



# ESTUDO DA ANOMALIA DA COBERTURA DO GELO MARINHO NA REGIÃO DA PASSAGEM DE DRAKE DURANTE O VERÃO AUSTRAL DE 2015/2016 E SUA RELAÇÃO COM O ENOS

*Autores: Mariana Rocha Cardoso<sup>1</sup>  
Ana Cristina Pinto de Almeida Palmeira<sup>2</sup>  
CT (T) Rodrigo de Souza Barreto Mathias<sup>3</sup>  
Marie Fernanda Massarico Cardoso<sup>4</sup>*

## RESUMO

Em outubro de 2015, altas concentrações de gelo marinho foram observadas na parte sul da Passagem de Drake, nas proximidades da Ilha Rei George, e impossibilitaram a navegação entre o Chile e as Ilhas Shetland do Sul por navios brasileiros. Este trabalho se propõe a comparar a cobertura de gelo marinho e as Temperaturas da Superfície do Mar (TSM), observadas no último trimestre de 2015, com a climatologia dos 30 anos precedentes (1985-2015). Constatou-se que os meses de outubro e novembro de 2015 apresentaram anomalias positivas de concentrações de gelo marinho na área de

estudo, e que tal situação esteve associada a anomalias negativas de TSM de até 3°C. Com base nas pesquisas realizadas sobre teleconexões atmosféricas entre o *El Niño*-Oscilação Sul (ENOS) e a Antártica, sugere-se que as anomalias de TSM sobre o Drake Sul e o Mar de Bellingshausen estiveram associadas ao intenso evento *El Niño* de 2014/2016.

## Palavras-chave:

Gelo marinho; Antártica; ENOS.

## ABSTRACT

In October 2015, high concentrations of sea ice were observed in the southern

<sup>1</sup> Graduada e mestranda em Meteorologia pela UFRJ.

<sup>2</sup> Graduada em Meteorologia pela UFRJ, mestre e doutora em Meteorologia pela USP, e professora do Departamento de Meteorologia da UFRJ.

<sup>3</sup> Capitão-Tenente (T), graduado e mestre em Meteorologia pela UFRJ, e professor de Meteorologia do CIAARA pelo Magistério Militar Naval.

<sup>4</sup> Graduada em Física pelo Instituto Federal de São Paulo (IFSP), mestre e doutoranda em Meteorologia pela USP.



part of Drake Passage, near King George Island, and made navigation impossible between Chile and the South Shetland Islands by Brazilian Navy ships. The present work aims to compare the sea ice cover and the Sea Surface Temperatures (SST), observed in the last quarter of 2015, with the climatology of the previous 30 years (1985-2015). It was found that the months of October and November 2015 presented positive anomalies in sea ice concentrations in the studied area, and this situation was associated with negative SST anomalies up to 3°C. Based on research about atmospheric teleconnections between the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and Antarctica, it is suggested that the SST anomalies over the Southern Drake and the Bellingshausen Sea were associated with the intense El Niño event of 2014/2016.

**Keywords:**

Sea Ice; Antarctica; ENSO.

**1. INTRODUÇÃO****1.1 A Operação Antártica Brasileira 2015/2016 (XXXIV OPERANTAR)**

Segundo a Secretaria da Comissão Interministerial para Recursos do Mar (SECIRM, 2021), o Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR), criado em 1982, tem por objetivo a promoção de pesquisa científica diversificada na região antártica, com a finalidade de compreender os fenômenos que tenham repercussão global e, em particular, sobre o território brasileiro, o que coloca o Brasil em posição de destaque, principalmente em temas ligados à Biologia Marinha, Glaciologia, Oceanografia, Meteorologia Antártica, etc. O desenvolvimento de pesquisas na Antártica também permite que o Brasil se mantenha como membro consultivo do Tratado da Antártica,

tendo o direito de participar das decisões sobre o futuro do continente.

A Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), estação brasileira que serve de base para o Brasil na Antártica, foi inaugurada em 6 de fevereiro de 1984 e está localizada na Península Keller, no interior da Baía do Almirantado, na Ilha Rei George, sendo o local que abriga a comissão brasileira durante todo o ano.

Em apoio à OPERANTAR, a Marinha do Brasil possui dois navios que operam em águas polares, o Navio Polar “Almirante Maximiano” e o Navio de Apoio Oceanográfico “Ary Rongel”. Esses navios são responsáveis pela logística entre o Brasil e a EACF, além de serem devidamente equipados para a realização de análises e pesquisas biológicas, geológicas e meteorológicas (SECIRM, 2021). Anualmente, em outubro, os navios partem do Rio de Janeiro (RJ) em direção ao continente antártico, lá permanecendo por cerca de cinco meses.

A OPERANTAR é cuidadosamente planejada com o auxílio de diversos setores do governo, mas possui limitações impostas pelas dificuldades de traslado de pessoal e material em regiões mais hostis, principalmente a Passagem de Drake. A alta variabilidade das condições atmosféricas e as peculiares características oceânicas das altas latitudes impõem os princípios da paciência, observação e oportunidade durante a execução das atividades no ambiente antártico.

Na fase inicial da OPERANTAR XXXIV (2015/2016), houve um atraso de mais de duas semanas no cronograma, ocasionado pela impossibilidade de travessia da Passagem de Drake, em função da presença de uma espessa camada de gelo marinho nas proximidades da Ilha Rei George. De acordo com as informações contidas em cartas de gelo, dados de boias meteoceanográficas e imagens de satélite, os navios não teriam condições de navegar em segurança, pois

havia uma extensa e concentrada cobertura de gelo desde a Ilha Rei George até a porção Sul do Drake. Para os navios brasileiros que operam na Antártica desde a década de 1980, a alta concentração de gelo nessa área não é uma ocorrência comum em outubro, e não tinha sido relatada até outubro de 2015.

A análise da situação glaciológica levou à postergação da primeira travessia do Drake a ser realizada pela Operação Antártica daquele ano, que estava programada para ocorrer entre os dias 18 e 21 outubro de 2015, porém foi concluída apenas no dia 7 de novembro daquele ano. Também houve o cancelamento do primeiro voo de apoio da Força Aérea Brasileira (FAB) entre Punta Arenas, no Chile, e a Base Aérea chilena Presidente Eduardo Frei Montalva, na Ilha Rei George, acarretando o atraso da rendição do Grupo-Base da EACF e reduzindo significativamente o tempo para as passagens de funções na Estação.

