Atlântico Oeste do Oceano Sul, além do comportamento do ENOS, pode contribuir significativamente na previsão das anomalias de precipitação do RS. Vale salientar que esta influência conjunta deve ser investigada mais profundamente, a fim de se determinar a relação

construtiva/destrutiva que a ação destes dois padrões climáticos tem sobre as anomalias de precipitação do RS.

Tabela 12: Anomalias normalizadas de TSM e PNMM associadas a componente OCA3, ENOS e AAO para o período de 1981 a 1996.

ANO	OCA3		ENOS	AAO	ANOMALIAS REGIONAIS DE PRP			
	TSM	PNMM	Niño 3.4	CPC	PRP01	PRP02	PRP03	PRP04
1981	0,041	0,353	-0,44	-0,35	-0,480	-1,260	-1,370	-1,420
1982	0,130	-0,238	0,20	0,91	0,060	0,480	-0,130	0,130
1983	-0,111	-0,296	0,07	0,42	0,210	0,260	1,790	1,700
1984	-0,111	0,389	-0,27	-0,48	0,410	1,360	1,200	0,570
1985	0,159	0,241	0,48	-0,61	-0,210	0,440	-0,890	0,130
1986	0,100	-0,499	-0,25	0,26	0,510	1,740	-0,160	0,530
1987	-0,200	-0,216	-0,15	1,29	0,230	0,660	1,070	0,690
1988	-0,095	0,613	-0,32	-0,82	-1,300	-0,970	-0,630	-0,720
1989	0,245	0,171	0,64	-0,63	-1,150	-1,110	0,010	0,030
1990	0,067	-0,719	-0,18	0,27	0,190	0,630	0,890	0,940
1991	-0,276	-0,042	-0,58	0,65	-0,480	-0,920	-1,320	-1,300
1992	-0,004	0,723	-0,64	0,58	0,180	-0,190	0,170	0,540
1993	0,250	-0,146	0,57	0,31	-0,160	0,020	0,050	0,340
1994	-0,067	-0,541	0,06	0,48	-0,180	0,650	0,740	0,660
1995	-0,154	0,267	0,17	-0,08	-0,460	-0,800	-0,890	-1,390
1996	0,092	0,217	-0,19	-0,43	-0,930	-0,640	0,380	-0,350

## CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES

A influência da Onda Circumpolar Antártica sobre as anomalias anuais de precipitação e temperatura do RS foi investigada através da identificação de padrões de associação entre o comportamento das componentes interanuais OCA2 e OCA3 e as anomalias anuais regionais do RS, para o período de 1981 a 1998 para a última e de 1983 a 2001 para a primeira.

Em relação às anomalias anuais de precipitação, os resultados mostraram que enquanto existe um padrão evidente de associação entre o comportamento da OCA3, ao longo do cinturão de latitude entre 40°S e 60°S, e as anomalias anuais de precipitação nas quatro regiões homogêneas do RS, o mesmo não foi encontrado para a OCA2.

Em relação a OCA3, os principais padrões de associação encontrados foram:

- Anos com anomalias negativas (positivas) de precipitação em 3 ou 4 regiões homogêneas estão associados tanto com condições simultâneas de anomalias positivas (negativas) de temperatura da superfície do mar e pressão ao nível médio do mar, como com condições simultâneas de anomalias negativas (positivas) de temperatura da superfície do mar e positivas (negativas) de pressão ao nível médio do mar no setor do Atlântico Oeste;
- Anos com anomalias positivas (negativas) de precipitação em 3 ou 4 regiões homogêneas foram encontrados associados a anomalias positivas (negativas) de pressão ao nível médio do mar no Pacífico Leste e anomalias negativas (positivas) no Atlântico Oeste;

Assim, os resultados sugeriram que enquanto as anomalias de pressão ao nível médio do mar associadas a OCA3 parecem ter um papel principal na modulação das anomalias de precipitação do Rio Grande do Sul, as anomalias de temperatura da superfície do mar associadas a OCA3 parecem ter um papel secundário.

