



Captura sinótica de um vórtice de meso-escala da Corrente do Brasil através de dados de XBT coletados por aeronave ao largo de Arraial do Cabo - RJ

Rafael G. Soutelino: Pesquisador Oceanógrafo da Divisão de Dinâmica dos Oceanos. Doutor em Oceanografia Física pela Universidade de São Paulo.

Leandro Calado: Pesquisador, Encarregado do Grupo de Sensoriamento Remoto. Doutor em Oceanografia Física pela Universidade de São Paulo.

Juliana A. de Miranda: Pesquisadora Oceanógrafa da Divisão de Dinâmica dos Oceanos. Doutora em Oceanografia Física pela Universidade de São Paulo.

Phellipe P. Couto: Estagiário da Divisão de Dinâmica dos Oceanos. Bacharelado em Oceanografia pela Universidade Federal do Paraná.

INTRODUÇÃO

A demanda por coleta de dados oceanográficos em tempo real (sinóticos), principalmente temperatura e salinidade, tem sido um desafio para a oceanografia operacional nas últimas décadas. Cada vez se torna mais necessária a utilização de diferentes plataformas de perfilagem de dados oceanográficos. Estes dados são fundamentais para alimentação de modelos numéricos para previsão oceanográfica, para aplicação prática como operações de resgate e salvamento no mar (SAR) e controle de derrames de hidrocarbonetos, para a determinação do ambiente acústico na cena de ação em operações de guerra, entre outras. Neste contexto, o Grupo de Oceanografia do IEAPM desenvolve o projeto Aquisição de dados oceanográficos com aeronave de asa rotativa – DOCAAR (Paula & Calado, 2008).

No contexto do projeto DOCAAR, foi realizado um cruzeiro piloto, onde dados de temperatura foram amostrados simultaneamente através de XBTs e CTD lançados por helicóptero e navio, ao largo de Arraial do Cabo. Os resultados desta campanha oceanográfica, bem como os testes de viabilidade da metodologia, foram apresentados nos esforços de Calado et al. (2008).

Este artigo descreve os esforços mais recentes (22/09/2012) do projeto DOCAAR. O objetivo do presente trabalho foi investigar sinoticamente a estrutura vertical de temperatura e velocidades de um vórtice oceânico associado à atividade de mesoescala da Corrente do Brasil (CB), utilizando dados coletados por XBT lançados com helicóptero.

METODOLOGIA

A metodologia adotada consistiu em estabelecer uma janela de espera na qual imagens de satélite da temperatura da superfície do mar (TSM) foram monitoradas em busca da ocorrência de um vórtice de mesoescala da CB ao largo de Arraial do Cabo, RJ, feição esta recorrente ao longo do ano nesta localidade. Mediante a detecção de tal feição, a campanha de coleta foi imediatamente acionada para que o vórtice fosse amostrado tridimensionalmente em menos de 3 h, através dos XBTs lançados por aeronave.

A detecção de feições oceanográficas através de dados orbitais é uma atividade corriqueira do Grupo de Sensoriamento Remoto do IEAPM, no contexto do Projeto DetecFeições (Negri et al., 2011). O referido grupo conta com uma antena de recepção de uma massa extensa e completa de dados de satélite processados pela European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT). O monitoramento diário de TSM foi feito através das imagens obtidas pelo satélite geostacionário Meteosat Second Generation (MSG), que disponibiliza campos a cada hora para esta antena. A identificação qualitativa de vórtices de mesoescala é feita através da identificação automática de frentes de TSM, procedimento este já consolidado na literatura (Cayula & Cornillon, 1992; Belkin et al., 2009). O intervalo entre a identificação original do vórtice (15/09/2012) e a realização da coleta (22/09/2012) foi de 7 dias, período em que foi observado um crescimento do vórtice em cerca de 20%. A última imagem livre de contaminação por nuvens anterior a campanha de coleta foi a do dia 19/09/2012, tal como ilustrado na Figura 1.