## 1.2 Região de Estudo

Quinto continente em extensão, e o único sem divisão geopolítica, a Antártica e

as ilhas que a cercam perfazem uma área aproximada de 14 milhões de km<sup>2</sup>, cerca de 1,6 vez maior que a área do Brasil ou 10% da superfície da Terra (Machado *et al.*, 2006).

A Antártica possui papel importante no balanço de energia do planeta, pois controla a circulação atmosférica nas regiões de latitudes altas e médias do Hemisfério Sul. A Antártica e o Ártico são os dois sorvedouros de energia da Terra, sendo o papel da Antártica mais destacado, devido às suas dimensões continentais, sua elevação e o alto albedo decorrente da sua cobertura de neve e gelo. Diferentemente do polo norte, que possui imensas áreas cobertas por neve e gelo que variam sazonalmente e respondem de forma rápida às mudanças de temperatura, o continente antártico é coberto por uma superfície de gelo permanente e, dessa forma, o gelo marinho que o circunda possui elevado potencial de contribuir para a mudança e a variabilidade do clima (Turner, 2004).

A Península Antártica (Figura 1a) é uma cordilheira com altitude média de 1.500 m e mais de 1.500 km de extensão no sentido norte-sul. Localiza-se numa região onde a variabilidade de sistemas

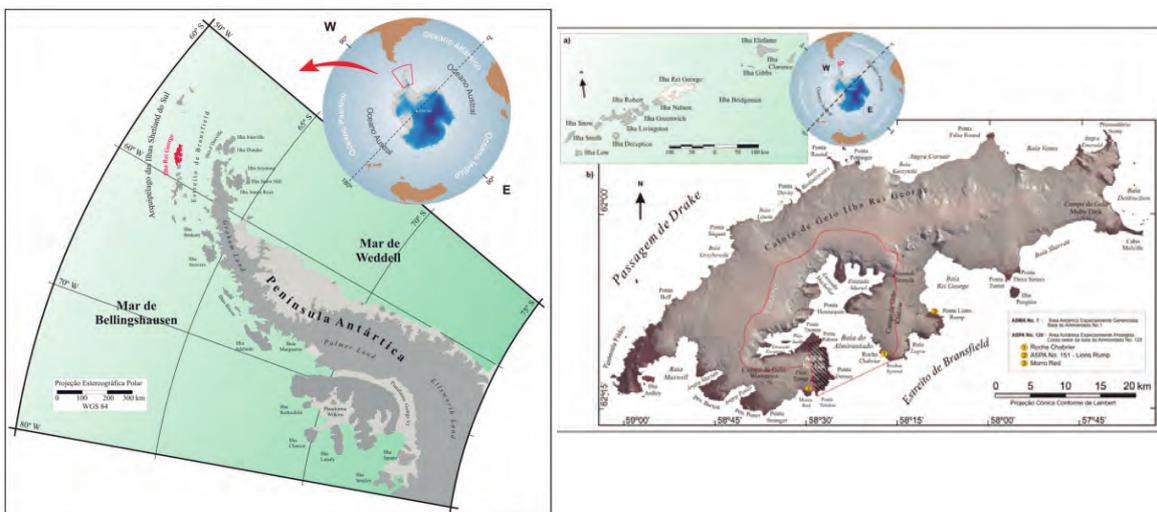


Figura 1 – Península Antártica (a) (Fonte: Burgobraga, 2010. Adaptado de Parnow *et al.*, 2007); e Ilha Rei George (b) (Fonte: Burgobraga, 2010. Adaptado de Arigony-Neto (2001).



meteorológicos é muito alta, até mesmo algumas vezes em uma mesma semana, o que propicia variações do tempo muito rápidas (Machado *et al.*, 2006).

A Ilha Rei George (Figura 1b) está localizada ao norte da Península Antártica, entre a Passagem de Drake e o Estreito de Bransfield. Já a EACF fica na face leste da Península Keller, entre as Enseadas Mackellar e Martel, no interior da Baía do Almirantado.

### 1.3 Gelo Marinho na Antártica

A criosfera no oceano antártico é um ativo componente no clima global. É também influenciada por muitas variabilidades climáticas locais, regionais e remotas, em períodos que variam desde a escala sinótica até escalas de tempo geológicas (Yuan, 2004).

Na Antártica, o gelo marinho inicia sua formação ao redor das margens continentais e se expande. No inverno, esse gelo ocupa uma área oceânica de cerca de 20 milhões de km<sup>2</sup>, diminuindo consideravelmente no verão, quando ocupa uma área de, aproximadamente, 2 milhões de km<sup>2</sup> (Figura 2).

A formação do gelo marinho é um processo relativamente lento e complexo, que começa quando a temperatura do ar está fria o suficiente para diminuir a temperatura de uma coluna d'água do mar ao ponto de congelamento. Segundo a agência governamental americana *National Snow and Ice Data Center* (NSIDC), o gelo marinho inicia sua formação com o resfriamento da coluna d'água até cerca de 100/150 metros de profundidade a temperaturas próximas ao seu ponto de congelamento (-1,8°C).