Além destes uma forte influência da OCA3 nas anomalias anuais de precipitação via anomalias anuais locais de umidade específica também foi observada, e embora não tenha sido encontrado nenhum padrão de associação entre a OCA2 e as anomalias anuais regionais de precipitação, esta influência local de umidade específica também foi encontrada analisando-se as anomalias anuais locais de UMI associadas a OCA2. Portanto além da

influência extratropical, a porção subtropical da Onda Circumpolar Antártica parece ter forte influência sobre as anomalias anuais regionais de precipitação do sul do Rio Grande do Sul.

Já em relação às anomalias anuais de temperatura pôde-se determinar padrões de associação entre o comportamento de ambas OCA2 e OCA3 e as anomalias anuais de temperatura das três regiões homogêneas identificadas no Rio Grande do Sul:

- Anomalias positivas de temperatura observadas em ao menos 2 regiões homogêneas estão associadas a anomalias positivas (negativas) de temperatura da superfície do mar e negativas (positivas) de vento meridional superficial associadas a OCA3;
- Anomalias positivas (negativas) de temperatura observadas em ao menos 2 regiões homogêneas estão associadas a anomalias negativas (positivas) de vento meridional superficial associadas a OCA2 no setor do Atlântico Oeste.

Assim, os resultados sugerem que a influência da Onda Circumpolar Antártica sobre as anomalias anuais regionais de temperatura acontece principalmente via transporte meridional de calor para a região fonte da Massa de ar Polar Atlântica, através das anomalias de vento meridional superficial associadas a Onda Circumpolar Antártica.

Outra conclusão importante foi a aparente influência conjunta do ENOS com a OCA3 sobre as anomalias anuais regionais de precipitação, mostrando que tanto o padrão climático de origem tropical (ENOS), quanto o padrão climático de origem extratropical (OCA3) atuam de forma dominante na ocorrência de anomalias anuais positivas/negativas de precipitação, e que, portanto ambos devem ser considerados na previsão da precipitação sobre o Rio Grande do Sul. Ressalta-se que para aprimorar o conhecimento da influência da Onda Circumpolar Antártica sobre o clima do Rio Grande do Sul, deve-se investigar a influência da mesma sobre os sistemas meteorológicos que atuam sobre o Rio Grande do Sul, sendo este tópico a principal sugestão de trabalhos futuros a serem realizados. Além destes, também se sugere para trabalhos futuros o estudo da influência da Onda Circumpolar Antártica sobre outras regiões do Brasil.

Portanto, com base nos resultados encontrados neste estudo, a realização deste trabalho pioneiro na investigação da influência da Onda Circumpolar Antártica sobre as anomalias

anuais de precipitação e temperatura do Estado do Rio Grande do Sul contribui significativamente para o avanço do conhecimento do clima deste Estado e pode significar um grande avanço também na previsão climática para o mesmo, e assim, contribuir para uma diminuição nos prejuízos econômicos provocados pela variabilidade climática da precipitação e da temperatura.

## CAPÍTULO 6: REFERÊNCIAS

AMARANTE, O. A. C.; SILVA, F. J. L. . Atlas Eólico: Rio Grande do Sul. **Secretaria de Energia Minas e Comunicações**. Porto Alegre: SEMC, 2002.

ARAÚJO, S. M. B. . **Estudo da variabilidade climática em regiões homogêneas de temperaturas médias do ar no Rio Grande do Sul**. 54f. : il. – Dissertação (Mestrado), Pelotas, 2005.

ATLAS Socioeconômico do ESTADO do Rio Grande do Sul. **Secretaria do Planejamento, Gestão e Participação Cidadã**. Governo do ESTADO do RS. 2011.

BAINES, P. G., CAI,W. Analysis of an Interactive Instability Mechanism for the Antarctic Circumpolar Wave. **Journal of Climate**, v. **13**, 1831–1844. 2000.

