

ANÁLISE DOS QUANTIS DA TEMPERATURA MÍNIMA NO RIO GRANDE DO SUL E LIGAÇÕES COM OS SETORES DA CONCENTRAÇÃO DE GELO MARINHO ANTÁRTICO

DIONIS MAURI PENNING BLANK¹, JULIO RENATO QUEVEDO MARQUES¹, FLÁVIO BARBOSA JUSTINO²

¹Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Meteorologia, Pelotas, RS, Brasil

²Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Viçosa, MG, Brasil.

dionisblank@gmail.com, jmarques_fmnet@ufpel.edu.br, fjustino@ufv.br

Recebido Maio 2009 – Aceito Maio 2010

RESUMO

A Antártica tem papel relevante no domínio da circulação atmosférica e oceânica devido às mudanças sazonais consideráveis na concentração de gelo marinho. Há importante modificação sazonal nas dimensões do gelo que circunda seu continente. Entretanto, poucos estudos têm investigado a relação da Concentração de Gelo Marinho Antártico (CGMA) com outros elementos climáticos. Dessa forma, o objetivo deste trabalho consistiu em examinar a existência de conexão entre a CGMA e as classes fria e quente da temperatura mínima diária, observada em algumas estações meteorológicas do Rio Grande do Sul (RS), no período de 1982 a 2005. Para isso, os dados de temperatura mínima foram transformados em classes fria e quente, por meio da técnica dos quantis, e correlacionados com os setores da CGMA. A cobertura de gelo marinho foi mínima (máxima) em fevereiro (setembro), tendo os setores do Mar de Weddell e de Ross apresentado cobertura significativa de maio a novembro. O coeficiente de correlação mostrou a existência de conexão entre as classes fria e quente da temperatura mínima diária e a CGMA, com destaque para a influência dos setores dos Mares de Weddell, Ross, Bellingshausen e Amundsen.

Palavras-chave: concentração de gelo marinho, temperatura mínima, Antártica, Rio Grande do Sul.

ABSTRACT: QUANTILES ANALYSIS OF MINIMUM TEMPERATURE IN RIO GRANDE DO SUL AND RELATIONSHIPS WITH THE ANTARCTIC SEA ICE CONCENTRATION SECTORS

Antarctic plays a prominent role in driving the atmospheric and oceanic circulations due to remarkable seasonal changes of sea-ice concentration (SIC). Nevertheless, few attention has been taken to studies focusing on the link between the SIC and other climatic parameters. Our goal in the present study is to investigate the relationship between the SIC and the minimum surface daily temperature in the State of Rio Grande do Sul. SIC is minimum in February and maximum in September. However, Weddell and Ross sea shows remarkable SIC from May to November. Based on statistical analyses the minimum temperature values were converted to cold and warm classes. Afterwards these values were correlated with SIC in different sectors of the Antarctic surrounding seas. The statistical correlation results showed that these temperature classes and the SIC are connected in particular to the Weddell, Ross, Bellingshausen and Amundsen seas.

Keywords: sea ice concentration, minimum temperature, Antarctica, Rio Grande do Sul.

1. INTRODUÇÃO

O Gelo Marinho (GM) é caracterizado em termos de espessura, concentração (percentual de área coberta), idade e espessura da camada de neve superior. Destacam-se ainda o *freeboard* (altura pela qual o GM se estende além da superfície do oceano) e o *ice draft* (extensão descendente da coluna de gelo e neve). Em algumas situações o monitoramento é árduo, visto que há a necessidade de observação *in situ*, em vez de sensoriamento remoto, embora a concentração de gelo possa ser inferida por satélites (Storch e Zwiers, 2000).

A faixa costeira da Antártica tem características muito particulares, com ênfase para o seu alastramento para o norte que muda drasticamente de acordo com as estações do ano, embora essa variação não seja a mesma considerando a totalidade do continente. O gelo avança mais rapidamente entre maio e junho, alcançado cobertura máxima em setembro, e retrai mais rapidamente em novembro e dezembro, alcançando cobertura mínima em fevereiro (Deacon, 1985). Desse modo, as extensões, máxima em setembro (18,8 milhões de km²) e mínima em fevereiro (3,6 milhões de km²), resultam numa variação (15,2 milhões de km²) que supera a própria área do continente (14 milhões de km²) (Ferron, 1999).

Nesse contexto, a variabilidade climática global e regional é influenciada pela variação na cobertura de GM em razão de mecanismos atmosféricos e oceânicos, como, por exemplo, o Southern Annular Mode (SAM)/Antarctic Oscillation (AAO) e o El Niño-Southern Oscillation (ENSO) (Zhang, 2007). Além disso, está associada a processos dinâmicos e termodinâmicos ocasionados por mudanças na transferência de energia entre a atmosfera e o oceano subjacente (Walsh, 1983; Justino e Peltier, 2008).

Os fluxos de calor sensível e latente na atmosfera, sobre o GM, são menores do que sobre águas oceânicas livres de gelo (Parkinson, 2004; Lima, 2007). Dessa forma, não apenas por possuir uma maior refletividade da radiação solar, como também por suas próprias características físicas, o GM restringe as trocas de calor, massa e momento, vindo a ser considerado um indicador particularmente sensível das variações climáticas de grande escala e longo prazo.

É indiscutível a importância e a variabilidade espacial e temporal do GM Antártico. Contudo, estudos relativos à sua influência sobre elementos climáticos são ainda escassos (Pezza e Ambrizzi, 2004; Justino e Peltier, 2006; Aquino et al., 2006), quando comparados a outros que visam investigar a sua variabilidade e tendência (Zwally et al., 2002; Cavalieri e Parkinson, 2008; Marson, 2008; Steig et al., 2009).

Neste estudo, portanto, é feita uma avaliação da relação entre a Concentração de Gelo Marinho Antártico (CGMA) e a temperatura mínima no Rio Grande do Sul (RS). A escolha

da temperatura mínima, em vez de outro elemento climático, deu-se pela necessidade de sua melhor previsibilidade, visando à aplicação de técnicas mais eficazes para a proteção de cultivos agrícolas, visto que o prejuízo causado pelo frio e pela geada é considerável em algumas regiões.

O objetivo geral deste estudo foi verificar a existência de correspondência entre a CGMA e as classes fria e quente da temperatura mínima diária observada em algumas estações meteorológicas do RS, no período de 1982 a 2005.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Dados

2.1.1. Temperatura mínima diária

Foram utilizados dados de temperatura mínima diária do ar de 1982 a 2005 de seis (6) estações meteorológicas convencionais situadas no RS, pertencentes ao 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (8º DISME-INMET), distribuídas espacialmente conforme a Figura 1 e Tabela 1, escolhidas por possuírem a série de dados mais completa e pelo fato de que as massas de ar frio que chegam ao Brasil pelo sul não são de origem polar, ou seja, ingressam pelo Oceano Pacífico Sudeste, em latitudes médias, e avançam pela América do Sul (AS) na direção sudoeste-nordeste, direção do eixo que identifica a maioria das estações relacionadas no estudo, conforme Setzer e Romão (2004).