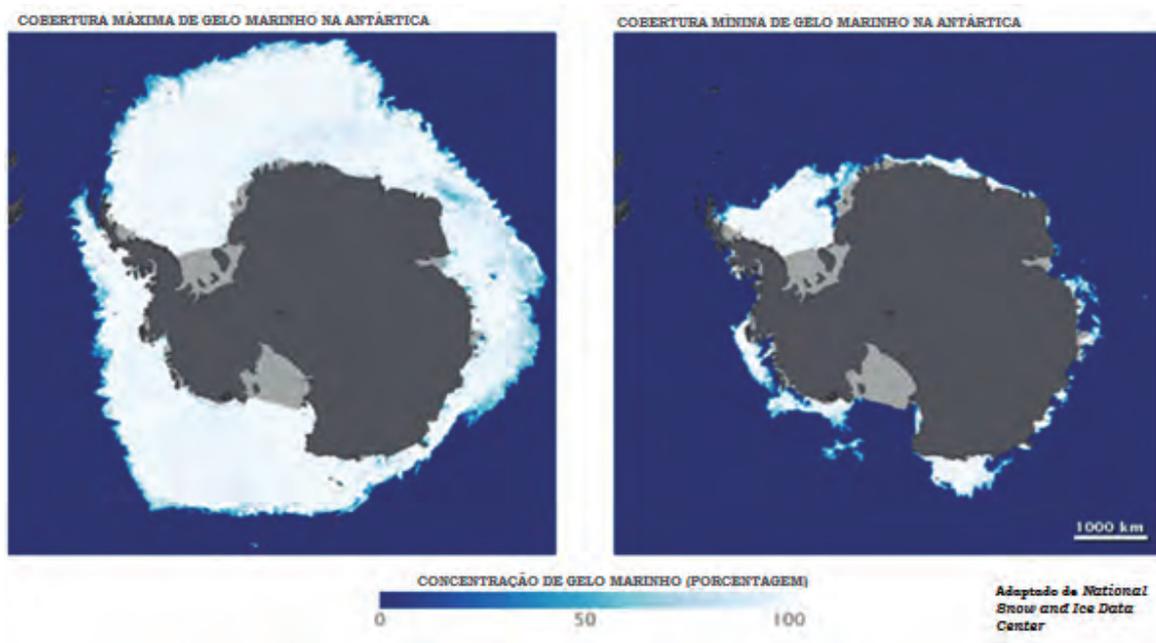


Figura 2 – Máximo (setembro) e mínimo (fevereiro) climatológicos do gelo marinho na Antártica. Adaptado do sítio de internet do National Snow and Ice Data Center – Sea Ice.



#### 1.4 El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e Teleconexões

O fenômeno ENOS representa o aquecimento/resfriamento anormal das águas superficiais e subsuperficiais do Oceano Pacífico Equatorial (valores de +/- 0,5°C por 3 meses consecutivos). Essas anomalias do sistema climático representam uma alteração do sistema oceano-atmosfera no Oceano Pacífico tropical e geram consequências climáticas em todo o planeta.

A influência das perturbações geradas na atmosfera e nos oceanos pelos fenômenos *El Niño* e *La Niña* na modulação dos extremos sazonais do gelo marinho é evidente sobre algumas regiões antárticas. Teleconexões entre a Antártica e os trópicos têm sido documentadas em diversos trabalhos como em Liu *et al.* (2002), Yuan (2004) e Turner (2004).

Em escala interanual, aquecimentos ou resfriamentos anômalos das águas superficiais na região do Oceano Pacífico tropical, causados pelas diferentes fases do ENOS, alteram as células de circulação atmosférica de grande escala, gerando impactos na variabilidade do gelo marinho antártico (Liu *et al.*, 2002).

Paolo *et al.* (2018) constataram que, em períodos intensos de *El Niño*, as plataformas de gelo no setor Pacífico da Antártica sofrem um aumento na altura devido à acumulação de gelo novo, observado sobretudo na escala interanual.

Lima (2007) mostra relações estatisticamente significativas entre a quantidade de extremos sazonais da área do gelo marinho associada a eventos de ENOS. Nesse trabalho, os eventos de *El Niño* foram associados a anomalias positivas de gelo marinho no Mar de Weddell no verão austral.

Massarico Cardoso (2019) estudou a influência do ENOS no gelo marinho no mar de Weddell e, através de análise de causalidade, verificou uma alta densidade de energia na região em torno da Península Antártica, no período intra-anual e interanual.

A Figura 3 exemplifica o fenômeno de teleconexão *El Niño*-Antártica. O mecanismo ocorre da seguinte forma: a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) começa a aumentar na região do Pacífico Equatorial, intensificando o gradiente de temperatura equador-polo. Isso irá fortalecer e contrair a célula atmosférica de Hadley, no leste do Pacífico Equatorial, aumentando a banda de convecção nessa região. Como consequência, o Jato Subtropical é reforçado e deslocado em direção ao Pacífico Sul, e a célula de Ferrel é fortalecida no Pacífico Sul e enfraquecida no Atlântico Sul. Dessa forma, o fluxo de calor meridional será alterado, com mais calor sendo transportado em direção aos polos.

Essa variação no transporte de calor em direção aos polos devido à circulação meridional contribui para a formação de sistemas de alta pressão anômalos no Pacífico Sul, sobre o mar de Bellingshausen, propiciando a formação de bloqueios atmosféricos. A circulação anticiclônica anômala transporta o ar quente das latitudes mais baixas para a região polar, no Pacífico Sul, e o ar frio antártico em direção aos mares de Weddell e Bellingshausen (Carpenedo, 2017). Além disso, o Jato Polar enfraquecido resulta em menor atividade ciclônica no sudeste do Pacífico, o que também favorece a formação de centros de alta pressão anômalos nessa região. O transporte de ar mais frio do continente antártico em direção ao mar favorece o aparecimento de anomalias negativas de TSM sobre os mares de Weddell e Bellingshausen.

