

DESCRIÇÃO DE FRENTES OCEÂNICAS A PARTIR DE UMA BÓIA DE DERIVA
RASTREADA POR SATÉLITE E DE DADOS HIDROGRÁFICOS DURANTE A
VII EXPEDIÇÃO ANTÁRTICA BRASILEIRA

Ronald Buss de Souza
Merritt Raymond Stevenson

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
CP 515 - São José dos Campos, SP, Brasil, 12210-970
inpedct@brfapesp.bitnet

Abstract. A drifting buoy, developed at INPE, was launched in the region to the North of Bransfield Strait, Antarctica, during the 7th Brazilian Antarctic Expedition (Summer 1989). This buoy, tracked by NOAA satellites through the ARGOS System, stayed at the sea in the period between 1/26/1989 and 2/21/1989. Using hydrographic data collected *in situ* by the Brazilian Oceanographic Support Ship, the Barão de Teffé, the horizontal distributions of temperature (T), salinity (S) and density (σ_t) of the sea water were obtained for the period of the experiment. By comparing the buoy's trajectory with the T, S and σ_t distributions, it was noted that variations in the flow patterns measured by the buoy were caused by the presence of two oceanic fronts in the study area. From the results of this experiment, it is shown that the Brazilian drifting buoys tracked by the ARGOS System are strong tools that can be used to detect and describe oceanic fronts on a synoptic basis.

1. INTRODUÇÃO

A partir do desenvolvimento dos sistemas de coleta de dados via satélite, utilizando-se PCDs (Plataformas de Coleta de Dados) instaladas em bóias oceanográficas, tornou-se possível a medição de parâmetros físicos em locais específicos no mar e na atmosfera adjacente a ele. O surgimento do sistema RAMS ("Random Access Measurement System"), lançado a bordo do

satélite Nimbus-6 em 1974, tornou ainda possível a localização espacial de PCDs instaladas em bóias de deriva na superfície do oceano, servindo como fonte de dados para estudos lagrangianos de circulação superficial marinha, com uma visão sinótica e global.

Mais tarde, através de um acordo bilateral entre a NASA e o CNES, surgiu o sistema de coleta de dados ARGOS. Este

sistema serve para a coleta de dados ambientais e localização de PCDs em qualquer lugar do planeta, e utiliza os satélites de órbita polar da série ATN-NOAA. A partir dos sistemas RAMS e ARGOS, o número de trabalhos visando estudar a circulação superficial marinha em meso e grande escalas cresceu enormemente, principalmente nos oceanos do hemisfério Norte (McNally, 1981; Richardson, 1983; Emery et al., 1985; Krauss e Boning, 1987; entre outros).

No Brasil, a utilização do sistema ARGOS para a localização de bóias de deriva começou na década de oitenta, através do projeto MEDICA (Medição da Corrente Antártica), dentro do PROANTAR (Programa Antártico Brasileiro). Segundo o interesse geopolítico e operacional do Brasil na Antártica, o MEDICA vem realizando experimentos em meso-escala no Oceano Austral, nas áreas do Estreito de Bransfield e vizinhanças, Mar de Bellingshausen e Passagem de Drake desde a 3ª Expedição Antártica Brasileira, em 1985 (Stevenson et al., 1989). Utilizando bóias de deriva e ancoradas com tecnologia de nível internacional, o MEDICA vem obtendo informações sinóticas acerca da dinâmica das correntes superficiais marinhas e da interação oceano-atmosfera nessas regiões.