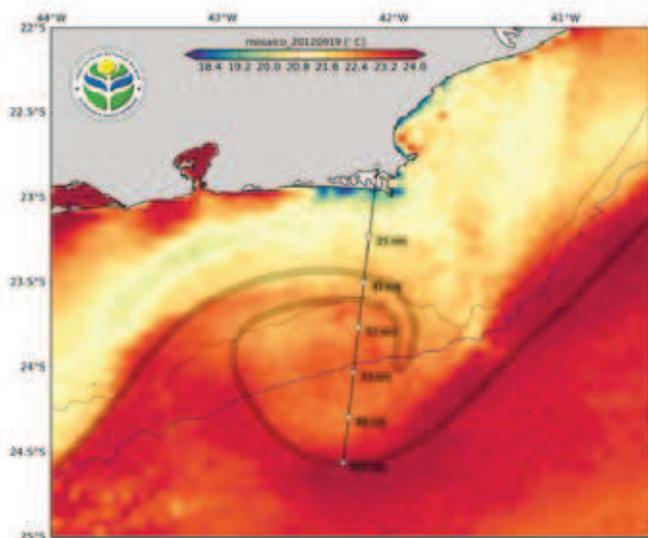


Figura 1. Plano de estações para o cruzeiro oceanográfico sinótico de coleta de dados de XBT com aeronave, realizado no dia 22/09/2012. Ao fundo, mostra-se a imagem de satélite de TSM do dia 19/02/2012 produzida no IEAPM, ilustrando a assinatura térmica frontal de um vórtice de mesoescala ciclônico, associado a CB ao largo de Arraial do Cabo - RJ. A trajetória editada em cinza é uma interpretação qualitativa da assinatura térmica frontal do vórtice.

Na Figura 1, é mostrado o plano original de estações de XBT com a finalidade de capturar a estrutura vertical de temperatura associada ao vórtice. Foram planejadas 6 estações espaçadas em aproximadamente 15 mn, de acordo com as escalas de ajus-

tamento geostrófico calculadas com base no Raio de Deformação de Rossby. A trajetória do transecto foi estabelecida de forma a se obter uma seção transversal do vórtice, e esta totalizou 105 mn. O cruzeiro foi realizado na manhã do dia 22/09/2012, com duração de cerca de 3 h, partindo da Base Aérea Naval de São Pedro da Aldeia (BaENSPA). O acesso aos pontos amostrados foi viabilizado pela utilização da aeronave de asa rotativa UH-14 Super Puma (Pegasus 74) composta por 3 oficiais e 2 tripulantes pesquisadores, e as sondas utilizadas foram os XBTs SIPPICAN modelos T5 e T10.

Os vórtices de mesoescala da CB têm em geral de 100 a 200 km de diâmetro nesta região, e podem ser estudados através de cálculos dinâmicos onde a temperatura e a salinidade possibilitam o cálculo de velocidades relativas a um nível de movimento nulo, considerando-se que em primeira ordem, as velocidades da CB e do vórtice estão em balanço geostrófico. Este consiste no Método Dinâmico Clássico (Sandström & Helland-Hansen, 1903) que essencialmente parte da integração vertical da equação do vento térmico, resultando na expressão

$$v_g(z') - v_g(-H_0) = \frac{g}{f_0} \int_{-H_0}^{z'} \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} dz \quad (1)$$

que calcula velocidades relativas a um nível de movimento conhecido (usualmente considerado nulo) através da integral vertical de gradientes horizontais de densidade. Sabemos que a densidade depende da salinidade, temperatura e pressão, dentre os quais apenas temperatura e pressão podem ser estimados por um XBT. Na ausência de dados de salinidade, trabalhos recentes (Ponsoni, 2007) demonstram que o método dinâmico pode ser aplicado com uma equação de estado simplificada (onde a densidade é função apenas da temperatura e pressão, e salinidade é considerada constante), desde que a região de estudo esteja localizada em latitudes tropicais ou subtropicais, que é o caso da presente localidade. Ponsoni (2007) mostra que há imprecisões nas magnitudes de velocidade e transporte de volume das correntes quando se usa um valor constante para a salinidade, mas que estas não afetam os resultados em primeira ordem.