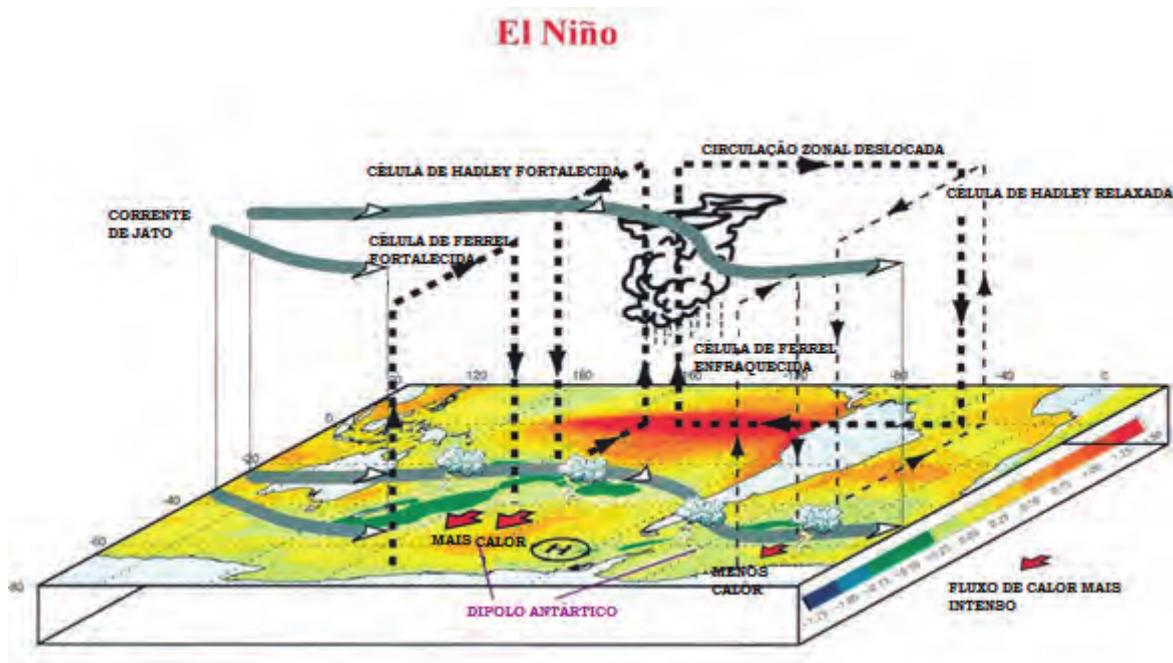


Figura 3 – Exemplificação do mecanismo de teleconexão entre El Niño e Antártica. Adaptada de Yuan (2004).

## 2. OBJETIVOS

O objetivo principal do presente trabalho é verificar o comportamento da TSM e da cobertura de gelo marinho na região antártica, nos meses de outubro a dezembro de 2015, que possa explicar a ocorrência de altas concentrações de gelo na Passagem de Drake durante a fase inicial da OPERANTAR 2015/2016. O estudo também se propõe a correlacionar o evento observado com possíveis teleconexões atmosféricas entre o Oceano Pacífico equatorial e a região antártica, de acordo com as referências bibliográficas apresentadas anteriormente.

## 3. METODOLOGIA

Foram utilizados dados de análise de alta resolução de satélites da agência governamental americana *National Oceanic and*

*Atmospheric Administration* (NOAA). As informações oriundas da Interpolação Ótima da NOAA (OISST) compõem uma série de produtos de análise global, baseados em uma combinação de estimativas por satélites com medidas feitas por plataformas *in situ* (navios e boias), para cada 6 horas, e com uma grade que varia de 1,0° a 0,25° de resolução espacial. Neste trabalho, foi utilizada a grade de maior resolução (0,25°).

Foram calculadas as médias quinzenais de TSM e de concentração de gelo marinho para o período entre os anos de 1985 e 2015, utilizando o software *GrADS* (*The Grid Analysis and Display System*). A partir dessas informações, foram obtidas as anomalias de concentração de gelo e de TSM na área entre 40°S e 90°S e 090°W e 040°W, entre os meses de outubro e dezembro de 2015, que compreende o período em que os navios polares brasileiros enfrentaram dificuldades

com a alta concentração de gelo marinho durante aquela OPERANTAR.

Além das análises da NOAA, foram utilizados dados coletados pelo Navio Polar “Almirante Maximiano” e pelo Navio de Apoio Oceanográfico “Ary Rongel”, os dados de boias e outros navios no *Global Telecommunication System* (GTS), disponibilizados pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), e cartas de gelo elaboradas pelo centro americano *National Ice Center* (NIC), contendo análises subjetivas de gelo marinho com base em imagens de satélite de alta resolução.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo o *Climate Prediction Center* (CPC), órgão integrante da NOAA, um evento *El Niño* estabeleceu-se desde o último trimestre do ano de 2014 até o segundo trimestre de 2016. Entre setembro e dezembro de 2015, o fenômeno atingiu seu ponto máximo com um índice *Niño* entre 2,4 e 2,6 (anomalias positivas de TSM na região 3.4 do Pacífico Equatorial – entre 05°N e 05°S e 120°W e 170°W).

#### 4.1 Cobertura de Gelo

A cobertura de gelo da região de interesse na Antártica foi analisada quinzenalmente, nos períodos compreendidos entre os dias 01 e 15 e 16 e 31 de outubro, novembro e dezembro.

Os resultados apresentados nas figuras a seguir representam as concentrações de gelo marinho e suas anomalias em décimos. Ou seja, para a avaliação da cobertura de gelo marinho, estima-se a divisão da área marítima observável em dez partes iguais e contabiliza-se as partes cobertas por gelo.

A primeira quinzena de outubro de 2015 (Figura 4), apresentou altas concentrações de gelo marinho (média entre 6 e 8 décimos) na região do Drake Sul, ao norte da Ilha Rei George e ao sul de 58°S, com anomalias positivas médias entre 3 e 4 décimos de gelo. Na segunda quinzena de outubro (Figura 5), que corresponde ao período em que estava planejada a travessia do Drake pelos navios brasileiros, a mesma área apresentou concentrações médias entre 4 e 7 décimos de gelo, com anomalias médias positivas de 1 a 3 décimos de gelo marinho.

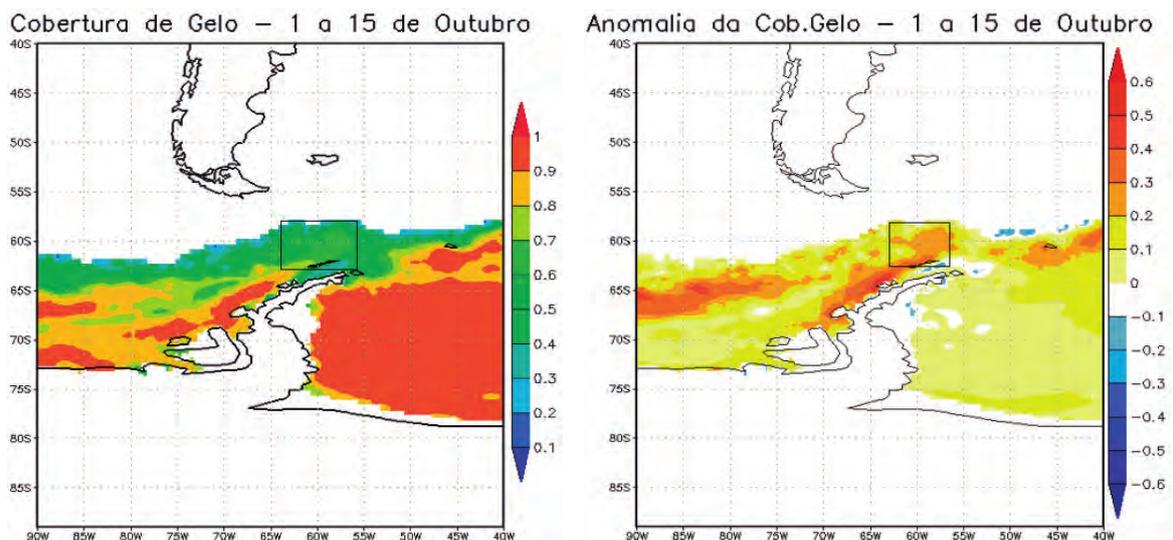


Figura 4 – Concentração de gelo marinho (a) e anomalia da concentração de gelo (b) na primeira quinzena de outubro de 2015.