O trabalho apresentado aqui compara a trajetória de uma bóia de deriva rastreada pelo sistema ARGOS, lançada pelo MEDICA na região ao Norte do Estreito de Bransfield durante o verão de 1989, com as distribuições horizontais de temperatura, salinidade e densidade da água do mar naquela

região. Como objetivo, pretende-se demonstrar que feições oceânicas tipo frentes interferem nos padrões de fluxo das correntes superficiais marinhas medidas por bóias oceanográficas de deriva, e que a utilização destas bóias é um meio eficaz para a determinação sinótica deste tipo de fenômeno em meso-escala no mar.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área utilizada neste estudo está compreendida entre as latitudes 61-63°S e 53-60°W, sendo localizada ao Norte do Estreito de Bransfield, entre as Ilhas Rei Jorge e Elefante. Nesta região localiza-se o Canal Loper, uma depressão batimétrica que chega a 2000 m de profundidade. Este canal é a passagem natural das águas provenientes do Mar de Weddell para a Passagem de Drake (Stein, 1986). Esta região ainda conflui as águas que saem do Estreito de Bransfield em direção Nordeste.

2.2. Dados da bóia de deriva

A bóia de deriva lançada na 7ª Expedição Antártica Brasileira possui uma torre meteo-oceanográfica compacta na forma de "T", que comporta diferentes tipos de sensores ambientais. Como elemento de arrasto, esta bóia utiliza uma vela retangular de 6 m² de área, localizada na profundidade de 10 m (para maiores informações, veja Silva Jr. et al., 1990).

Através de uma PCD fabricada no Brasil, a bóia do MEDICA utilizada aqui tem a

capacidade de recolher dados dos sensores ambientais e transmití-los aos satélites NOAA, via sistema ARGOS. Neste trabalho, porém, os dados dos sensores ambientais recolhidos e transmitidos pela PCD foram desconsiderados, e apenas os dados das sucessivas localizações obtidos via ARGOS foram usados como estimadores lagrangianos de correntes. A precisão de localização do ARGOS é de $0,001^\circ$ de latitude/longitude, (111 m em latitude), considerada excelente para estudos em meso-escala no mar.

O lançamento da bóia de deriva ocorreu em 26/1/1989, na posição $61,674^\circ\text{S} - 56,984^\circ\text{W}$, utilizando o apoio logístico do N.Ap.Oc. Barão de Teffé. Após um período de cerca de um mês no mar, a bóia foi recolhida pelo navio em 21/2/1989, na posição $61,911^\circ\text{S} - 54,772^\circ\text{W}$. Durante o tempo em que permaneceu no mar, o número médio de localizações da PCD por dia foi de 16,2. Este número, que é uma função da latitude onde se encontrava a PCD, é alto, e indica a alta eficiência de transmissão de dados da PCD usada na bóia deste trabalho.

2.3. Dados hidrográficos

Durante a mesma expedição, realizou-se um conjunto de 50 estações oceanográficas ao longo da área de estudo (Figura 1). Estas estações recolheram dados de temperatura e salinidade da água do mar, utilizando-se instrumentos do tipo batitermógrafos descartáveis (XBTs), STD ("Salinity, Temperature, Depth") analógico, e garrafas de Nansen.

Os dados de temperatura e salinidade recolhidos pelo STD,

e registrados na forma analógica, foram digitalizados utilizando o Sistema de Informações Geográficas (SGI) do INPE. Os dados digitalizados, foram também corrigidos de um erro intrínseco ao sistema STD analógico, conhecido como histerese. Os dados de temperatura dos XBTs foram usados diretamente.

Os dados de temperatura e salinidade corrigidos para a profundidade de 10 m (que corresponde à profundidade onde se encontra o elemento de arrasto da bóia de deriva) serviram de base para o cálculo da densidade da água do mar (ρ) nesta profundidade, utilizando-se a Equação Internacional de Estado da Água do Mar. Como procedimento usual, a densidade foi tratada em termos do parâmetro sigma-t (σ_t).

Utilizando-se os dados de temperatura, salinidade e sigma-t obtidos para o nível de 10 m, foram gerados os mapas de distribuição horizontal destes parâmetros na água.