BERLATO, M. A.; CORDEIRO, A. P. A. Variabilidade Climática e Agricultura do Rio Grande do Sul. In: FEDERACITE. **As Estiagens e as Perdas na Agricultura: Fenômeno Natural ou Imprevidência?**, 2005, em Esteio/RS - EXPOINTER, pág. 43.

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: Editora da UFRGS, 2003. 110p.

BJERKNES, J., Atmospheric Teleconnections from the Equatorial Pacific. **Monthly Weather Review**, v. **97**,163-172. 1969.

BRITTO, F.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Regionalização sazonal e mensal da precipitação pluvial máxima no ESTADO do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia/Associação Brasileira de Climatologia**, Presidente Prudente, SP. v. **02**, n° 02, 2006. p. 35 - 51.

BRITTO ; BARLETTA, R. ; MENDONCA, M. . Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: influência do ENOS. **Revista Brasileira de Climatologia / Associação Brasileira de Climatologia**, v. **3/4**, p. 37-48, 2008.

CAI, W.; BAINES, P. G. . Forcing of the Antarctic Circumpolar Wave by El Niño-Southern Oscillation teleconnections, **Journal of Geophysical Research**, v. **106**, 9019–9038. 2001.

CAI, W.; BAINES, P. G.; GORDON, H. B.. Southern mid to high latitude variability, a zonal wavenumber 3 pattern, and the Antarctic Circumpolar Wave in the CSIRO coupled model, **Journal of Climate**, v. **12**, 3087–3104. 1999.

CARRIL, A. F.; NAVARRA, A.. Low-frequency variability of the Antarctic Circumpolar Wave. **Geophysical Research Letters**, 28:24, 4623. 2001.

CHRISTOPH, M.; BARNETT, T. P.; ROECKNER, E. . The Antarctic Circumpolar Wave in a coupled ocean - atmosphere GCM, **Journal of Climate**, v. 11, 1659–1672. 1998.

CLIMA e Climogramas do Brasil. Disponível em: <http://marcosbau.com.br/geobrasil-2/climas-do-brasil/>. Acesso em: Junho de 2013.

CONNOLLEY, W. M. . Long term variation of the Antarctic Circumpolar Wave, **Journal of Geophysical Research**, 108(C4), 8076. 2003.

CUNHA, G. R. La Niña e suas influências na agricultura do sul do Brasil, safra 1999-2000. In: IV CONFERÊNCIA ANUAL DA REVISTA PLANTIO DIRETO. 1999. Passo Fundo, RS, Brasil. **Anais IV Conferência Anual da Revista Plantio Direto**, Aldeia Norte Editora, p.33-43, 1999.

DIAZ, A.; STUDZINSKI, C. D.; MECHOSO, C. R. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brazil and sea surface temperature the Pacific and Atlantic Oceans. **Journal of Climate**, v. 11, n. 2, p. 251-271, 1998.

DINIZ, G. B. **Preditores visando a obtenção de um modelo de previsão climática de temperaturas máxima e mínima para regiões homogêneas do Rio Grande do Sul**. 2002. Tese (Doutorado em Fitotecnia – Agrometeorologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

EVERITT, B. S.; DUNN, G. . **Applied multivariate data analysis**. London: Edward Arnold. 316p. 1991.

FECHINE, J. A. L.; GALVÍNCIO, J. D. . Agrupamento da Precipitação Mensal da Bacia Hidrográfica do Rio Brígida-PE, Através Da Multivariada. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, p. 39-46, 2008.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M.A. Associação entre El Niño - Oscilação Sul e a produtividade do milho no ESTADO do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2005, v.40, fasc. 5, p. 423-432.

GILLET, N. P.; KELL, T. D.; JONES, P. D. .Regional climate impacts of the Southern Annular Mode, **Geophysical Research Letters**, v. 33, 2006.

GLOERSEN, P.; WHITE W. . Reestablishing the circumpolar wave in the sea-ice in the Antarctica from one winter to next, **Journal of Geophysical Research**, v. 106, 4391–4395. 2001.