No caso do presente trabalho, foi utilizado um valor constante de salinidade igual a 35 para conduzir os cálculos de velocidade, e o nível de referência adotado foi de 480 m, baseando-se no trabalho de Mattos (2006). Este valor é aproximadamente a região da interface entre a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e Água Intermediária Antártica (AIA), nível onde a CB atinge velocidades nulas ao largo do sudeste, de acordo com Godoi (2005).

Estas aproximações permitem que a estrutura vertical de temperatura e velocidade do vórtice, bem como transportes de volume, sejam estimados através de perfis de temperatura coletados desde a superfície até ao menos 1000 m de profundidade, caso da estratégia amostral adotada. Para a análise referida, seções verticais de temperatura e velocidade geostrófica transversais ao vórtice foram construídas a partir da interpolação e aplicação da equação (1) aos perfis de XBT, e estes resultados serão apresentados na próxima seção.



RESULTADOS

Devido ao pioneirismo deste tipo de cruzeiro, alguns empecilhos ocorreram durante a coleta, que não prejudicaram os resultados em sua totalidade. A distância a ser percorrida e a autonomia de uma plataforma deste porte requerem operação ágil, sem muitas margens para atraso.

Este foi o caso das duas estações nas extremidades do transecto. A estação 6, localizada mais ao largo, foi a primeira a ser realizada. Foram obtidos dados de má qualidade em função do posicionamento da aeronave à barlavento, o que fez com que o cabo capilar do XBT se chocasse com o corpo da aeronave constantemente, interrompendo a transmissão de dados. Esta estação não pôde ser repetida, e foi descartada. Desta forma, a borda oceânica do vórtice ficou com a amostragem um pouco prejudicada. A estação mais costeira teve de ser abortada em função de pequenos atrasos acumulados durante a campanha, mas sem prejuízos para a amostragem do vórtice, já que a feição se limitava à porção do oceano profundo.

Os resultados apresentados adiante considerarão, portanto, as quatro estações internas (2-5) do transecto. Os perfis de temperatura, já pré-processados para remoção de spikes e filtragem, são apresentados na Figura 2, bem como a seção vertical de temperatura transversal ao vórtice ciclônico da CB. Nota-se claramente a assinatura térmica baroclínica de um vórtice ciclônico através das inflexões das isotermas. Entre as estações 4 e 3, observa-se uma inflexão das isotermas para baixo em direção à costa na região da termoclina permanente (entre 150 m e 600 m, aproximadamente), caracterizando um gradiente baroclínico de pressão que impõe um fluxo para dentro da seção, ou seja, aproximadamente de oeste para leste. Entre as estações 4 e 5, o oposto é observado. Há uma inflexão das isotermas para baixo em direção ao largo, caracterizando um gradiente de pressão oposto, que por sua vez impõe um fluxo para fora da seção (leste para oeste, caracterizando a CB). Esta estrutura térmica vertical sugere portanto a existência de um vórtice ciclônico desde a superfície até cerca de 600 m, que poderá ser comprovado através do cálculo das velocidades geostróficas (Figura 3).