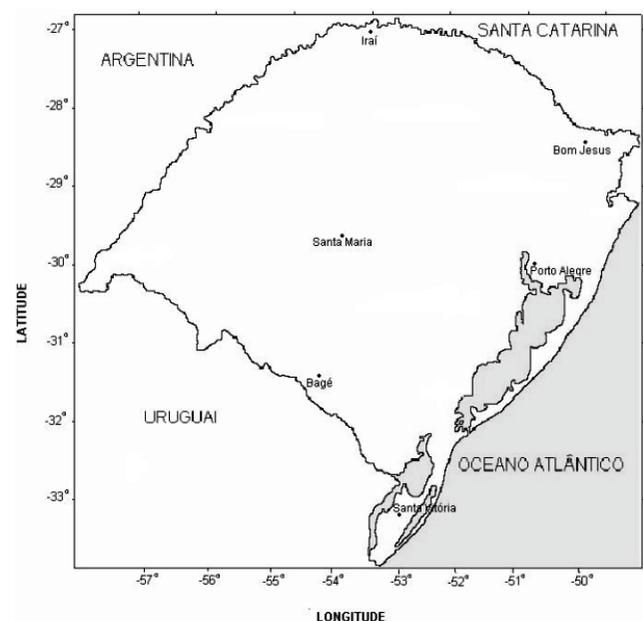


Figura 1 – Distribuição espacial das estações meteorológicas examinadas no RS.

Tabela 1 – Coordenadas espaciais das estações meteorológicas estudadas no RS.

Código	Estação	Latitude	Longitude	Altitude
83980	Bagé	31°20'S	54°06'W	242,31m
83919	Bom Jesus	28°40'S	50°26'W	1047,5m
83881	Iraí	27°11'S	53°14'W	247,1m
83967	Porto Alegre	30°03'S	51°10'W	46,97m
83936	Santa Maria	29°42'S	53°42'W	95m
83997	Santa Vitória do Palmar	33°31'S	53°21'W	24,01m

2.1.2. Concentração de gelo

Foram utilizados dados médios mensais de concentração de gelo de 1982 a 2005 do *National Oceanic & Atmospheric Administration Optimum Interpolation Sea Surface Temperature Version 2* (NOAA OI.v2 SST), obtidos junto ao *National Center for Environmental Prediction-National Center for Atmospheric Research Reanalysis* (NCEP-NCAR), disponibilizados numa grade global de 1° latitude x 1° longitude no formato *Network Common Data Form* (NetCDF).

A análise do NOAA OI SST é produzida semanalmente em uma grade de 1°. A análise utiliza SSTs *in situ* e de satélite com SSTs simuladas da cobertura de GM. Antes do cômputo da análise, os dados de satélite são ajustados parcialmente utilizando o método de Reynolds (1988) e Reynolds e Marsico (1993), o que melhora a precisão de larga escala do OI. Em novembro de 2001, os campos de OI foram recomputados do final de 1981 para frente, sendo que a nova versão passou a ser chamada de OI.v2, com uma melhora significativa na simulação da SST de dados de GM, utilizando uma técnica desenvolvida no UK Met Office, reduzindo as análises parciais do OI SST em latitudes mais elevadas. Uma descrição da análise do OI e detalhes sobre sua nova versão podem ser encontrados em Reynolds e Smith (1994) e Reynolds et al. (2002), respectivamente.

Os campos mensais do NOAA OI.v2 SST são derivados de uma interpolação linear entre os campos semanais e diários do OI.v2, e a concentração de gelo é armazenada como o percentual de área coberta. Os limites da matriz de concentração de gelo foram definidos de forma a centralizar as áreas ao redor do Pólo Sul, correspondendo à área do Oceano Austral, subdividida em setores, nas latitudes entre 90°S e 50°S e 0-360° de longitude, de acordo com a Figura 2.

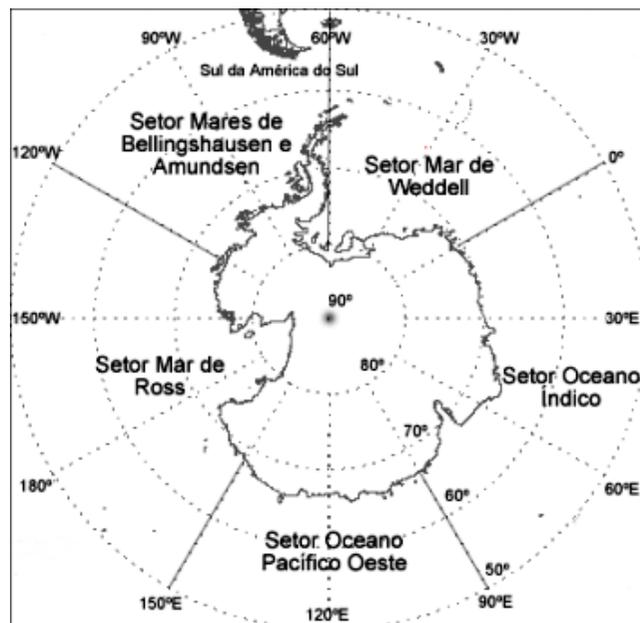


Figura 2 – Distribuição espacial dos setores da CGMA em perspectiva esferográfica polar (latitude de 90°S – 50°S e 360° de longitude). Os setores são: Mar de Weddell (60°W – 0°), Oceano Índico (0° – 90°E), Oceano Pacífico Oeste (90°E – 150°E), Mar de Ross (150°E – 120°W) e Mares de Bellingshausen e Amundsen (120°W – 60°W). Fonte: Adaptada de Cavalieri e Parkinson (2008).

2.2. Metodologia

2.2.1. Técnica dos quantis

Segundo Wilks (2006) muitas medidas confiam no uso de amostras de quantis selecionados. Quantis ou frações são essencialmente equivalentes ao termo mais familiar: percentil. Uma amostra de quantil, Q_p , é um número que tem as mesmas unidades dos dados, que excede aquela proporção dos dados identificada pela subscrição p , com $0 \leq p \leq 1$. A amostra de quantil Q_p pode ser interpretada, aproximadamente, como aquele valor esperado para exceder um membro escolhido aleatoriamente da série de dados, com probabilidade p . Equivalentemente, a amostra de quantil Q_p seria considerada como o percentil ($p \times 100$) da série de dados. Abaixo segue a descrição e interpretação da técnica nos termos de Xavier (1999).

Suponha-se que a temperatura mínima em um determinado local, em certo subintervalo do ano (mês, bimestre, trimestre, quadrimestre, semestre, etc.), com respeito a anos consecutivos, possa ser representada como uma variável aleatória contínua X . Desse modo, qualquer que seja a lei apropriada aos dados, define-se o quantil Q_p , para cada número real p entre 0 (zero) e 1 (um), como o valor em °C (Celsius) da temperatura mínima que satisfaça a condição:

$$\text{Prob}(X \leq Q_p) = p \quad (1)$$

Consequentemente, se $F = F_x$ for uma função de distribuição (ou função de repartição) de probabilidades associada à variável aleatória contínua X , admitindo uma “inversa” F^{-1} num intervalo $[a, b]$, $-\infty \leq a < b \leq +\infty$, tal que $F(a) = 0$ e $F(b) = 1$, então:

$$F(Q_p) = p \text{ (1a) ou } F^{-1}(p) = Q_p \quad (1b)$$

Ademais, para qualquer valor observado X_0 da temperatura mínima, o número p_0 ($0 < p_0 < 1$) tal que:

$$F(X_0) = p_0 \quad (1c)$$

diz-se a ordem quantílica p_0 associada a X_0 .