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

GRIFFIES, S. M.; HARRISON, M. J.; PACANOWSKI, R. C.; ROSATI, A. **Technical guide**

to **MOM4**. GFDL Ocean Group Technical Report N<sup>o</sup>. 5, 337 p. 2004.

GRIMM, A. M. ; FEUSER, V. R. . Relações entre temperaturas da superfície do mar sobre o Atlântico e precipitação no Sul e Sudeste do Brasil. In: X Congresso Brasileiro de Meteorologia e VIII Congresso da FLISMET, 1998, Brasília. **Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia e VIII Congresso da FLISMET**. Brasília, DF : Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998. v. em CD.

GUEDES, R. V. DE S.; LIMA, F. J. L. ; AMANAJÁS, J. C. ; BRAGA, C. C. . Análise em Componentes Principais da precipitação pluvial no ESTADO do Piauí e Agrupamento pelo Método de Ward. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 27, p. 218-233, 2010.

HAARSMA, R. J.; SELTEN, F. M.; OPSTEEGH, J. D. . On the Mechanism of the Antarctic Circumpolar Wave. **Journal of Climate**, v. 13, 1461–1480. 2000.

HAIR, J. F.; TATHMAN, R. L.; ANDERSON, R.E.; BLACK, W. **Análise Multivariada de Dados**. 5. ed. Tradução de Adonai Schlup Sant'Anna e Anselmo Chaves Neto. Porto Alegre: Bookman, 2005.

JACOBS, G. A.; MITCHELL, J. L. . Ocean circulation variations associated with the Antarctic Circumpolar Wave. **Geophysical Research Letters**, v. 23, 2947–2950. 1996.

KAROLY, D. J.. Southern hemisphere circulation features associated with El Niño-Southern Oscillation events. **Journal of Climate**, v. 2, 1239-1252. 1989.

KHAN, V. M.; KIM, I. S.; SARAIVA, J. M. A relação entre as anomalias de TSM no Hemisfério Sul com as anomalias de precipitação no Sul do Brasil. **Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia**. SBMET, 1998.

LYRA, G. B.; GARCIA, B. I. L.; PIEDADE, S. M. de S.; SEDIYAMA, G. C.; SENTELHAS, P. C. . Regiões homogêneas e funções de distribuição de probabilidade da precipitação pluvial no ESTADO de Táchira, Venezuela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** (1977. Impressa), v. 41, n. 2, p. 202-215, 2006.

MACHADO, J. P. ; BLANK, D. M. P. ; ZONTA, J. H. ; JUSTINO, F. . Comportamento da precipitação e da temperatura no Rio Grande do Sul baseado na análise de agrupamento. **Ciência e Natura**, v. 32, p. 49-63, 2010.

MANN, M. E.; PARK, J. . **Oscillatory Spatiotemporal Signal Detection in Climate Studies: A Multiple-Taper Spectral Domain Approach**. *Advances in Geophysics*, v. 41, 1 – 131, 1999.

MARQUES, J. R. ; MADRUGA, M. A. ; DINIZ, G. B. Variabilidade da precipitação no Rio Grande do Sul e a relação com o Índice de Oscilação Antártica. In: IX Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2010, Fortaleza. **Climatologia e Gestão do Território**. São Paulo :

ANPEGE, 2010. v. 1. p. 1-12.

MARQUES, J. R.; DINIZ, G. B.; PRESTES, S. D. Anomalia na TSM associadas às fortes anomalias na produtividade da soja no Rio Grande do Sul. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, v. 14, 2006, Florianópolis. 2006.

MAYEWSKI, P. A.; MAASCH, K. A.; WHITE, J. W.C.; STEIG, E. J.; MEYERSON, E.; GOODWIN, I.; MORGAN, V. I.; VAN OMMEN, T.; CURRAN, M. A.J.; SOUNEY, J.; AND KREUTZ, KARL, "A 700 Year Record of Southern Hemisphere Extratropical Climate Variability" (2004). **Earth Science Faculty Scholarship**. Paper 122.

MENDONÇA, F.; OLIVEIRA, I. M. D. **Climatologia: noções básicos e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 206p. 2007.