3. RESULTADOS

3.1. Trajetória da bóia de deriva

A trajetória percorrida pelo derivador do INPE entre 26/1 e 21/2/1989 é vista na Figura 2. Logo após o lançamento, a bóia derivou para Oeste até o dia 30/1, a partir do qual começou a descrever anéis (ou "loops") consecutivos e inverter seu sentido de deslocamento. Entre os dias 8/2 e 19/2, a bóia descreveu uma trajetória com menor variabilidade, em sentido para Leste. Após 19/2, a trajetória

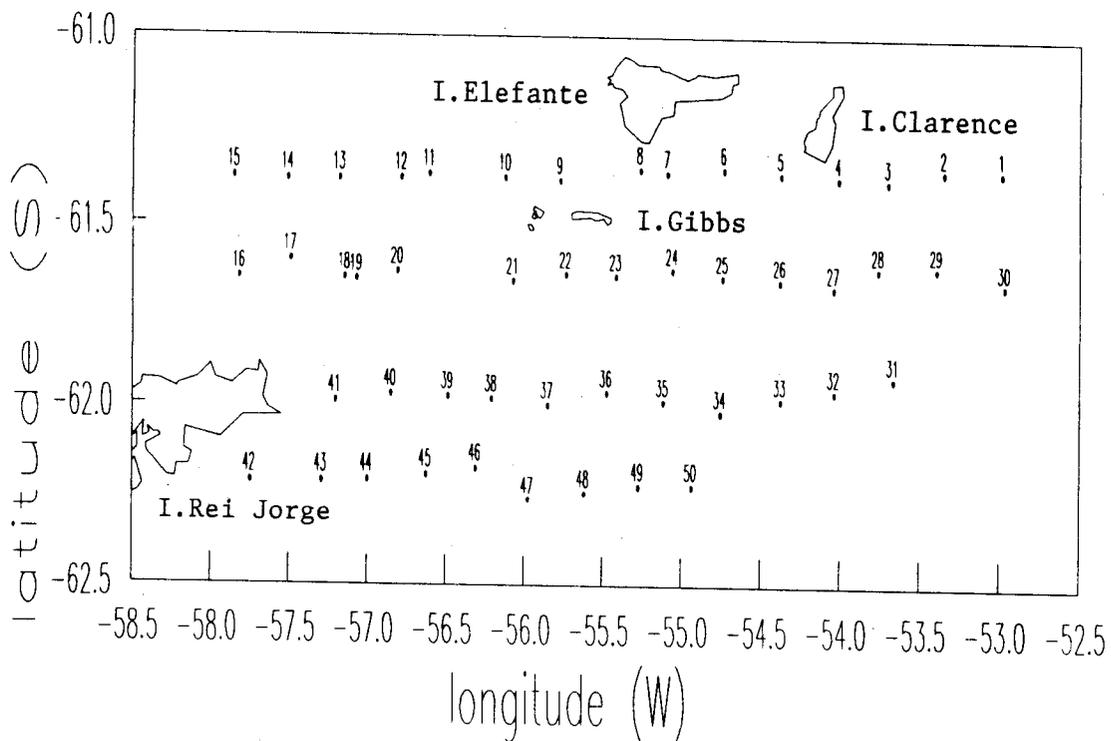


Figura 1: Estações oceanográficas.

descrita pelo derivador mostrou uma forte deflexão para Sul, e a bóia deslocou-se até a posição de recolhimento, em 26/2/1989.

A série de tempo dos dados de posição da bóia neste experimento foi tratada detalhadamente por Souza (1992). Este autor determinou que a velocidade média da corrente medida pela bóia foi de $7,5 \text{ cms}^{-1}$, fluindo para Leste. A distância total percorrida pelo derivador durante o experimento foi superior a 100 km. Uma comparação entre esta corrente medida pela bóia,

e as correntes geostróficas e induzidas pelo vento (Ekman) foi feita no trabalho de Souza e Stevenson (1993).