Uma interpretação simples para o quantil Q_p é a seguinte: supondo a “probabilidade” p expressa em termos percentuais, espera-se que em p (%) dos anos, a medida da temperatura mínima não deve ultrapassar o valor desse quantil Q_p , em Celsius, enquanto que para $100 - p$ (%) dos anos, tal valor será excedido.

Com respeito às ordens quantílicas $p = 0,25, 0,50$ e $0,75$ (25%, 50% e 75%), os quantis respectivos são os quartis (ou $Q_{0,25}$, $Q_{0,50}$ ou mediana e $Q_{0,75}$). Finalmente, note-se que se reserva a designação de decis para os quantis correspondentes a 10%, 20%, ..., 90% e percentis àqueles correspondentes a 1%, 2%, ..., 99%.

Tem-se a ideia de que as estimativas de quantis para uma dada região são mais confiáveis quanto maior o número de medições na área estudada e a extensão em anos das séries utilizadas. Todavia, mesmo dispondo de séries muito longas, haveria ainda um problema delicado a ser apreciado: talvez não seja conveniente lançar mão de um período de tempo excessivamente prolongado, já que o mesmo pode comportar alguma mudança climática com respeito ao regime térmico, conforme identifica Xavier (1999), o que levaria a uma interpretação incorreta.

Considerando (X_1, X_2, \dots, X_n) a série de dados de cada mês da temperatura mínima diária do período em estudo (1982-2005), foram calculados os quantis $Q(0,30)$ e $Q(0,70)$, de cada estação meteorológica, os quais foram definidos como: classe fria ($X_i \leq Q_{0,30}$) e classe quente ($X_i \geq Q_{0,70}$).

Se para cada valor X_i da temperatura mínima for calculada a ordem quantílica p_i correspondente, tem-se, equivalentemente: classe fria ($p_i \leq 0,30$) e classe quente ($p_i \geq 0,70$). De posse do valor mensal do quantil do período, foi determinado, o número de dias frios e quentes de cada mês, ou seja, a frequência de dias que se estabeleceu com valor de temperatura dentro da respectiva ordem quantílica para cada mês, em cada ano.

A utilização do número de dias frios e quentes, em vez da simples média mensal da temperatura, visa evitar que os dados não sejam representativos, ou seja, enquanto que a aplicação da média leva a um único valor, o qual pode ser muito influenciado quando há outros muito afastados, o número de dias frios e quentes mostra as características reais da série de dados, gerando maior confiabilidade aos resultados.

2.2.2. Coeficiente de correlação

De acordo com Storch e Zwiers (2000) o coeficiente de correlação entre duas variáveis aleatórias X e Y , no caso, concentração de gelo mensal e números de dias frios (quentes) mensal, respectivamente, é dado por:

$$\text{Cor}_{(X,Y)} = \frac{\text{Cov}_{(X,Y)}}{\sqrt{\text{Var}_{(X)} \text{Var}_{(Y)}}} \quad (2)$$

onde: $\text{Cov}_{(X,Y)}$ é a covariância de X e Y ;
 $\text{Var}_{(X)}$ é a variância de X ;
 $\text{Var}_{(Y)}$ é a variância de Y .

Nesse contexto, é importante destacar que o número de dias frios (quentes) e a CGMA foram correlacionados utilizando o software livre GrADS (Figuras 4 a 7).

2.2.3. Teste t de Student

Segundo Mingoti (2007) quando as variáveis X_i, X_j , $i \neq j$ têm distribuição normal univariada, é possível testar a significância do coeficiente de correlação através de um teste de hipótese. Assim, se ρ_{ij} representa a correlação teórica entre X_i e X_j , as hipóteses: $H_0 : \rho_{ij} = 0$ contra $H_1 : \rho_{ij} \neq 0$ podem ser testadas por meio do cálculo da estatística:

$$t = R_{ij} \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R_{ij}^2}} \quad (3)$$

onde R_{ij} é a correlação amostral observada entre X_i e X_j . Sob a hipótese nula, a estatística em (3) tem uma distribuição t de Student com $(n-2)$ graus de liberdade, denotada por t_{n-2} , em que n é a amostra de dados (anos). Assim, para um nível de significância α fixo, $0 < \alpha < 1$, encontra-se na tabela t de Student o correspondente valor crítico t^c tal que:

$$\text{Prob} [t_{n-2} > t^c] = \alpha/2 \quad (3a)$$

Se o valor observado da estatística t em (3) em valor absoluto exceder ao valor crítico t^c , a hipótese nula deve ser rejeitada. Desse modo, supondo-se que a distribuição normal seja válida

para as variáveis, pode-se fazer o teste t de Student para verificar se as correlações entre as variáveis são significativas ou não.

No caso em apreço, sendo $n = 24$ (período de 1982 a 2005), foram testados 3 níveis de significância: 10%, 5% e 1%, conforme apresentado na Tabela 2.

Exemplificadamente, considerando que para um nível de significância igual a 10% o valor crítico da tabela t de Student com 22 graus de liberdade é igual a 1,717, rejeita-se a hipótese de que a correlação entre as variáveis é igual a zero, quando, em valor absoluto, o valor de t observado é maior do que o valor crítico. Assim, conclui-se que a correlação entre as variáveis é estatisticamente significativa. No caso, a correlação será estatisticamente significativa a um nível de significância de 10%, 5% e 1%, quando $R_{ij} \geq 0,34$, $R_{ij} \geq 0,41$ e $R_{ij} \geq 0,52$, respectivamente.

Quando os valores de t observados são menores, em valor absoluto, do que o valor crítico, ou seja, quando o valor de R_{ij} for inferior aos elencados acima, em seu nível de significância correspondente, diz-se que as correlações entre as variáveis são consideradas não significativas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Comportamento médio mensal do gelo marinho Antártico

A Figura 3 mostra o comportamento médio mensal do GM Antártico no período de 1982 a 2005. Nesse período, o GM apresentou cobertura mínima em fevereiro (Figura 3b) e máxima em setembro (Figura 3i), resultados também obtidos por outros autores (por exemplo, Deacon, 1985; Ferron, 1999; Zwally et al., 2002; Lima, 2007; Cavalieri e Parkinson, 2008).

A partir do mês de fevereiro (Figura 3b) a cobertura aumentou gradativamente, sendo marcante seu aumento no setor do Mar de Weddell. Em abril (Figura 3d) esse aumento, mais preponderante frente aos demais setores, também passou a ser visto mais claramente no setor do Mar de Ross. Nos meses de maio e junho (Figuras 3e e 3f) o aumento da extensão do GM passou a ser característica em todos os setores, observando-se seu rápido avanço. Nos meses de julho a outubro (Figuras 3g a 3j) a extensão apresentou dimensões suavemente alteradas, em

setembro (Figura 3i) tem-se o valor máximo conforme já foi referido. Nos meses de novembro e dezembro (Figuras 3k e 3l) a cobertura de gelo passou a diminuir, alcançando valor mínimo no mês de fevereiro (Figura 3b), como também já foi salientado.