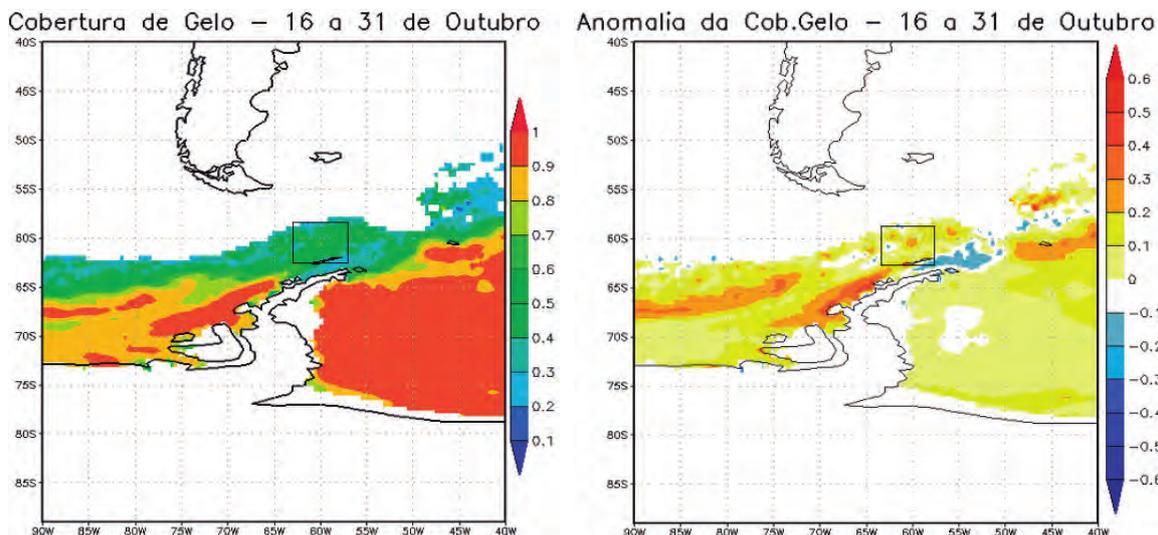


Figura 5 – Concentração de gelo marinho (a) e anomalia da concentração de gelo (b) na segunda quinzena de outubro de 2015.

A região analisada, no mês de novembro de 2015, apresentou progressiva redução da concentração de gelo. A primeira quinzena (Figura 6), apresentou concentrações entre 3 e 6 décimos, com anomalias médias positivas entre 1 e 3 décimos de gelo.

Na segunda quinzena de novembro (Figura 7), a área apresentou concentrações

médias entre 1 e 3 décimos de gelo, com anomalias médias positivas de até 1 décimo de gelo marinho.

No mês de dezembro (não mostrado), não houve cobertura de gelo apreciável ou anomalias positivas de cobertura de gelo. Portanto, em termos de gelo marinho, a região voltou à normalidade em dezembro de 2015.

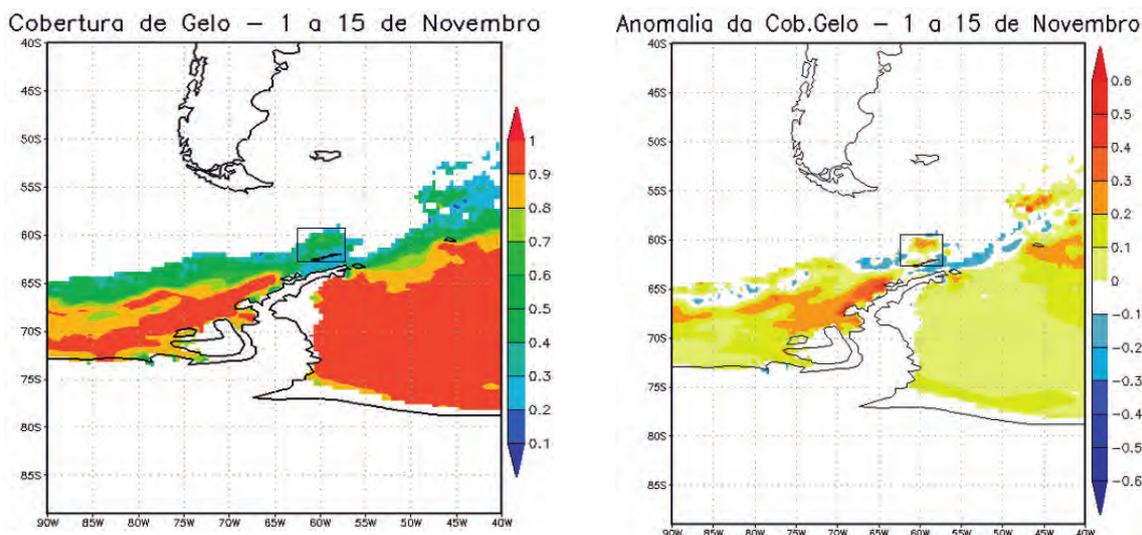
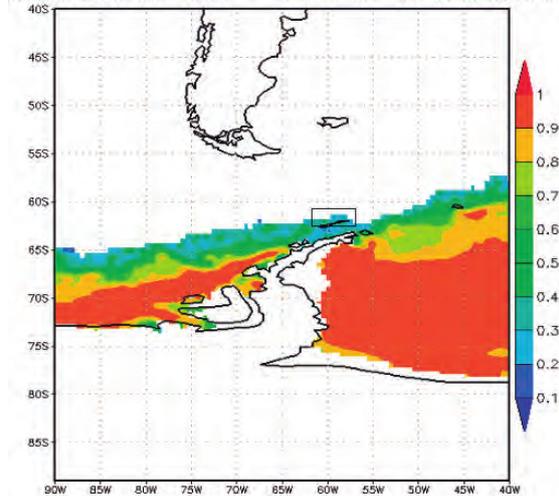


Figura 6 – Concentração de gelo marinho (a) e anomalia da concentração de gelo (b) na primeira quinzena de novembro de 2015.