3.2. Distribuição horizontal de temperatura, salinidade e sigma-t

A distribuição de temperatura para 10 m é vista na Figura 3. Nesta figura, percebe-se um gradiente térmico horizontal intenso ao Sul da Ilha Clarence ($61,5^{\circ}\text{S} - 54,25^{\circ}\text{W}$), que identifica uma frente oceânica com uma variação de temperatura de cerca e 1°C em 30 km. Esta frente oceânica separa águas

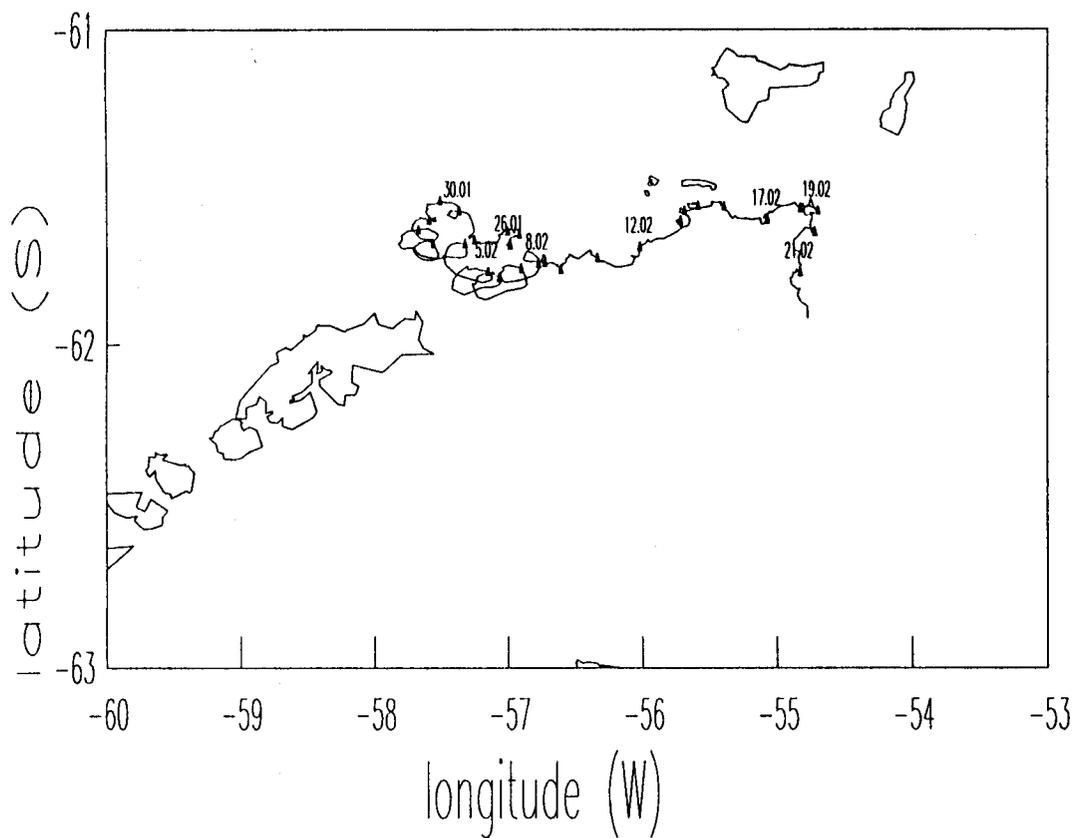


Figura 2: Trajetória descrita pela bóia de deriva. Os triângulos superimostos indicam os dias consecutivos entre 26/1 e 21/2/1989.