Examinando o comportamento médio do GM em todos os meses, é perceptível que o setor do Mar de Weddell, localizado na porção meridional, ao sul do Oceano Atlântico, apresenta cobertura de gelo durante praticamente todo o ano, com extensão significativa principalmente nos meses de maio a novembro. O setor do Mar de Ross, localizado na costa Antártica do Oceano Pacífico, ao sul da Nova Zelândia, também merece destaque para os mesmos meses, contudo apresenta maior variabilidade sazonal, ou seja, maior variação na cobertura de GM de acordo com as estações do ano.

Além disso, pode ser dito que a menor (maior) extensão coincide com o término do verão (inverno) no Hemisfério Sul (Hemisfério Norte). Ressalta-se que o fator determinante da variabilidade sazonal do GM é a variação na quantidade de radiação solar, que chega à superfície nas diferentes épocas do ano, segundo Justino e Peltier (2006).

3.2. Classes fria e quente da temperatura mínima diária

Em termos percentuais, as classes fria e quente da temperatura mínima diária, no período de 1982 a 2005, foram superiores ao valor médio mensal esperado para os quantis em muitos anos, indicando a ocorrência de uma variabilidade no número de dias frios e quentes das estações meteorológicas, levando em consideração que, numa situação ideal, a classe fria deveria ter 30%, a classe normal 40% e a classe quente 30% dos dados de temperatura. Contudo, a média anual dos quantis se mostrou coerente com a situação ideal destacada, com exceção de Porto Alegre, no mês de abril, que exibiu percentual de anos com classes fria e quente superior a 35%, e Bom Jesus no mês de outubro, que apontou percentual de anos com classe quente superior a 52%.

Ademais, é verificada em todos os meses, na maior parte dos anos, uma persistência no percentual das classes fria e quente, excedente à média anual calculada para o período em estudo em algumas localidades. No intuito de explicar essas variações, Gonçalves (2001) investigou a variabilidade das temperaturas mínima e máxima diárias, para 1961 a 1996, no RS, aplicando a técnica de frequências relativas percentuais de anomalias das temperaturas mínima e máxima diárias, mostrando haver uma grande influência do relevo, da maritimidade e da latitude, na distribuição das médias anuais e sazonais das temperaturas mínima e máxima diárias. Além disso, sugeriu existir uma grande influência das massas de ar que invadem o continente em ambas as estações do ano na

Tabela 2 – Níveis de significância, valores críticos e correlações relacionados ao período em estudo (1982-2005).

Nível de significância	Valor crítico	Correlação
1%	2,819	0,52
5%	2,074	0,41
10%	1,717	0,34

variabilidade das temperaturas mínima e máxima diárias. Diante disso, é inegável que os fatores locais respondam por muitas dessas variações.

3.3. Correlação entre o número de dias frios (quentes) e os setores da CGMA

O número de dias frios (quentes), oriundos da classe fria (quente), de cada localidade, foi correlacionado com os setores da CGMA indicados na Figura 2. Nos meses de janeiro a abril (Figuras não mostradas), as áreas e os valores da correlação são muito similares em todas as estações meteorológicas, para o respectivo mês, com a maioria dos setores estatisticamente significativos em praticamente todos os níveis de significância

testados (10% e 5% em regiões mais amplas e 1% em situações mais pontuais). Contudo, não há preponderância de uma área de correlação em nenhum dos setores da CGMA, exceto na correlação dos setores do Mar de Weddell e do Mar de Ross comparados aos demais. O que se destaca é o comportamento inverso no sinal das áreas de correlação entre os dias frios e quentes, o qual não importa muito, visto que a relevância reside na área, ou seja, no gradativo avanço das áreas de correlação, mês a mês, resultado do avanço da CGMA. Também é de se destacar a intensa variação nas áreas de correlação, principalmente nos meses de janeiro, fevereiro e março.

Nos meses de maio (Figura 4) e junho (Figura 5), a cobertura de GM continua a avançar apresentando aumento de significância e valores de correlação mais evidentes em

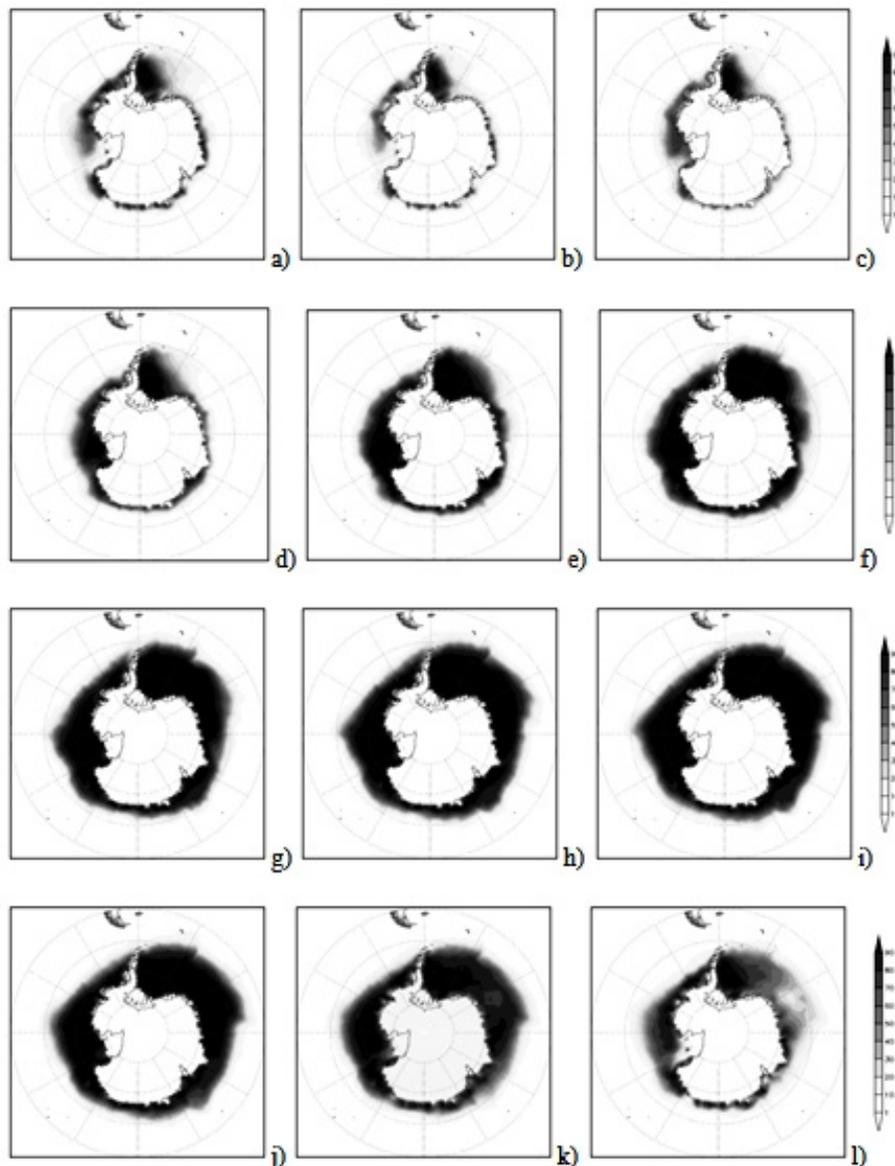


Figura 3 – Percentual de cobertura média de GM Antártico para os meses de janeiro (a), fevereiro (b), março (c), abril (d), maio (e), junho (f), julho (g), agosto (h), setembro (i), outubro (j), novembro (k) e dezembro (l), no período de 1982 a 2005.