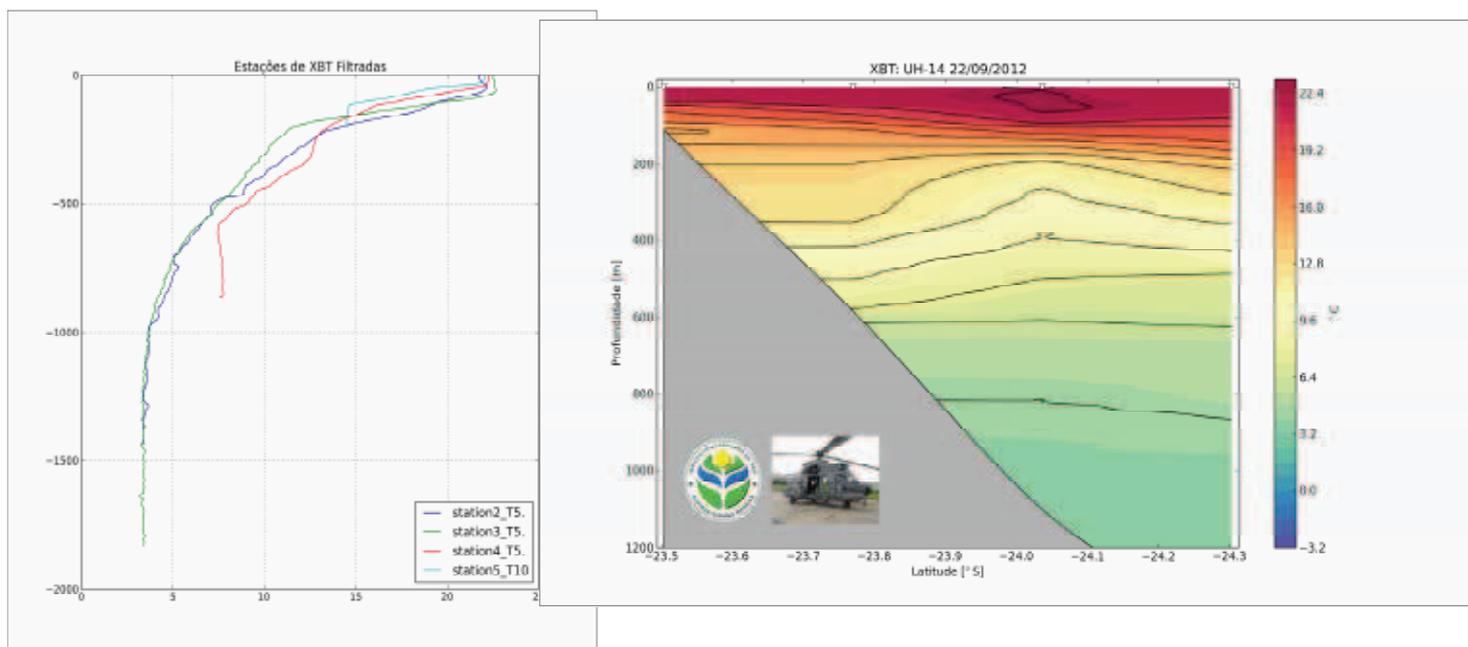


Figura 2. Painel esquerdo: Perfis de temperatura coletada por XBT lançado de aeronave nas estações 2-5, segundo a distribuição apresentada na Figura 1. Painel direito: Seção vertical de temperatura transversal ao vórtice ciclônico da CB.

A Figura 3 mostra os resultados do cálculo de velocidade geostrófica. Os resultados confirmam a existência do vórtice já especulado tanto através das imagens de satélite quanto estrutura vertical de temperatura. Trata-se de fato de um vórtice ciclônico de mesoescala associado a CB, com diâmetro de cerca de 80 km de diâmetro (lembrando que possivelmente sua borda externa foi sub-amostrada em função da perda da estação 6 e espessura vertical de cerca de 500 m. As velocidades para oeste, associadas à CB, foram da ordem de 0.7 m/s e as velocidades para leste, associadas a borda costeira do vórtice, da mesma ordem de 0.7 m/s. Estes valores associados a geometria e características cinemáticas do vórtice comparam-se favoravelmente à literatura pretérita (Signorini, 1978; Campos et al., 1995; Silveira, et al., 2004; entre outros).