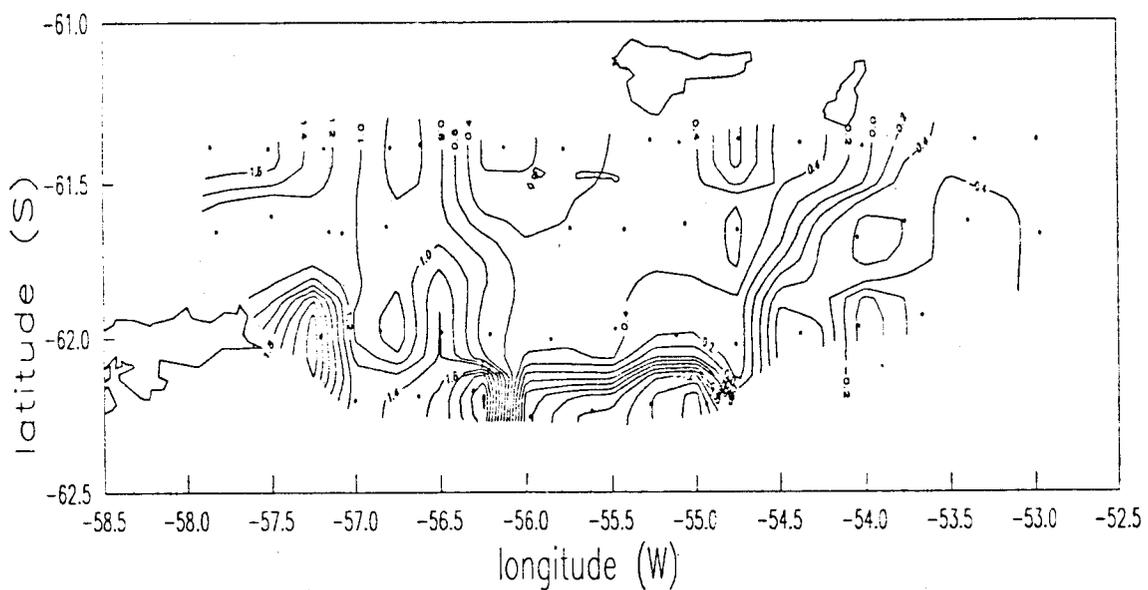


Figura 3: Distribuição de temperatura em 10 m.

bem frias provenientes do Mar de Weddell (temperaturas de até $-1,4^{\circ}\text{C}$) das outras águas presentes na área de estudo. A extensão do gradiente térmico descrito aqui atinge cerca de 100 km dentro da área de estudo.

Nas regiões Oeste, Central e Norte da área de estudo nota-se a presença de águas relativamente mais quentes ($0,4^{\circ}\text{C}$ a $1,8^{\circ}\text{C}$ em superfície e $0,4^{\circ}\text{C}$ a $2,4^{\circ}\text{C}$ em 10 m). Na porção Nordeste da Ilha Rei Jorge observa-se outra frente térmica bem marcada, que separa águas de menos de 1°C das outras mais aquecidas. Na região próxima a $62,2^{\circ}\text{S}$ - $56,2^{\circ}\text{W}$, nota-se a confluência entre as duas frentes anteriormente descritas.

Para a salinidade (Figura 4) notam-se três frentes halinas. Duas delas, ao Sul da Ilha Clarence e a Nordeste da Ilha Rei Jorge, concordam em termos de localização com as frentes térmicas já descritas. Na frente halina ao Sul da Ilha Clarence, águas mais salgadas provenientes de Leste (com até 34,4 unidades de salinidade na escala prática - PSS) encontram-se com águas de cerca de 34 PSS presentes na porção central da área de estudo. A Nordeste da Ilha Rei Jorge, as águas menos salgadas da Passagem de Drake (33,6 PSS) encontram as águas da região central da área de estudo.

Na Figura 5 nota-se a distribuição horizontal de sigma-t para a área de estudo. Em linhas gerais, esta distribuição segue as distribuições de temperatura e salinidade descritas anteriormente. Ressalta-se que a área de estudo foi dominada por águas de densidade

entre 27,2 e 27,3, sendo que, nas regiões de frentes oceânicas, existiram variações em sigma-t da ordem de 0,3 unidades.

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A região do Estreito de Bransfield e adjacências da Península Antártica é conhecida por ser dominada por mesclas de água de diferentes características termohalinas, provenientes do Mar de Bellingshausen, Mar de Weddell e Estreito de Gerlache (Clowes, 1934; Post-FIBEX, 1982; Sievers, 1982; Silva Jr. et al., 1990, entre outros).

Para a região deste estudo, trabalhos dentro do programa FIBEX ("First International BIOMASS Experiment"), realizados por Sievers (1982) e Post-FIBEX (1982) demonstram a existência de frentes oceânicas formadas pela confluência de distintos tipos de massas de água com características termohalinas semelhantes às encontradas aqui.

