

ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO SAZONAL DO GELO MARINHO ANTÁRTICO ATRAVÉS DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO E DO MODELO BESM-OA.

Elisângela Finotti¹, Ronald Buss de Souza² e Fernanda Casagrande³

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Campus do Vale, Porto Alegre, RS - CEP: 91501-970 lizfinotti@gmail.com; ^{2,3}Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS/INPE-MCTIC), Av. Roraima 1000, Cidade Universitária, Camobi, Santa Maria, RS - CEP: 97105-900 ronald.buss@inpe.br, fenc10@hotmail.com.

RESUMO

O gelo marinho é um componente importante e complexo do sistema terrestre e é responsável pela regulação dos fluxos e das trocas de energia entre o oceano e a atmosfera. A dinâmica da concentração do gelo marinho (*sea ice concentration* - SIC) influencia o clima e também interage, na escala sinótica com a circulação atmosférica e oceânica. Este trabalho tem como objetivo avaliar a capacidade do modelo BESM-OA de representar a variabilidade sazonal da SIC. Para isso, utilizamos dados de sensoriamento remoto e do modelo BESM-OA para o período entre 1980 e 2005 para o Oceano Austral. Conclui-se que, para o experimento histórico do BESM-OA, o modelo superestima significativamente a SIC (diferenças positivas) no período em que ocorrem os máximos valores dessa variável. Para o período de mínimo SIC, as diferenças entre os dados de sensoriamento remoto e do modelo são pequenas e negativas. A análise preliminar realizada nesse estudo é extremamente importante para avaliar o desempenho de modelos climáticos e possibilitar melhorias na modelagem e previsão climática.

Palavras-chave — *Sensoriamento Remoto de Microondas Passivo, Gelo Marinho Antártico, Modelo BESM-OA e Oceano Austral.*

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE SEASONAL CONCENTRATION OF ANTARCTIC SEA ICE USING REMOTE SENSING AND BESM-OA MODEL DATA.

The sea ice is an important and complex component of the earth system and is responsible for regulating the fluxes and energy changes between the ocean and the atmosphere. The dynamics of the sea ice concentration (SIC) influences the climate and also interacts in the synoptic scale with the atmospheric and oceanic circulation. This work aims to evaluate the capacity of the BESM-OA model to represent the seasonal variability of the SIC. For this, we used remote sensing and BESM-OA data for period between 1980 and 2005 for the Southern Ocean. We concluded that, for the historical experiment of the BESM-OA, the model significantly overestimated the SIC (positive differences) in

the period in which the maximum values of this variable occur. For the SIC's minimum period, the differences between the remote sensing and the model are small and negative. The preliminary analysis made in this study is extremely important to evaluate the performance of climatic models and to allow for an improvement in the climatic modeling and forecast.

Key words — *Passive Microwave Remote Sensing, Antarctic Sea Ice, BESM-OA Model and Southern Ocean.*

1. INTRODUÇÃO

O gelo marinho formado pelo congelamento da superfície dos oceanos polares é um importante e complexo componente do sistema terrestre sendo responsável por regular os fluxos e as trocas de energia entre oceano e a atmosfera. É parte integral do sistema climático global e um dos principais controladores da circulação oceânica e atmosférica. Possui grande importância na formação das águas profundas envolvidas na circulação de revolvimento meridional global, já que provoca o aumento da densidade das águas através da ejeção de sal [1].

A evolução da concentração e extensão do gelo marinho antártico responde ao estado do clima e também o influencia [2], interagindo com a circulação atmosférica em resposta à forçante antropogênica expressa pela concentração de gases de efeito de estufa [3].

Esses processos que envolvem ou dependem do gelo marinho podem ser alterados caso haja uma mudança significativa na cobertura de gelo marinho. Esta é uma preocupação que vem crescendo nos últimos anos, visto que o gelo marinho é considerado um dos indicadores precoces do aquecimento global [4]. Como as anomalias de gelo marinho tendem a persistir por vários meses, elas têm o potencial de afetar fortemente a circulação atmosférica e oceânica. Dessa forma, as regiões polares atuam não somente como indicadores, mas como reguladores do clima global.

Desta forma é extremamente importante estudar a variabilidade do gelo marinho global. Vários estudos mostram que a resposta do gelo marinho ao aumento da temperatura atmosférica global não é a mesma para ambos os hemisférios, apresentando uma assimetria [5]: a tendência para a extensão do gelo marinho antártico no período de

1979 a 2006 foi (positiva) de $11.5 \pm 4.6 \times 10^3 \text{ km}^2/\text{ano}$ [6], enquanto que para o Ártico foi negativa ($-45.1 \pm 4.6 \times 10^3 \text{ km}^2/\text{ano}$). Ainda assim, essa tendência positiva na Antártica não é homogênea para todo entorno do continente, havendo uma variabilidade regional muito grande [6;7].