O vórtice aparenta ter boa simetria e o valor total de transporte de volume da seção é inferior a 0.3 Sv (106 m³/s), o que indica que praticamente toda a água transportada para S/SW pela CB é recirculada no vórtice, caracterizando um interrompimento no escoamento desta corrente, padrão este que tipicamente ocorre quando um vórtice de mesoescala cresce estacionariamente, drenando energia do escoamento médio para si mesmo. No painel esquerdo da Figura 3, foram plotados os vetores de velocidade geostrófica em superfície, a fim de sobrepor estes ao campo de TSM que motivou a campanha oceanográfica. Nota-se que a distribuição dos vetores é condizente com a assinatura frontal térmica observada através de dados orbitais, reforçando a utilidade do uso de tal ferramenta para detecção de feições oceanográficas potencialmente tridimensionais.

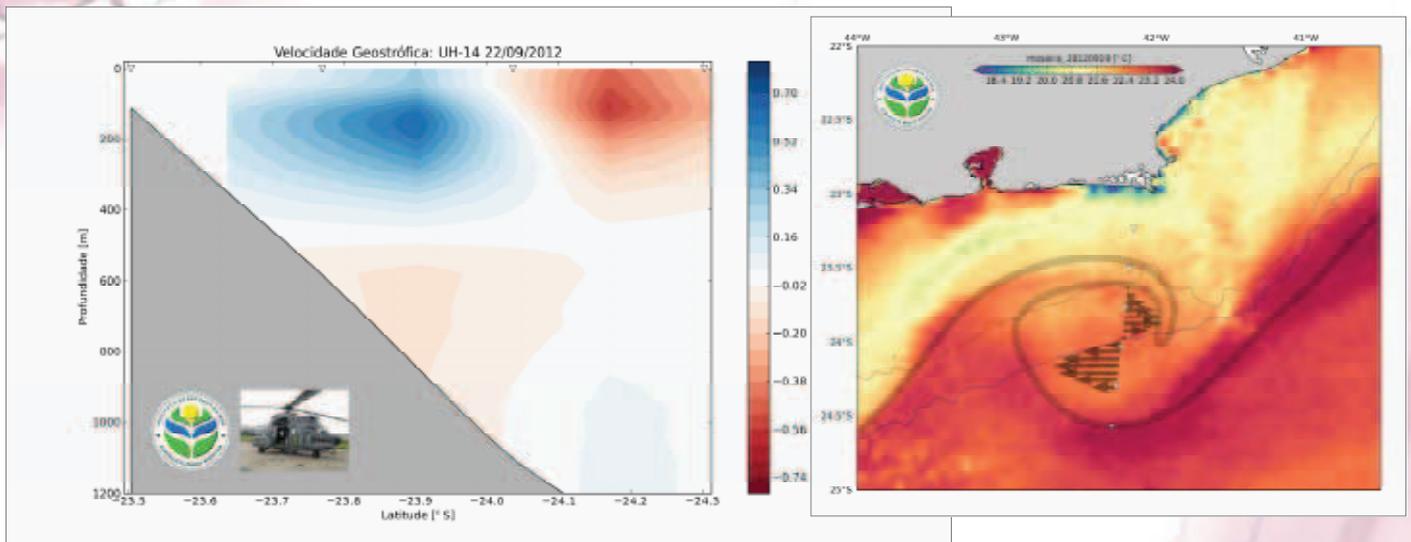


Figura 3. Painel esquerdo: Seção vertical de velocidades geostróficas relativas a 480 m, transversais ao vórtice de mesoescala da CB. Valores negativos representam escoamento aproximadamente de leste para oeste e os positivos indicam escoamento de oeste para leste. Painel direito. Vetores de velocidade geostrófica em superfície, perpendiculares à seção transversal do vórtice, sobrepostos ao campo de TSM que motivou a campanha. A trajetória editada em cinza é uma interpretação qualitativa da assinatura térmica frontal do vórtice.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A campanha oceanográfica realizada no contexto deste trabalho teve um importante caráter pioneiro. Foi a primeira campanha realizada no contexto do Projeto DOCAAR (dados coletados por aeronave) com um objetivo científico. Enfatiza-se aqui a importância da sinopacidade proporcionada por este tipo de campanha no contexto de amostrar feições oceanográficas. Apesar de fenômenos da escala espaço-temporal da CB e sua atividade de mesoescala serem de evolução lenta, a amostragem por navio pode conter indesejável aliasing espaço-temporal, prejudicando a amostragem das feições, o que pode acarretar, por exemplo, em problemas de balanços de volume.