Comparando-se a trajetória descrita pela bóia de deriva durante este experimento (Figura 2) com as distribuições horizontais de temperatura, salinidade e sigma-t obtidas para a região (Figuras 3, 4 e 5), pode-se perceber que algumas variações no deslocamento médio do derivador foram ocasionadas pela presença das frentes oceânicas da região de estudo.

A frente oceânica presente a Nordeste da Ilha Rei Jorge foi atingida pelo derivador na data próxima a 30/1/1989. O en-

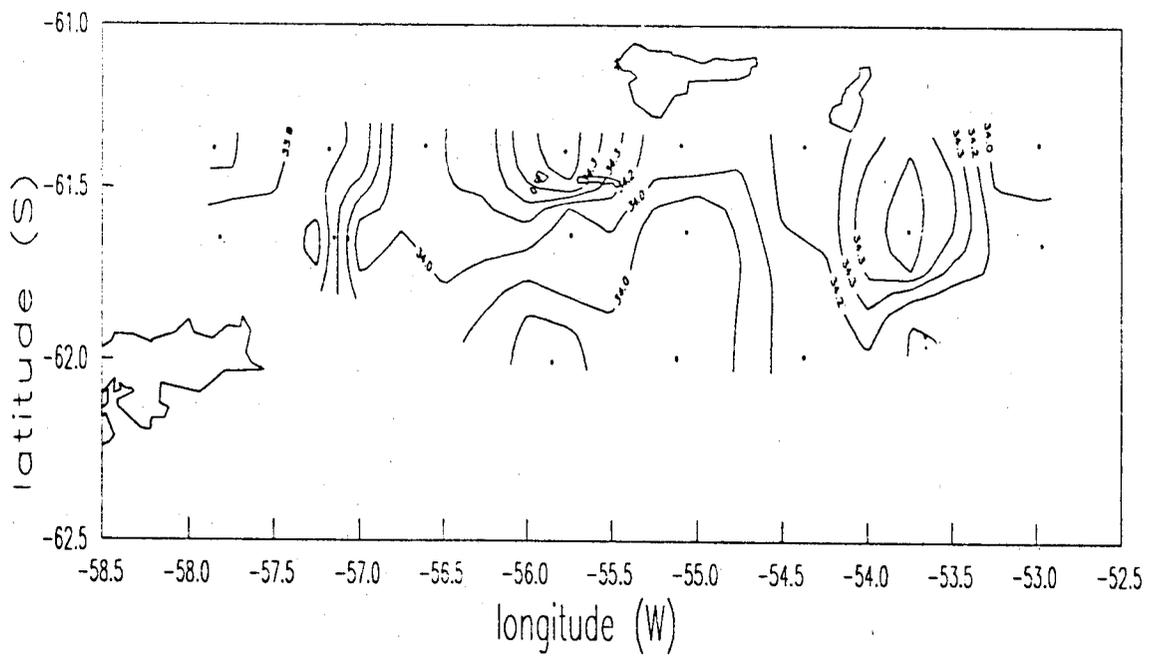


Figura 4: Distribuição de salinidade em 10 m.