todas as estações meteorológicas. De maneira geral, em maio (Figura 4), todos os setores se correlacionaram positivamente (negativamente) com o número de dias frios (quentes), exceto o setor do Mar de Weddell, no qual ocorreu o inverso. Em junho (Figura 5), praticamente todos os setores se correlacionaram positivamente (negativamente) com o número de dias frios (quentes).

O exposto acima permite ressaltar o contraste, ou seja, as correlações de sinais opostos existentes entre os setores do Mar de Weddell e de Ross no mês de maio (Figura 4). Esse contraste é muito similar ao Dipolo Antártico, definido por Yuan e Martinson (2001), embora o dipolo Antártico seja mais pronunciado nos Mares de Bellingshausen e Amundsen. Os

autores estudaram a relação entre a extensão do GM Antártico e a variabilidade do clima global, destacando que a correlação das anomalias do GM Antártico com a temperatura global da superfície produziu quatro padrões de correlação característicos: o El Niño-Oscilação Sul como padrão nos Trópicos com correlações fortes no Oceano Índico e América do Norte, um padrão de teleconexão entre as regiões do Pacífico Leste da região Antártica e do Pacífico tropical oeste-central, um Dipolo Antártico no Estreito de Drake (marca a separação entre a Antártica e a AS e está situado aproximadamente em 55°S) e estruturas de banda meridional no Pacífico e Atlântico central estendo-se das regiões polares para as tropicais, até mesmo para o Hemisfério Norte. Por fim, ainda salientam que as anomalias

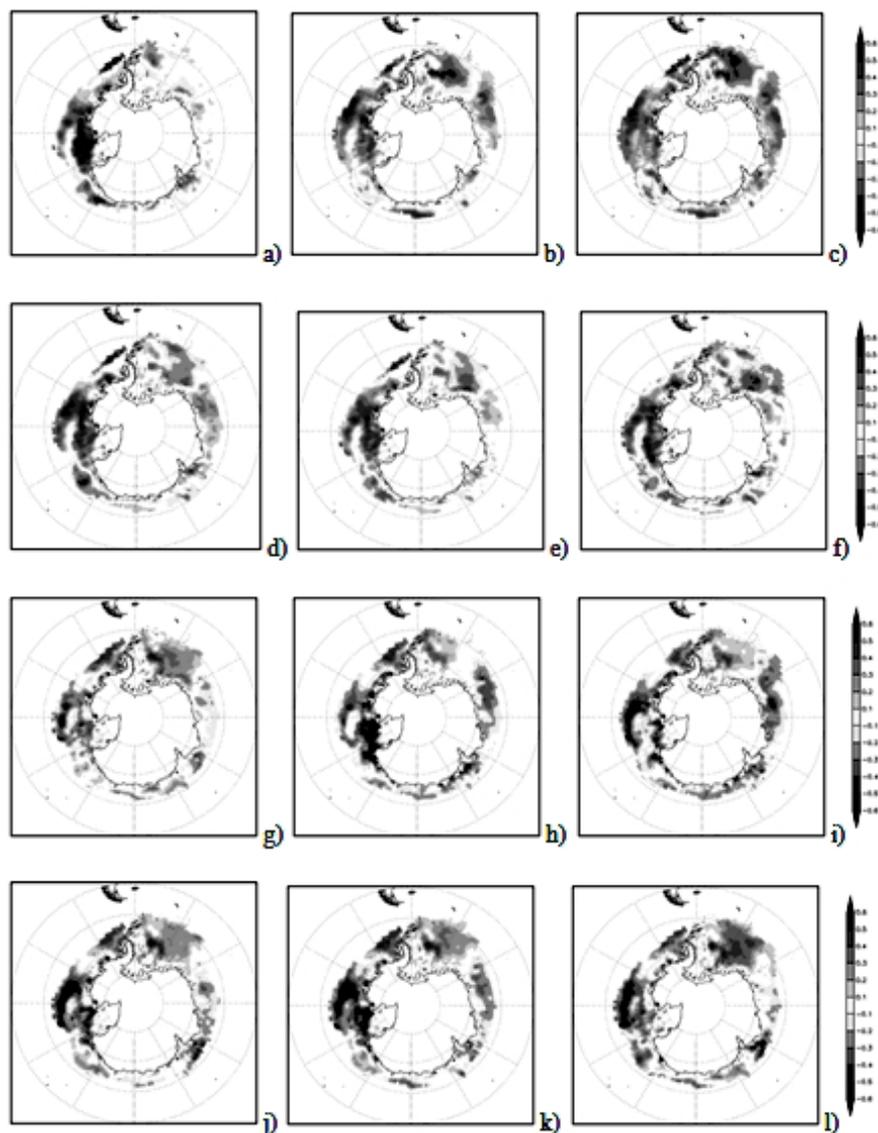


Figura 4 – Coeficiente de correlação entre a CGMA e o número de dias ‘frios’ (quentes) da temperatura mínima diária das estações de Bagé ‘a’ (g), Bom Jesus ‘b’ (h), Iraí ‘c’ (i), Porto Alegre ‘d’ (j), Santa Maria ‘e’ (k) e Santa Vitória do Palmar ‘f’ (l) para o mês de maio, no período de 1982 a 2005.

de GM Antártico nos setores dos Mares de Amundsen, Bellingshausen e Weddell mostraram ligações polares mais intensas com o clima extrapolar.

A partir do crescimento da área coberta por gelo no mês de junho (Figura 5), observa-se que o contraste nos valores da correlação existente em maio (Figura 4) é extremamente reduzido. É importante destacar que a redução nos valores da correlação ocorre de forma mais acentuada com relação ao número de dias frios. As correlações negativa (positiva), para o número de dias frios, e positiva (negativa), para o número de dias quentes, são estatisticamente mais significativas a partir do nível de significância de 5%, o qual é válido para o coeficiente de correlação igual ou superior a 0,41 ($R_{ij} \geq 0,41$). Desse modo,

para os meses referentes ao primeiro semestre, do período de 1982 a 2005, as relações entre o número dias frios e quentes das diversas localidades e o GM nos pontos de grade dos vários setores de CGMA, no mês respectivo, em termos de áreas e sinais de correlação, foram consideráveis. Portanto, isso impede designar alguma região do RS como aquela possuidora de maior coeficiente de correlação.