Outro problema relacionado às tendências e à variabilidade do gelo marinho é que os modelos climáticos possuem uma capacidade limitada em representar e prever a sua variabilidade, sendo que a maioria deles não inclui este parâmetro em suas previsões climáticas. Além disto, a coleta de dados de gelo marinho feita através do uso de navios, boias ou outras plataformas oceanográficas permite apenas a amostragem em regiões limitadas e em escalas de tempo restritas [8]. No entanto, mesmo com suas incertezas e limitações inerentes, os modelos climáticos globais são ferramentas poderosas para investigar as interações complexas em altas latitudes e fornecer cenários futuros para orientar os marcadores de decisão, os governos e as comunidades.

Assim, para tentar resolver os problemas relacionados aos modelos e à obtenção de dados *in situ* citados anteriormente, temos uma ferramenta poderosa que é o sensoriamento remoto. Através de dados de sensoriamento remoto (SR) é possível observar e monitorar o gelo marinho nas regiões polares em alta resolução temporal, contribuindo para uma base de dados sólida e confiável.

No presente trabalho, examinamos as semelhanças e diferenças entre os produtos de concentração de gelo marinho de SR conhecidos como as concentrações de gelo marinho (*Sea Ice Concentration - SIC*) e o experimento histórico do Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre (BESM-OA) para o Oceano Austral no período entre 1980 e 2005.

Deste modo, o presente trabalho tem por objetivo identificar as principais semelhanças e diferenças entre o dado de SR e o dado de modelo, avaliando espacial e percentualmente a capacidade do BESM-OA de representar a concentração de gelo marinho no Oceano Austral.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Descrição dos dados

Os dados utilizados são dados de sensoriamento remoto de concentração de gelo marinho (SIC) versão 3 provenientes do site da *National Snow and Ice Data Center* (NSIDC) e dados do modelo BESM-AO do experimento histórico de SIC, ambos para o Oceano Austral no período entre 1980 e 2005. O produto de SR é baseado em campos de grade de concentração de gelo marinho derivado de radiômetros de microondas passivos. Os dados de SR são reticulados em projeções estereográficas polares que são verdadeiras a 70 graus de latitude norte e sul para minimizar a distorção na zona de gelo marginal do verão. Ao calcular a extensão média mensal e os valores de área, o tamanho da célula da grade deve ser levado em consideração. A resolução

nominal dos dados de origem do SR é de 25 km x 25 km (625 km²), de forma que as células com pontos centrais mais próximos de 70 graus de latitude tenham uma área mais próxima de 625 km². No entanto, à medida que a latitude aumenta ou diminui de 70 graus, a área de cada célula muda devido ao mapeamento estereográfico da Terra curva para uma projeção plana [9]. Mais informações sobre essa projeção podem ser obtidas em https://nsidc.org/data/polar-stereo/ps_grids.html.

Para esta análise, a série temporal do dado de SR teve origem em duas fontes de dados, criando uma série temporal mensal com um período de registro abrangendo outubro de 1978 a julho de 2017. A maior componente da série temporal são dados de microondas passivo do Sea Ice Index V3 das plataformas DMSP e Nimbus-7 com os sensores SMMR, SSM/I, SSMIS, responsáveis por dados entre outubro de 1978 e fevereiro de 2017. Os dados mais recentes são provenientes das plataformas DMSP 5D-3/F18 e do sensor SSMIS, que tem menos medidas de controle de qualidade aplicadas [10].

O Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre (BESM) é um esforço coletivo entre vários pesquisadores e instituições brasileiras lideradas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O modelo BESM-OA (BESM Ocean-Atmosphere) é composto pelo Modelo de Circulação Geral Atmosférica do INPE/CPTEC (AGCM) e pelo Modelo de Circulação Geral Oceânico (OGCM) *Modular Ocean Model 4p1* (MOM4p1) da NOAA/GFDL. Ambos são acoplados através do Sistema Modular Flexível da GFDL [11; 12; 13]. O design numérico do experimento histórico segue o protocolo estabelecido pelo protocolo de Taylor [14]. O projeto BESM visa construir um quadro de pesquisa multidisciplinar com a intenção de compreender as causas das mudanças climáticas globais e seus impactos na sociedade [12]. O projeto também tem a intenção de contribuir com o Programa de Diagnósticos e Intercomparação do Clima (PCMDI) com simulações de curto prazo e longo prazo, bem como para fornecer cenários futuros de mudanças climáticas [12].