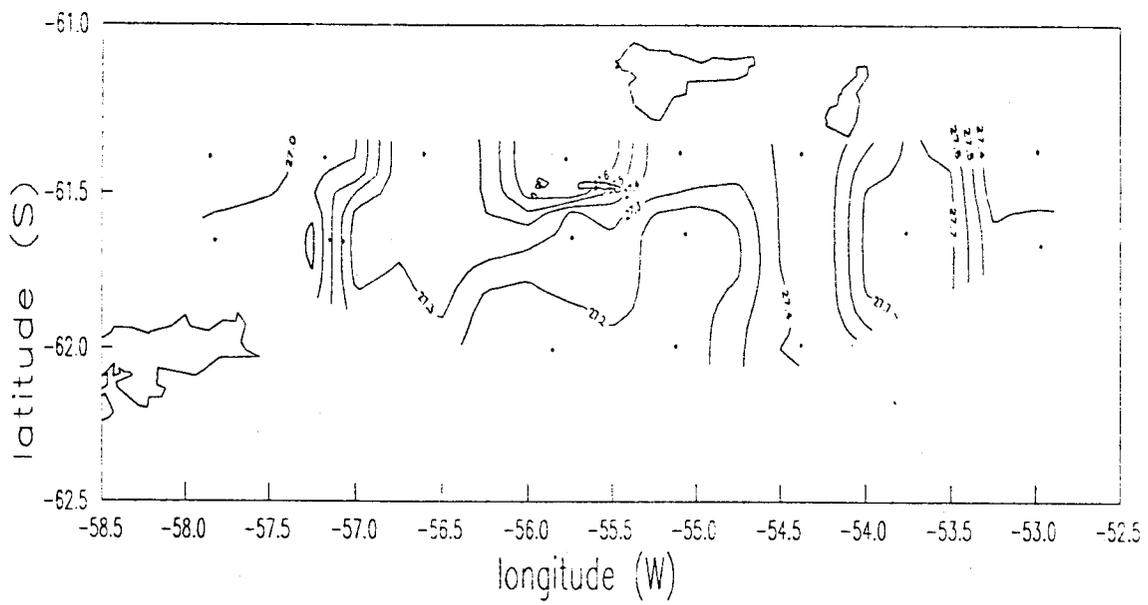


Figura 5: Distribuição de sigma-t em 10 m.

contro da massa de água que transportou a bóia Oeste com esta frente ocasionou o aparecimento dos "loops" na trajetória da bóia, e a troca de sentido de deslocamento dela, que passou a locomover-se para Leste. A corrente que conduzia a bóia descreveu um grande vórtice, trocando de sentido logo após o encontro com a frente oceânica próxima à Ilha Rei Jorge. Dentro deste grande vórtice estão inseridos os "loops", cujo período foi diurno, causados pelo efeito da maré diurna na região (Souza, 1992).

Quando o derivador conseguiu escapar da frente oceânica das vizinhanças da Ilha Rei Jorge (a partir de 8/2/1989), a corrente que o transportava seguiu para Leste, com uma maior estabilidade, seguindo a direção geral das isolinhas de 27,2 a 27,3 em sigma-t (salinidade de 34 PSS e temperatura de 0,4°C) das águas que dominavam a porção central da área de estudo.

No dia 19/2/1989, o derivador atingiu a frente oceânica mapeada para a região ao Sul da Ilha Clarence. Seguindo a direção desta frente, o derivador trocou bruscamente sua direção, e passou a seguir a corrente deslocando-se para Sul.

A possibilidade da utilização de derivadores de superfície rastreados por satélite para medir correntes e compará-las à dados hidrográficos históricos no Oceano Austral foi abordada no trabalho de Hofmann (1985). Este trabalho, realizado dentro do programa FGGE ("First GARP Global Experiment"), reporta a tendência das bóias de deriva em se concentrarem nas zonas de frentes

oceânicas.

Silva Jr. (1989), trabalhando com dados do MEDICA recolhidos na 4ª Expedição Antártica Brasileira na região do Estreito de Bransfield, identificou uma frente oceânica até então não descrita na literatura. A trajetória de seu derivador sugeriu a presença desta frente, comprovada a partir de dados hidrográficos. Como uma de suas conclusões, Silva Jr. (1989), comenta a possibilidade da utilização do derivador do MEDICA para a detecção de frentes oceânicas.

Através deste trabalho, reforça-se a idéia de que os derivadores do INPE são fortes instrumentos que podem ser usados para a detecção de feições oceânicas tipo frentes. A utilização destes instrumentos rastreados por satélite pode também servir para a obtenção de informações importantes sobre períodos de oscilação das correntes marinhas, e relacioná-los a seus forçantes, conforme reporta Souza (1992).