A partir do mês de julho (Figura 6), seguindo pelos meses de agosto e setembro (Figuras não mostradas) até outubro (Figura 7), as áreas significativas e os valores de correlação podem ser melhor identificados, já que passam a ser reunidos de forma mais organizada, em razão da maior cobertura de GM Antártico nesses meses. Em julho (Figura 6), o setor dos Mares

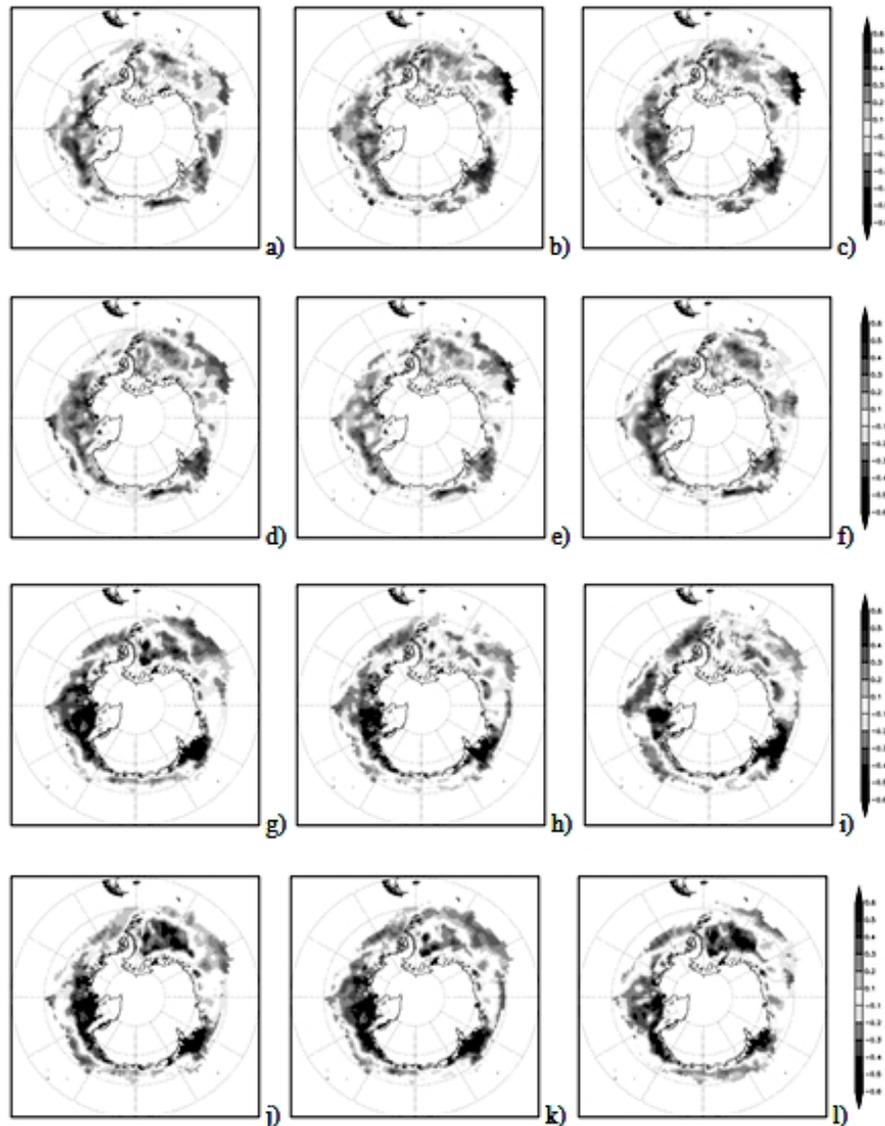


Figura 5 – Coeficiente de correlação entre a CGMA e o número de dias ‘frios’ (quentes) da temperatura mínima diária das estações de Bagé ‘a’ (g), Bom Jesus ‘b’ (h), Iraí ‘c’ (i), Porto Alegre ‘d’ (j), Santa Maria ‘e’ (k) e Santa Vitória do Palmar ‘f’ (l) para o mês de junho, no período de 1982 a 2005.

de Bellingshausen e Amundsen passa a se correlacionar de forma negativa (positiva) com o número de dias frios (quentes), embora existam locais com comportamento distinto. Uma diferença marcante entre os meses de junho e julho é o aparecimento de correlações negativas em julho entre o número de dias frios e a CGMA no Mar de Bellingshausen (Figura 6a-f). Por outro lado, existe uma desintensificação da relação entre a CGMA e o número de dias quentes (Figura 6g-l).

Em princípio, os meses de agosto e setembro (Figuras não mostradas) apresentaram comportamento semelhante entre as estações meteorológicas, com destaque para uma forte banda de correlação positiva (negativa) nos setores do Mar de Weddell e do Oceano Índico para o número de dias frios (quentes), com valores estatisticamente significativos,

inclusive, ao nível de significância de 1%, o qual é válido para o coeficiente de correlação igual ou superior a 0,52 ($R_{ij} \geq 0,52$). É importante salientar que variações de CGMA no Oceano Índico não parecem influenciar o número de dias frios e quentes no RS, principalmente por conta do seu afastamento em relação ao último. Todavia, pode-se argumentar que a semelhança no padrão da correlação entre as regiões do Mar de Weddell e do Oceano Índico resulta da similar variação espaço-temporal da CGMA entre as duas áreas.

A análise para o mês de outubro (Figura 7) mostrou que os valores de correlação são significativos em grande parte dos setores mais próximos da costa Antártica, ao nível de significância de 1%. Na maioria das estações, os setores do Mar de Weddell e do Oceano Pacífico Oeste se correlacionaram