Cobertura de Gelo – 16 a 30 de Novembro



anomalia da Cob.Gelo – 16 a 30 de Novembro

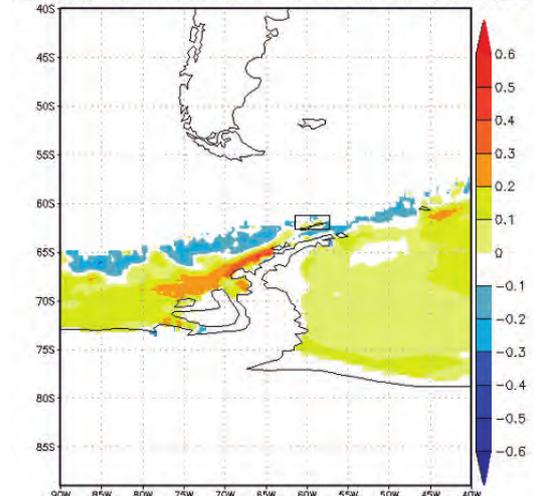


Figura 7 – Concentração de gelo marinho (a) e anomalia da concentração de gelo (b) na segunda quinzena de novembro de 2015.

#### 4.2 Temperatura da Superfície do Mar (TSM)

A TSM, durante o mês de outubro, em grande parte da Passagem de Drake esteve com valores próximos ou abaixo de  $-1,8^{\circ}\text{C}$ , que é o ponto aproximado de congelamento da água do mar. As cartas de análise de gelo disponibilizadas, semanalmente, pelo *National Ice Center* (NIC) à OPERANTAR (Figura 8),

indicavam que o gelo marinho que derivava do Mar de Bellingshausen em direção ao Drake Sul, por meio da corrente circumpolar antártica, encontrava um ambiente desfavorável ao seu derretimento devido aos valores de TSM entre  $-1^{\circ}\text{C}$  e  $-2^{\circ}\text{C}$  (Figura 9a). Os baixos valores de TSM foram confirmados por dados de boia de deriva sobre o Drake (Figura 9b), que registrou a temperatura de  $-2^{\circ}\text{C}$  nas proximidades da latitude  $60^{\circ}\text{S}$  no dia 18 de outubro de 2015.

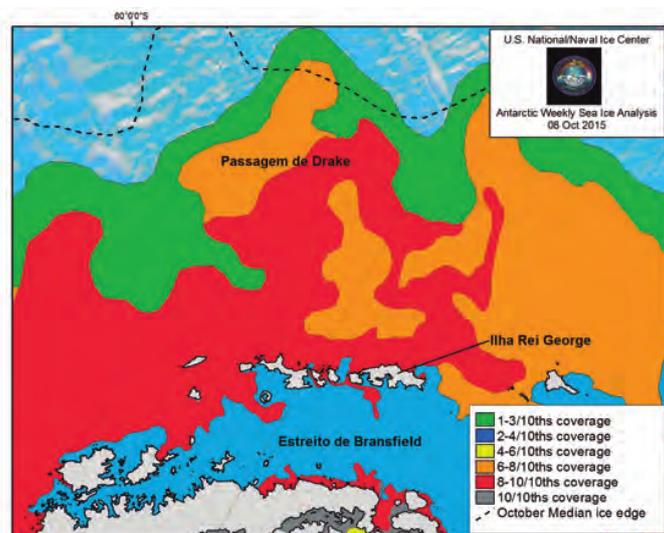


Figura 8 – Carta de análise de gelo marinho elaborada pelo National Ice Center (NIC), no dia 8 de outubro de 2015, evidenciando as altas concentrações de gelo sobre o Drake Sul, ao norte da Ilha Rei George.

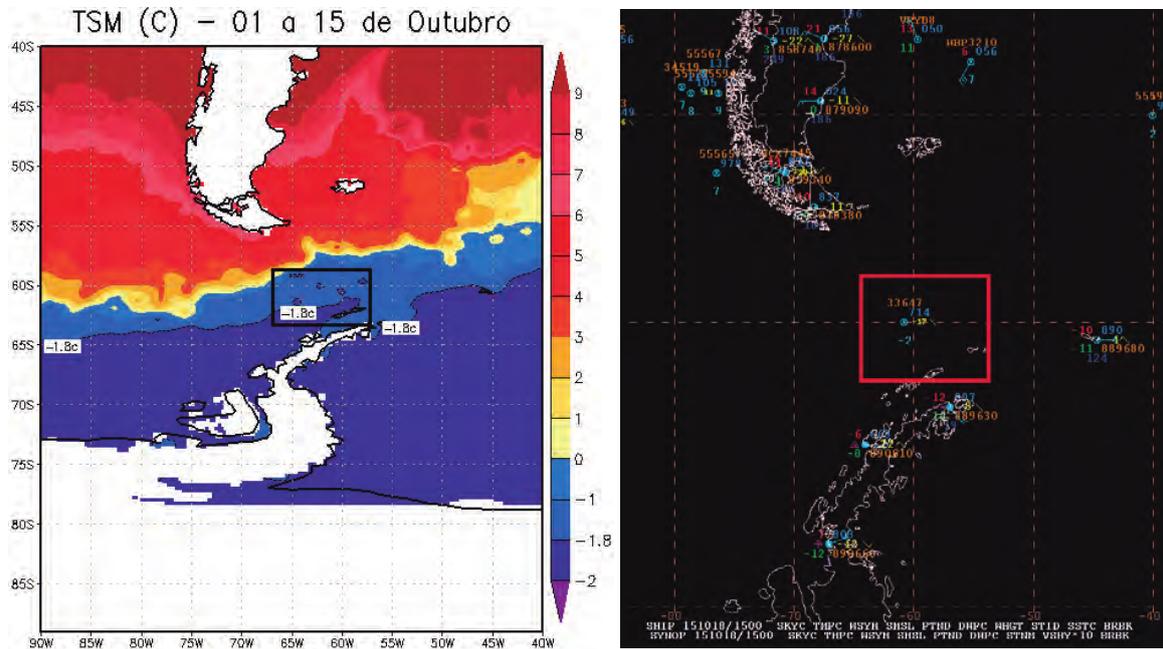


Figura 9 – Média da TSM na primeira quinzena de outubro de 2015, evidenciando temperaturas entre  $-1^{\circ}\text{C}$  e  $-2^{\circ}\text{C}$  na área de interesse (a), e registro de  $-2^{\circ}\text{C}$  de TSM pela boia de deriva (WMO 33647), na posição aproximada de  $60^{\circ}\text{S } 061^{\circ}\text{W}$ , em 18 de outubro (b).