Para a comparação dos dados de SR e do modelo, numa primeira etapa foi necessária uma interpolação geográfica para que todos ficassem com a mesma resolução/grade do dado de SR. Após esta etapa, foram calculadas as climatologias para os meses de máximo e mínimo de SIC (setembro e fevereiro, respectivamente) para o período de 1980 a 2005. A partir das climatologias, foram geradas as figuras da climatologia de fevereiro e setembro de SIC para os dados de SR e do modelo BESM-OA e gerados mapas da diferença percentual entre os dados de SR e modelo para fevereiro e setembro por pontos de grade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A climatologia para o período de máximo de SIC (setembro), obtida com o dado de SR e do BESM-OA, é SR

vista na Figura 1. Para o período de mínimo (fevereiro), a climatologia é vista na Figura 2.

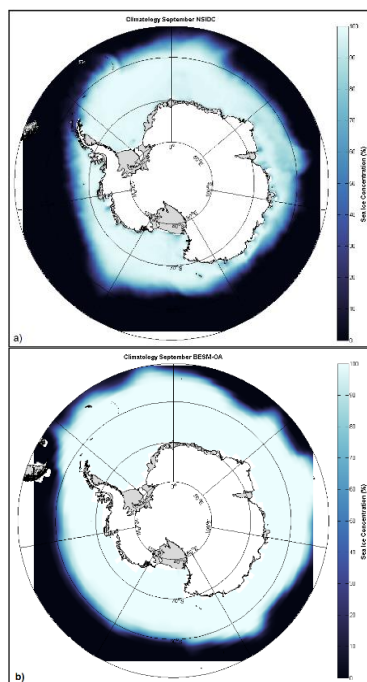


Figura 1. Climatologia do período máximo de gelo marinho (setembro) obtida a partir de dados de sensoriamento remoto (a) e do modelo BESM-OA (b).

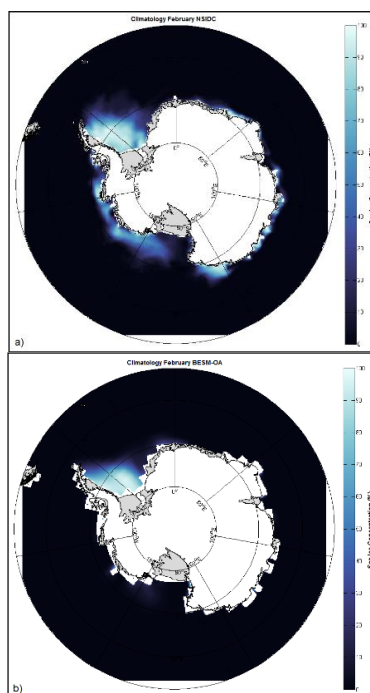


Figura 2. Climatologia do período mínimo de gelo marinho (fevereiro) obtida a partir de dados de sensoriamento remoto (a) e do modelo BESM-OA (b).

Analisando a Figura 1, observa-se que, para setembro, o modelo BESM-OA superestimou o valor de SIC em relação ao dado de SR, no qual é considerado como verdade de mar (dado observado). Além disto, o dado do BESM-OA mostra uma cobertura de SIC maior em todo Oceano Austral em relação ao dado de SR. As maiores diferenças são observadas em regiões mais afastadas do continente, ou seja, mais no limite norte da borda de extensão do gelo marinho. Observa-se através da Figura 2 que, para fevereiro, o modelo BESM-OA subestimou o valor de SIC em relação ao dado de SR. Além disto, o dado do modelo mostra uma cobertura de SIC muito menor em todo Oceano Austral do que foi observado pelos satélites. As maiores diferenças ocorrem nos mares de Bellingshausen e Amundsen e a oeste do continente antártico.

A Figura 3 mostra a diferença entre o dado de SR e o de modelo para o período de máximo de gelo marinho (setembro). Nota-se na Figura 4 que as maiores diferenças (na ordem de 60% a 80%) entre os conjuntos de dados estavam localizadas nos limites da cobertura de gelo. A figura demonstra claramente que o modelo superestimou o dado de SR nas regiões mais ao norte em oceano aberto, e que as diferenças no SIC próximo ao continente foram muito baixas. A Figura 5 mostra o mapa de diferença para fevereiro. Observa-se que as principais diferenças observadas são negativas, variando em sua maioria entre 20% e 60%, e concentrando-se nas regiões dos mares de Bellingshausen e Amundsen e no Mar de Weddell. Diferenças positivas, embora muito pequenas, também estão presentes no mar de Weddell.

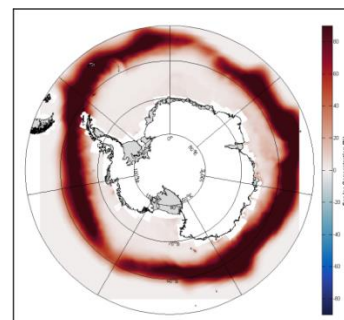


Figura 3. Mapa da diferença entre os percentuais de SIC para o mês de setembro (máxima extensão de gelo marinho antártico) observados através de SR (NSIDC) e pelo modelo BESM-OA.