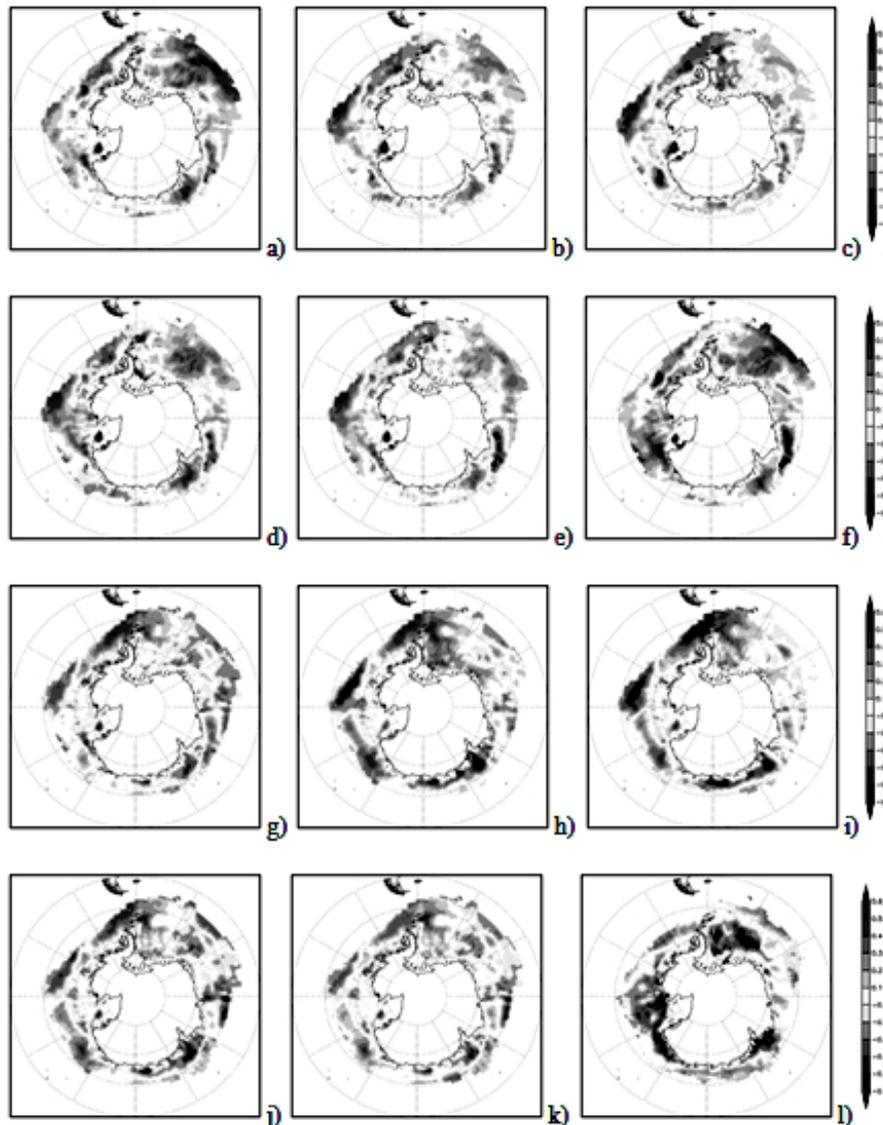


Figura 6 – Coeficiente de correlação entre a CGMA e o número de dias ‘frios’ (quentes) da temperatura mínima diária das estações de Bagé ‘a’ (g), Bom Jesus ‘b’ (h), Iraí ‘c’ (i), Porto Alegre ‘d’ (j), Santa Maria ‘e’ (k) e Santa Vitória do Palmar ‘f’ (l) para o mês de julho, no período de 1982 a 2005.

fortemente de maneira negativa (positiva) com o número de dias frios (quentes), ao contrário do observado nos demais setores.

Nos meses de novembro e dezembro (Figuras não mostradas) as áreas significativas e os valores da correlação passaram a diminuir, fazendo desaparecer áreas características de correlação nos setores da costa Antártica, principalmente em virtude da retração da cobertura de gelo nesses meses, a qual é evidente até fevereiro, mês detentor da mínima extensão de gelo do período em estudo.

Assim como para os meses relativos ao primeiro semestre, para a segunda metade do período, não é clara a preponderância,

em respeito à abrangência e valores de correlação, entre as regiões estudadas no RS, embora tenha ficado evidente que os setores dos Mares de Weddell, Bellinghausen e Amundsen e Ross têm importância destacada na ligação entre a CGMA e o número de dias frios e quentes.

4. CONCLUSÕES

O comportamento médio mensal da cobertura de GM Antártico mostrou, como esperado, a tendência em avançar (retrair) rapidamente nos meses de maio e junho (novembro

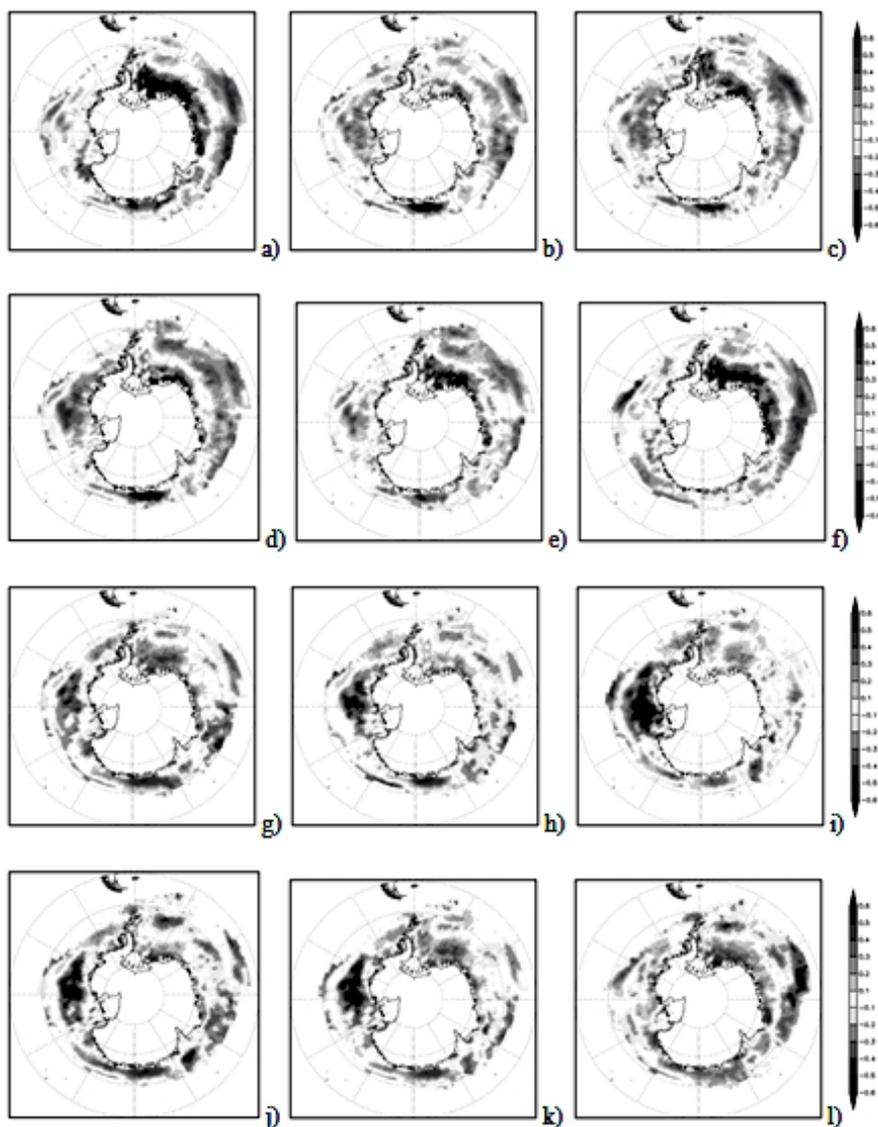


Figura 7 – Coeficiente de correlação entre a CGMA e o número de dias ‘frios’ (quentes) da temperatura mínima diária das estações de Bagé ‘a’ (g), Bom Jesus ‘b’ (h), Irai ‘c’ (i), Porto Alegre ‘d’ (j), Santa Maria ‘e’ (k) e Santa Vitória do Palmar ‘f’ (l) para o mês de outubro, no período de 1982 a 2005.

e dezembro), obtendo valor máximo (mínimo) em setembro (fevereiro). Isso coincide com o término do inverno (verão) no Hemisfério Sul (Hemisfério Norte). Os setores dos Mares de Weddell e de Ross se destacaram em relação aos demais, já que a cobertura de GM nessas regiões foi persistente, de forma mais significativa de maio a novembro.