Acreditamos que a simetria e quase-balanço de volume alcançado neste conjunto de dados se deve muito a rapidez com

a qual o vórtice foi capturado. Podemos discutir, adicionalmente, o inestimável valor de se ter flexibilidade para estabelecer a data e hora de uma campanha como esta, permitindo que haja uma otimização de custos, uma vez que a equipe só vai para campo quando é confirmada a existência da feição de interesse através da ferramenta do satélite. Tal agilidade é muito mais complicada de se atingir através de um navio. Também é possível realizar a repetição do mesmo transecto em curtos intervalos de tempo, proporcionando oportunidades de se aferir a variabilidade temporal de tais feições.

Lições importantes foram aprendidas no tocante ao protocolo de coleta e estimativa de tempo e distância total do cruzeiro. Apesar de os empecilhos não terem prejudicado o resultado final em sua totalidade, em oportunidades futuras, estes certamente serão minimizados.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio e prontidão da equipe da Base Aérea Naval de São Pedro da Aldeia, que proporcionou o deslocamento, segurança e agilidade da operação. À equipe técnico-científica do Grupo de Oceanografia Física do IEAPM pelo suporte e planejamento da campanha e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelo financiamento do projeto DetecFeições.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Belkin, I. M.; Cornillon, P. C.; Sherman, K. 2009. Fronts in Large Marine Ecosystems. *Progress in Oceanography*, 51, 223–236.
- Calado, L.; De Paula, A. C.; Mattos, R. A. 2008. Dados Oceanográficos Coletados com Aeronave de Asa Rotativa (Projeto DOCAAR): Calibração, Correção e Análise dos Dados. IV Simpósio Brasileiro de Oceanografia, São Paulo. Anais do IV Simpósio Brasileiro de Oceanografia.
- Campos, E. J. D., J. E. Gonçalves; Y. Ikeda, 1995: Water mass structure and geostrophic circulation in the South Brazil Bight - summer of 1991. *Journal of Geophysical Research*, 100(C9), 18537–18550.
- Cayula, J. F.; Cornillon, P. 1992. Edge detection algorithm for SST images.

Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 9(1), 67-80.

Godoi, S. S. 2005. Dinâmica quase-geostrófica do Sistema Corrente do Brasil no embaiamento de São Paulo. Tese de Doutorado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 133 p.

Mattos, R. A. 2006. Feições de meso e grande escalas da Corrente do Brasil ao largo do sudeste brasileiro. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 146 p.

Negri, E.; Calado, L.; Watanabe, W. B.; Domingues, R. M. 2011. Detecção de Feições Oceanográficas a Partir de Dados Orbitais: Validação de Modelos Numéricos. *Revista A Ressurgência*, 5, 18-20.

Paula, A. C. de; Calado, L. 2008. Dados Oceanográficos Coletados por Aeronave de Asa Rotativa - DOCAAR). *Revista A Ressurgência*, 2, 13-15.

Ponsoni, L. 2007. O efeito da salinidade na estrutura de correntes do Sistema Corrente do Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 67 p.

Sandstrom, J. W. e Helland-Hansen, B. 1903: Über die berechnung von meeresströmungen. *Rept. Norwegian Fishery and Marine Investigations*, 2(4).

Signorini, S. R., 1978: On the circulation and the volume transport of the Brazil Current between the Cape of São Tomé and Guanabara Bay. *Deep-Sea Research*, 25(5), 481–490.

Silveira, I. C. A., L. Calado, B. M. Castro, M. Cirano, J. A. M. Lima, & A. S. Mascarenhas. 2004. On the baroclinic structure of the Brazil Current-Intermediate Western Boundary Current System. *Geophysical Research Letters*, 31(14), L14308.