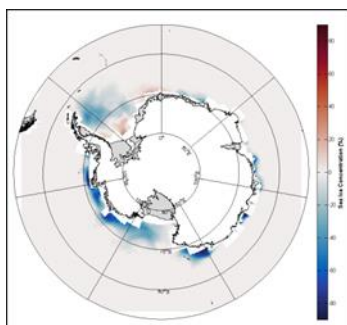


Figura 4. Mapa da diferença entre os percentuais de SIC para o mês de fevereiro (mínimo extensão de gelo marinho antártico) observados através de SR (NSIDC) e pelo modelo BESM-AO.

4. CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos conclui-se que, para o experimento histórico, o modelo BESM-OA superestima significativamente a SIC no período em que ocorrem os máximos valores de SIC, mostrando grandes diferenças entre os dois conjuntos de dados especialmente no limite norte da extensão do gelo. O dado de modelo também superestima a área de cobertura de gelo pois, uma vez que o dado de SR indica uma área de aproximadamente 17×10^6 km², o dado do modelo indica cerca de 27×10^6 km². Para o período de mínimo de SIC as diferenças são pequenas, porém negativas, indicando uma subestimativa do modelo em relação ao dado observado (SR). Além disso, a área total de cobertura de gelo do modelo é menor ($\sim 12 \times 10^6$ km²) do que a do SR ($\sim 15 \times 10^6$ km²).

Através do presente trabalho foi possível identificar as principais diferenças entre duas fontes de dados de concentração de gelo marinho para o Oceano Austral. Esse tipo de análise preliminar é extremamente importante para avaliar o desempenho de modelos climáticos e possibilitar melhorias na modelagem e previsão climática.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Spreen, G.; Kaleschke, L.; Heygster, G., Sea ice remote sensing using AMSR-E 89 GHz Channels. *Journal of Geophysical Research*, vol. 113, C02S03, 2007.
- [2] Ferrari, R., M. F. Jansen, J. F. Adkins, A. Burke, A. L. Stewart, and A. F. Thompson, Antarctic sea ice control on ocean circulation in present and glacial climates, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 111(24), 8753–8758., 2014.
- [3] Marshall, J., J. R. Scott, K. C. Armour, J.-M. Campin, M. Kelley, and A. Romanou, The ocean's role in the transient response of climate to abrupt greenhouse gas forcing, *Clim. Dyn.*, 44, 2287–2299., 2015.
- [4] Bjørge, E., O. M. Johannessen, and M. W. Miles., Analysis of merged SSMR-SSM/I time series of Arctic and Antarctic sea ice parameters 1978–1995, *Geophys. Res. Lett.*, 24, 413–416., 1997.
- [5] Cavalieri, D. J., P. Gloersen, C. L. Parkinson, J. C. Comiso, and H. J. Zwally., Observed hemispheric asymmetry in global sea ice changes, *Science*, 278, 1104–1106., 1997.
- [6] Cavalieri, D. J.; Parkinson, C. L., Antarctic sea ice variability and trends, 1979–2006. *Journal of Geophysical Research*, vol. 113, C07007., 2008.
- [7] Zwally, H. J., J. C. Comiso, C. L. Parkinson, W. J. Campbell, F. D. Carsey, and P. Gloersen., *Antarctic sea ice, 1973–1976: Satellite passive-microwave observations*. NASA SP-459, 200 p., 1983.
- [8] Stammerjohn, S. E.; Smith, R. C. Opposing Southern Ocean climate patterns as revealed by trends in regional sea ice coverage. *Climatic Change*, vol. 37, 617–639, 1997.
- [9] Peng, G., Meier, W., Scott, D. & Savoie, M., A long-term and reproducible passive microwave sea ice concentration data record for climate studies and monitoring.- *Earth Syst. Sci. Data* 5: 311–318, 2013.
- [10] Meier, W.N., and A. Ivanoff., Intercalibration of AMSR2 NASA Team 2 algorithm sea ice concentrations with AMSR-E slow rotation data. *IEEE J. Spec. Topics Appl. Earth Obs. & Rem. Sens.* 10(8), 2017.
- [11] Bottino, M. and Nobre, P., Impacts of Cloud Cover Schemes on the Atlantic Climate in the Brazilian Climate Model-BESM., 2015.
- [12] Nobre, P., Siqueira, L.S., de Almeida, R.A., Malagutti, M., Giarolla, E., Castelão, G.P., Climate Simulation and Change in the Brazilian Climate Model. *Journal of Climate*, 26, 6716–6732., 2013.
- [13] Griffies, S. M., and Coauthors., Coordinated ocean-ice reference experiments (COREs). *Ocean Modell.*, 26, 1–46, 2009.
- [14] Taylor, K.E., Stouffer, R.J. and Meehl, G.A. An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, 2012.