O número de dias frios e quentes no RS e os setores da CGMA, por meio da abrangência e dos valores da correlação, mostraram a existência de conexão entre essas duas variáveis durante grande parte do período estudado. Nos meses de janeiro a abril, embora não tenham sido localizadas áreas e valores significativos de correlação, evidenciou-se maior correlação em relação aos setores do Mar de Weddell e de Ross, bem como uma maior variação nas áreas de CGMA nessas áreas, em especial, de janeiro a março.

Nos meses de julho a outubro as estações meteorológicas apresentaram comportamento distinto em áreas e valores de correlação, apontando-se como causa a maior variabilidade do número de dias frios e quentes no inverno no RS. Nesse sentido, é importante ressaltar que não existe grande variabilidade interanual na CGMA, o que indica que as mudanças no número de dias frios e quentes no RS podem ser influenciadas por mudanças nos padrões atmosféricos que ocorrem fora do continente Antártico. Ainda, nos meses de novembro a dezembro as áreas significativas e os valores da correlação passaram a diminuir, possivelmente em função da retração da cobertura de GM e pela menor variabilidade do número de dias frios e quentes.

Por fim, as localidades apresentaram comportamento similar em termos de áreas significativas e valores de correlação, o que impede caracterizar alguma região do RS como aquela com maior relação com a CGMA. Os setores dos Mares de Weddell, Bellingshausen e Amundsen e Ross foram aqueles que apresentaram maior relação com o número de dias frios e quentes, sugerindo que a posição geográfica que cada setor ocupa é relevante.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AQUINO, F. E.; SETZER, A.; SIMÕES, J. C. Conexões climáticas entre o Rio Grande do Sul e o mar de Weddell. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBMet, 2006.
- CAVALIERI, D. J.; PARKINSON, C. L. Antarctic sea ice variability and trends, 1979-2006. **Journal of Geophysical Research**, Washington DC, v. 113, n. C07003, doi: 10.1029/2007JC004564, p. 1-19, 2008.
- DEACON, G. **The Antarctic circumpolar ocean: studies in polar research**. New York: Cambridge University Press, 1985. 180 p.
- FERRON, F. A. **Variações nas razões de isótopos estáveis na neve e no gelo na Ilha Rei George, Antártica**. 1999. 125 f. Dissertação (Mestrado em Geociências)-Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.
- GONÇALVES, A. M. **Estudo climatológico da variabilidade das temperaturas máxima e mínima diárias no estado do Rio Grande do Sul**. 2001. 81f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2001.
- JUSTINO, F.; PELTIER, R. Influence of present day and glacial surface conditions on the Antarctic Oscillation/Southern Annular Mode. **Geophysical Research Letters**, Washington DC, v. 33, L22702, doi: 10.1029/2006GL027001, 2006.
- JUSTINO, F.; PELTIER, R. Climate anomalies induced by the Arctic and Antarctic Oscillations: Glacial Maximum and present-day perspectives. **Journal of Climate**, Boston, v. 21, n. 3, doi: 10.1175/2007JCLI1703.1, p. 459-475, fev. 2008.
- LIMA, F. U. F. **Variabilidade extrema intra-sazonal do gelo marinho Antártico e relações com a circulação atmosférica**. 2007. 163 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- MARSON, J.M. **Gelomarinho Antártico: variabilidade e tendências, 1978-2006**. 2008. 52 f. Monografia (Curso de Oceanologia)-Instituto de Oceanografia, Laboratório de Estudos dos Oceanos e Clima, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2008.
- MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: UFMG, 2007. 295 p.
- PARKINSON, P. L. Southern Ocean sea ice and its wider linkages: insights revealed from model and observations. **Antarctic Science**, Cambridge, v. 16, n. 4, p. 387-400, 2004.
- PEZZA, A. B.; AMBRIZZI, T. Oscilações inter-anuais do gelo marinho ao redor da Antártica para 1979-2000: possíveis influências nos storm tracks e temperatura e precipitação em São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBMet, 2004.
- REYNOLDS, R. W. A real-time global sea surface temperature analysis. **Journal of Climate**, Boston, v. 1, n. 1, p. 75-86, 1988.
- REYNOLDS, R. W.; MARSICO, D. C. An improved real-time global sea surface temperature analysis. **Journal of Climate**, Boston, v. 6, n. 1, p. 114-119, 1993.
- REYNOLDS, R. W.; RAYNER, N. A.; SMITH, T. M.; STOKES, D. C.; WANG, W. An improved in situ and satellite SST analysis for climate. **Journal of Climate**, Boston, v. 15, n. 13, p. 1609-1625, 2002.
- REYNOLDS, R. W.; SMITH, T. M. Improved global sea surface temperature analyses. **Journal of Climate**, Boston, v. 7, n. 6, p. 929-948, 1994.

- SETZER, A.; ROMÃO, M. O. Efeito da circulação troposférica Antártica no sul e sudeste do Brasil no 1.º semestre de 2004, o mais frio das últimas décadas. In: SEMINÁRIO SOBRE PESQUISAS ANTÁRTICAS, 12., 2004, São Paulo. **Resumos...** São Paulo: CPA-IG-USP, 2004. p. 193. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/prod_antartica/publicacoes/200410_setzer_romao_spaxii_efeitocirculacao.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2009.
- STEIG, E. J.; SCHNEIDER, D. P.; RUTHERFORD, S. D.; MANN, M. E.; COMISO, J. C.; SHINDELL, D. T. Warming of the Antarctic ice-sheet surface since the 1957 International Geophysical Year. **Nature**, London, v. 457, doi: 10.1038/nature07669, p. 459-463, 22 jan. 2009.
- STORCH, H. V.; ZWIERS, F. W. **Statistical analysis in climate research**. New York: Cambridge University Press, 2000. 484p.
- WALSH, J. E. The role of sea ice in climate variability: theories and evidence. **Atmosphere–Ocean**, Ottawa, n. 21, p. 229-242, 1983.
- WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. 2. ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2006. 627 p.
- XAVIER, T.M.B.S. Caracterização de períodos secos e ou excessivamente chuvosos no Estado do Ceará através da técnica dos quantis: 1964-1998. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, p. 63-78, 1999.
- YUAN, X.; MARTINSON, D. G. The Antarctic dipole and its predictability. **Geophysical Research Letters**, Washington DC, v. 28, n. 18, p. 3609-3612, 2001.
- ZHANG, J. Increasing Antarctic sea ice under warming atmospheric and oceanic conditions, **Journal of Climate**, Boston, v. 20, p. 2515-2529, jun. 2007.
- ZWALLY, H. J.; COMISO, J. C.; PARKINSON, C. L.; CAVALIERI, D. J.; GLOERSEN, P. Variability of Antarctic sea ice 1979–1998. **Journal of Geophysical Research**, Washington DC, v. 107, n. C5, doi: 10.1029/2000JC000733, p. 42-43, 2002.