Para a oceanografia antártica, a utilização do sistema ARGOS tem ainda a vantagem de oferecer uma maior cobertura temporal para a obtenção de dados, visto que o número de localizações das PCDs pelos satélites NOAA aumenta com a latitude. Desconsiderando-se a gama de dados ambientais que uma PCD instalada em uma bóia oceanográfica possa recolher, apenas os dados de posicionamento podem ser usados para mapear com grande precisão fenômenos de grande importância no oceano, como é o caso das frentes oceânicas superficiais. O estudo destes fenômenos, de grande interesse para a climatologia e

e pesca, por exemplo, é geralmente feito através de métodos convencionais, que envolvem a utilização da escassa frota oceanográfica nacional (no caso do estudo em águas antárticas, apenas o N.Ap.Oc. Barão de Teffé está disponível para a comunidade científica brasileira), que, além de fornecer um tipo de dado mais caro, está restrito à áreas geograficamente menores e mais acessíveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o empenho da tripulação do N.Ap.Oc. Barão de Teffé durante a 7ª Expedição Antártica Brasileira. Agradecemos também o suporte financeiro do CNPq-CIRM-PROANTAR ao projeto MEDICA (#9571), e da CAPES, através da bolsa utilizada pelo primeiro autor durante a realização do seu mestrado.

REFERÊNCIAS

A.I.J. Clowes. Hydrology of the Bransfield Strait. *Discovery Reports*, 9:1-64, 1934.

W.J. Emery, T.C. Royer, R.W. Reynolds. The anomalous tracks of North Pacific drifting buoys 1981 to 1983. *Deep-Sea Research*, 32(3):315-347, 1985.

E.E. Hofmann. The large-scale horizontal structure of the Antarctic Circumpolar Current from FGGE drifters. *Journal of Geophysical Research*, 90(C4): 7087-7097, 1985.

W. Krauss, C.W. Boning. Lagrangian properties of eddy fields in the northern North Atlantic as deduced from satellite-tracked buoys. *Journal of Marine Research*, 45:259-291, 1987.

G.L. McNally. Satellite-tracked drifting buoy observations of the near surface flow in the eastern mid-latitude North Pacific. *Journal of Geophysical Research*, 86(C9):8022-8030, 1981.

Post-FIBEX Hydrographic Data Interpretation Workshop, 1., Hamburg, Germany, 20-26 Sept., 1982. 11 p. (BIOMASS Report Series no. 30).

P.L. Richardson. Eddy kinetic energy in the North Atlantic from surface drifters. *Journal of Geophysical Research*, 88(C7): 4355-4367, 1983.

H.A. Sievers. Descripción de las condiciones oceanográficas físicas, como apoyo al estudio de la distribución y comportamiento del krill. *Serie Científica INACH*, 28:87-136, 1982.

C.L. Silva Jr. Comparação da circulação obtida através da trajetória de uma bóia de deriva rastreada por satélite e de dados hidrográficos no Estreito de Bransfield. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE, São José dos Campos, Set. 1989. 155 p. (INPE-4946-TDL/387).

C.L. Silva Jr., M.R. Stevenson, P.R.A. Carvalho. Retrospectiva e perspectiva no Brasil das bóias de deriva rastreadas por satélites de órbita baixa. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6., Manaus, 24-27 jun., 1990. Anais. São José dos Campos, INPE, 1990, v.3, p.553-560.

R.B. Souza. Estudo da circulação superficial ao Norte do Estreito de Bransfield, Antártica. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE, São José dos Campos, Set. 1992. 189 p. (INPE-5472-TDI/503).

R.B. Souza and M.R. Stevenson. Comparisons of the geostrophic and Ekman currents with the current measured by a drifting buoy, North of Bransfield Strait - Austral Summer 1989. *Antarctic Science*, 1993. (submetido).

M. Stein. Variability of water masses and currents off the Antarctic Peninsula during SIBEX. *Archiv für Fischereiwissenschaft*, 37(1):25-50, 1986.

M.R. Stevenson, V.H.M. Inostroza, J.L. Stech. Variations in temperature, salinity and density in Bransfield Strait, 9-14 March, 1985. *Pesquisa Antártica Brasileira*, 1(1): 45-53, 1989.