MO, K. C.; PEAGLE, J. N.. The Pacific-South American modes and their downstream effects. **International Journal of Climatology**, v. 21, p. 1211-1229, 2001.

MONTEIRO, M. A.; FURTADO, S. M. O clima do trecho Florianópolis – Porto Alegre: uma abordagem dinâmica. **Revista do Departamento de Geociências – GEOSUL**, Florianópolis, n. 19/20, p. 117-133, 1995.

MONTEIRO, M. A. Caracterização climática do ESTADO de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. **Revista do Departamento de Geociências – GEOSUL**, Florianópolis, v. 16, n. 31, p. 69-78, 2001.

NERY, J.T.; VARGAS, W.M.; MARTINS, M.L.O.F.. Variabilidade interanual da precipitação do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.12, n.1, 49-62, 1997.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 2ª edição, 1989. 422p.

OLIVA, F. G. ; JUSTI DA SILVA, M. G. A. Opposite Phases of the Antarctic Oscillation and Relationships with Precipitation and Discharges in the Uruguai River Hydrographic Region, South Region of Brazil. In: IV Simpósio Internacional de Climatologia, 2011, João Pessoa/PB. **Mudanças Climáticas e seus Impactos em Áreas Urbanas**, 2011.

PETERSON, R.G.; WHITE, W.B.. Slow oceanic teleconnections linking the Antarctic Circumpolar Wave with the tropical El Niño-Southern Oscillation. **Journal of Geophysical Research** 103:24,573-24,583. 1998.

PRABHU, A.; MAHAJAN, P. N.; KHALADKAR, R. M.; CHIPADE, M. D.. Role of Antarctic circumpolar wave in modulating the extremes of Indian summer monsoon rainfall. **Geophysical Research Letters**, 37:14. 2010.

PRESTES, S. D. ; SOUSA, A. J. S. ; ROLIM, P. A. M. ; SANTO, A. R. S. E. ; SOUSA, J. R. A. . Relações entre a Oscilação Decadal do Pacífico e a Variabilidade da precipitação em Porto Alegre RS. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010, Belém do Pará. **Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2010.

REBOITA, M. S. **Ciclones Extratropicais sobre o Atlântico Sul: Simulação Climática e Experimentos de Sensibilidade**. Tese de Doutorado em Meteorologia, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG–USP, 359 pg., 2008.

REBOITA, M. S. ; GAN, M. A. ; DA ROCHA, R. P. ; AMBRIZZI, Tércio . Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso)**, v. **25**, p. 185-204, 2010.

QIU, B.; JIN, F. F. . Antarctic circumpolar waves: An indication of ocean-atmosphere coupling in the extra tropics. **Geophysical Research Letters**, v. **24**, 2585–2588. 1997.

SAHA, *et al.*. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. B. **American Meteorological Society**, v. **91**, 1015–1057, 2010.

SANSIGOLO, C. A.; PEREIRA, C. S. ; SILVA, I. R. . Relações entre as precipitações regionais no Sul do Brasil e as temperaturas da superfície dos oceanos Atlântico e Pacífico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. **19**, n. 1, p. 5-11, 2004.

SANTOS, E. B. ; DINIZ, G. B. . Relação entre a Precipitação Pluvial no Rio Grande do Sul e a Temperatura da Superfície do Mar do Oceano Atlântico.. In: **XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, 2010, BELÉM. A Amazônia e o Clima Global, 2010.

SANTOS, D. C. ; VERARDO, G. ; FERRAZ, S.E. ; PIVA, E. D. . Avaliação das regiões homogêneas, usando o método de Análise de Agrupamento com diferentes aplicações nos dados de precipitação do Rio Grande do Sul. **Ciência e Natura**, v. E.S., p. 339-342, 2011.

SPERLING, V. ; FERNANDES, V. ; MARQUES, J. R. . Relação entre a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e a precipitação de verão no Rio grande do Sul. In: XVIII Congresso de Iniciação Científica e XI Encontro de Pós-Graduação (UFPel), 2009, Pelotas - RS. **Evolui sem extinguir**, 2009.