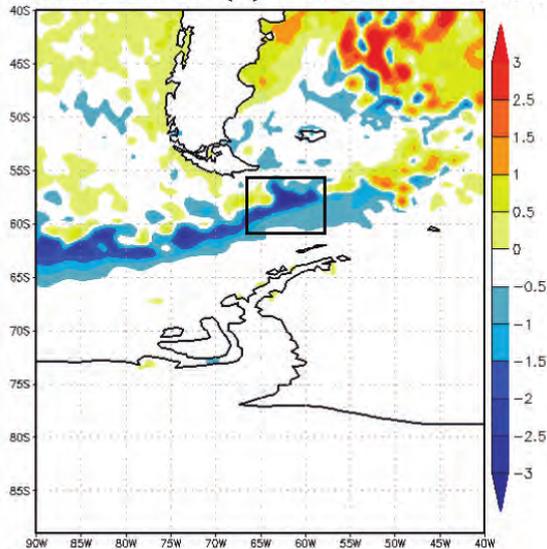
A partir de novembro, os valores de TSM voltaram a patamares superiores ao ponto de congelamento da água do mar (Figura 10), com valores médios entre  $0^{\circ}\text{C}$  e  $-1,5^{\circ}\text{C}$  na primeira quinzena, e valores entre  $0^{\circ}\text{C}$  e  $-1^{\circ}\text{C}$  na segunda quinzena de novembro de 2015. Entretanto, o Navio Polar “Almirante Maximiano” ainda registrou a TSM de  $-2^{\circ}\text{C}$  ao passar pelo Drake Sul, na posição aproximada de  $61^{\circ}\text{S } 059^{\circ}\text{W}$ , no dia 7 de novembro de 2015.

Apesar da observação de valores de TSM sobre a região do Drake acima do ponto de congelamento da água do mar, em novembro, nota-se que as anomalias negativas

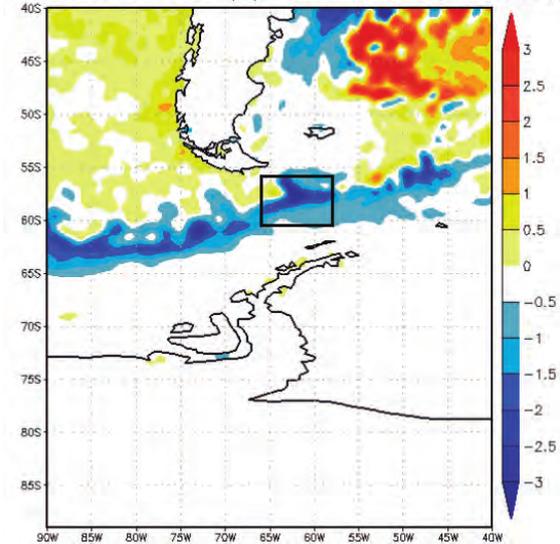
da Temperatura da Superfície do Mar permaneceram durante os meses de outubro, novembro (Figura 11) e dezembro (não mostrado). Foram observados valores de até  $3^{\circ}\text{C}$  abaixo da média para as quinzenas consideradas.

Vale observar que, na figura a seguir, os valores de anomalia de TSM foram obtidos por meio de estimativas de satélite, logo, as regiões oceânicas com cobertura de gelo marinho (Drake Sul) não apresentaram informações de TSM. Aqui será dado enfoque nas anomalias de TSM sobre as áreas do Drake livres de gelo marinho, como nas áreas destacadas na figura.

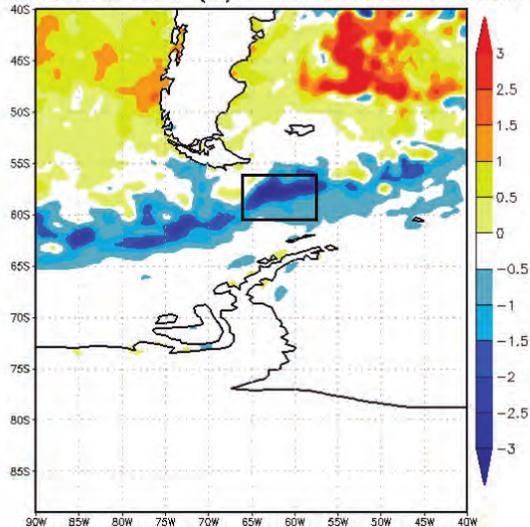
Anomalia da TSM (C) – 01 a 15 de Outubro



Anomalia da TSM (C) – 16 a 31 de Outubro



Anomalia da TSM (C) – 01 a 15 de Novembro



Anomalia da TSM (C) – 16 a 30 de Novembro

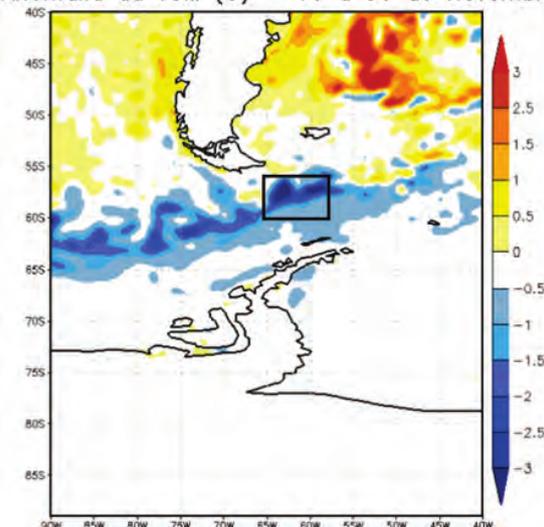


Figura 11 – Anomalias médias da TSM na primeira quinzena de outubro (a), segunda quinzena de outubro (b), primeira quinzena de novembro (c) e segunda quinzena de novembro (d).

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente estudo teve como objetivo verificar o panorama da TSM e da cobertura de gelo sobre a Passagem de Drake, em face das observações de grandes concentrações de gelo marinho no Drake Sul, nas proximidades da Ilha Rei

George, que ocasionaram atrasos no cronograma da OPERANTAR 2015/2016 e o cancelamento de algumas atividades da fase inicial da Operação.