STRECK, N. A. ET AL. Associação da variabilidade da precipitação pluvial em Santa Maria com a Oscilação Decadal do Pacífico. **Pesquisa Agropecuária bras.**, Dez 2009, v. **44**, nº.12, p.1553-1561.

STUDZINSKI, C. D. S. **Um estudo da precipitação na região sul do Brasil e sua relação com os oceanos Pacífico e Atlântico Tropical e Sul**. 1995. 99 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos – SP. 1995.

TALLEY, L. D.. Simple coupled midlatitude climate models, **Journal of Physical Oceanography**, v. **29**, 2016–2037. 1999.

THOMPSON, D. W. J.; WALLACE, J. M. Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-Month variability. **Journal of Climate**, v. **13**, p. 1000-1016. 2000.

TURNER, J.; MARSHALL, G. J. **Climate change in the Polar Regions**. Cambridge University Press, Cambridge, 2011. 448 pages.

VAN DEN BROEKE, M. R.. The semiannual oscillation and Antarctic climate. Part 1: Influence on near-surface temperatures (1957–1979). **Antarct. Sci.**, 10(2), p. 175–183. 1998.

VAN LOON, H.. The half-yearly oscillations in middle and high southern latitudes and the coreless winter, **J. Atmos. Sci.**, v. **24**, p. 472 – 486. 1967.

VENEGAS, S. A. . **Statistical methods for signal detection in climate**. Danish Center for Earth System Science, University of Copenhagen, DCESS Report 2, 52 p. 2001.

VENEGAS, S. A. . The Antarctic Circumpolar Wave: A combination of two signals?, **Journal of Climate**, v. **16**, p. 2509–2525. 2003.

YUAN, X.; MARTINSON, D. G. The Antarctic dipole and its predictability. **Geophysical Research Letters**, Washington DC, v. **28**, n°. 18, p. 3609-3612, 2001.

WHITE, W. B.. Design of a global observing system for gyrescale upper ocean temperature variability. **Progress in Oceanography**, v. **36**, Pergamon, 169–217. 1995.

WHITE, W. B. . Influence of Antarctic Circumpolar Wave on Australian precipitation, **Journal of Climate**, v. **13**, p. 2125–2141. 2000.

WHITE, W. B.; PETERSON, R. G.. An Antarctic circumpolar wave in surface pressure, wind and sea ice extent, **Nature**, 380, p. 699–702. 1996.

WHITE, W. B.; CHERRY, N. J. . Influence of the Antarctic circumpolar wave upon New Zealand temperature and precipitation during autumn–winter. **Journal of Climate**, v. **12**, p. 960–976. 1999.

WHITE, W. B.; CHEN, S. C.. Thermodynamic Mechanisms Responsible for the Tropospheric Response to SST Anomalies in the Antarctic Circumpolar Wave. **Journal of Climate**. **15**:18, 2577-2596. 2002.

WHITE, W.; ANNIS, J.. Influence of the Antarctic Circumpolar Wave on El Niño and its multidecadal changes from 1950 to 2001. **Journal of Geophysical Research**. 2004.

WHITE, W. B., S. C. CHEN; R. G. PETERSON. The Antarctic Circumpolar Wave: A beta effect in ocean atmosphere coupling over Southern Hemisphere, **Journal of Physical Oceanography**, v. **28**, p. 2345–2361. 1998.

WHITE, W. B., P. GLOERSON; I. SIMMONDS. Tropospheric response of Antarctic Circumpolar Wave along the sea-ice edge around Antarctica, **Journal of Climate**., v. **17**, 2004.

WILKS, D. S.. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**, 2nd Ed. International Geophysics Series, v. **59**, Academic Press, 627 p. 2006.

WILMES, S. B.; RAIBLE, C. C.; STOCKER, T. F.: Climate variability of the mid- and high-latitudes of the Southern Hemisphere in ensemble simulations from 1500 to 2000 AD. **Climate Past Discuss.**, v. **7**, p. 3091-3129, 2011.