Os resultados obtidos por meio de estimativas de satélites da NOAA mostraram que a cobertura de gelo, em outubro de 2015, de fato foi anômala. Os campos



de anomalias de gelo, dentro do período climatológico de 30 anos (1985-2015), mostraram que os meses de outubro e novembro de 2015 foram marcados por concentrações quinzenais acima da média na área analisada, com destaque para o mês de outubro. Esse comportamento do gelo encontra explicação nas anomalias de TSM sobre o Drake, de cerca de  $-3^{\circ}\text{C}$ , que também foram constatadas por meio da mesma base de dados, composta por estimativas de satélite e informações obtidas *in situ*.

Como caracterizado em diversos trabalhos na literatura, como Liu et al. (2002), Yuan (2004), Liu et al. (2004) e Dash. (2012), a ocorrência do fenômeno *El Niño* sobre o Pacífico Equatorial ocasiona anomalias na circulação geral da atmosfera, que impactam a região da Península Antártica, reduzindo a temperatura do ar e, consequentemente, a TSM sobre os mares de Bellingshausen e Weddell. A redução da TSM abaixo da média climatológica promove um atraso na redução da cobertura de gelo marinho, mesmo após o início do verão antártico, pois as temperaturas superficiais permanecem próximas ou abaixo do valor médio de congelamento da água do mar ( $-1,8^{\circ}\text{C}$ ) por mais tempo do que o normal. A corrente circumpolar antártica parece desempenhar importante papel no transporte de águas mais frias e na deriva de gelo marinho de Bellingshausen para o Drake.

Sendo o *El Niño* de 2015 considerado pela NOAA como um dos mais fortes já observados nos últimos 50 anos, torna-se evidente que a forçante atmosférica sobre o Oceano Pacífico Equatorial, através de mecanismos de teleconexão, contribuiu para as anomalias negativas de TSM observadas no último trimestre de 2015 e, consequentemente, nas anomalias positivas de concentração de gelo

marinho sobre o Drake Sul nos meses de outubro e novembro daquele ano.

Para ampliar o conhecimento dos impactos do fenômeno ENOS e suas teleconexões na concentração de gelo marinho sobre a região de operações da Marinha do Brasil na Antártica, sugere-se que sejam investigados diversos casos de ENOS, nas fases positiva e negativa e com diferentes intensidades, fixando uma área de controle para monitoramento da TSM e gelo sobre o Drake Sul.

Tendo em vista que o mar de Weddell, nas proximidades da Ilha James Ross, também é uma área de operações dos navios brasileiros e é impactada pela teleconexão *El Niño*-Antártica, sugere-se que estudos futuros mantenham uma área de controle sobre essa região, de preferência com a utilização de dados provenientes de sensores de temperatura da água do mar *in situ*, já que as estimativas de satélite se mostram indisponíveis ou com dados espúrios para as áreas com grande concentração de gelo marinho.

O acompanhamento diário das cartas de gelo produzidas pelo *National Ice Center* permitiu notar de maneira subjetiva a deriva de gelo marinho do Mar de Bellingshausen em direção ao Drake Sul, no caso em estudo. Portanto, também é importante a investigação do impacto das anomalias da extensão da cobertura de gelo sobre o Mar de Bellingshausen, sob a influência da corrente circumpolar antártica, nas operações dos navios polares brasileiros, mesmo quando as temperaturas superficiais do Drake não permitem a formação de gelo, mas retardam o seu derretimento.

Para o planejamento de futuras operações antárticas, sugere-se que sejam considerados os prognósticos climáticos da fase ENOS e as suas implicações sobre a TSM, bem como a concentração de gelo marinho sobre o Drake e proximidades da Ilha Rei George.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BURGOBRAGA R. *Variabilidade da cobertura de gelo marinho e as colônias de Pygoscelidae na costa oeste da baía do Almirantado, ilha Rei George, Antártica*. Tese – Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

CARPENEDO C. B. *Bloqueios atmosféricos associados à variabilidade extrema do gelo marinho antártico e impactos na América do Sul*. Tese – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 2017.

CPC/NOAA (Climate Prediction Center/ National Oceanic and Atmospheric Administration). *El Niño/Southern Oscillation (ENSO) - Cold and Warm episodes by Season*. Disponível em: < [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)>. Acesso em: 20 de abril de 2021.

DASH M. K. et al. Variability in the ENSO-induced southern hemispheric circulation and Antarctic sea ice extent. *International Journal of Climatology*, 33, 2012, p. 778-783.

LIMA, F. U. F. *Variabilidade extrema intra-sazonal do gelo marinho Antártico e relações com a circulação atmosférica*. Dissertação. São Paulo: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 2007.

LIU, J. et al. Mechanism study of the ENSO and southern high latitude climate teleconnections. *Geophysical Research Letters*, 29, 2002, p. 24-1-24-4.

\_\_\_\_\_. Evaluating Antarctic sea ice variability and its teleconnections in global climate models. *International Journal of Climatology*, 22, 2002, p. 885–900.

\_\_\_\_\_. Interpretation of recent Antarctic sea ice variability. *Geophysical Research Letters*, 31, 2004, p. 1025-1029.

MACHADO *et al.* *Antártica: Ensino fundamental e Ensino médio*. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006.

MASSARICO CARDOSO L. F. *O Gelo Marinho no Mar de Weddell: Influência do ENOS e Fenômenos Atmosféricos Associados*. Dissertação. São Paulo: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 2019.

NSIDC (National Snow and Ice Data Center). *All about Sea Ice*. Disponível em: < <https://nsidc.org/cryosphere/seaice/index.html> >. Acesso em: 20 de abril de 2021.

PAOLO F. S. *et al.* Response of Pacific-sector Antarctic ice shelves to the El Niño/Southern Oscillation. *Nature Geoscience*, 11, 2018, p. 121-126.



SECIRM (Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar), Marinha do Brasil. *PROANTAR*. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/secirm/proantar/sobre>>. Acesso em: 20 de abril de 2021.

TURNER, J. The El Nino Southern Oscillation and Antarctica. *International Journal of Climatology*, 24, 2004, p. 1-31.

YUAN, X. ENSO-related impacts on Antarctic sea ice: a synthesis of phenomenon and mechanisms. *Antarctic Science*, 16, 2004, p. 415-425.

