

# AQUISIÇÃO DE DADOS OCEANOGRÁFICOS COM AERONAVE DE ASA ROTATIVA (PROJETO DOCAAR)

Ocean Data Acquisition with Rotary Wing Aircraft (DOCAAR Project)

Leandro Calado<sup>1</sup>, Ana Cláudia de Paula<sup>2</sup>,  
Rafael Augusto de Mattos<sup>3</sup>

**Resumo:** 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. Esses 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 artigo, divulga-se uma alternativa viável de perfilar temperatura nos oceanos, em tempo quase real, através do lançamento de *eXpendable BathyThermographs* (XBTs) a partir de helicópteros, normalmente utilizados para serem lançados de embarcações. São apresentadas as adaptações metodológicas necessárias para coleta, calibração e validação dos dados.

**Palavras-chave:** Oceanografia Operacional. XBT. Helicóptero. Dados oceanográficos. Assimilação de Dados.

**Abstract:** The demand for sampling oceanographic data in real time (synoptic data), mainly temperature and salinity, has been a challenge for operational oceanography in the recent decades. Each time, it becomes more important to use different platforms for synoptic data profiles. These data are critical to feeding numerical models for ocean forecast, for practical applications as Search and Rescue (SAR) operations and control of oil spills, for determining the acoustic environment at the scene of action in operations of anti-submarine warfare etc. This article provides a viable alternative to logging the temperature of the ocean in quasi real time with launch of *eXpendable BathyThermographs* (XBT) from helicopters, normally used for launching from boats. Methodology adaptation for data collection, calibration and validation of data are presented.

**Keywords:** Operational Oceanography. XBT. Helicopter. Ocean Data. Data Assimilation.

## 1. INTRODUÇÃO

A coleta de dados oceanográficos em tempo real (sinóticos), principalmente temperatura e salinidade, tem sido um desafio para a oceanografia operacional nas últimas décadas. Dada sua grande e crescente demanda, torna-se cada vez mais necessária a utilização de diferentes plataformas de

coletas. A oceanografia por satélite se firmou como a mais promissora área com a capacidade de prover um retrato instantâneo do oceano. Entretanto, a tecnologia envolvida limita-se a retratar somente as características da superfície do oceano. Desta forma, uma série de alternativas de coleta de dados sinóticos tem sido propostas pela comunidade científica. Destacam-se boias e fundeios meteo-oceanográficos,

**1.** Doutor em Oceanografia Física pela Universidade de São Paulo Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira – Arraial do Cabo, RJ – Brasil. E-mail: lcalado@ieapm.mar.mil.br

**2.** Especializada em Oceanografia Física pela Universidade de São Paulo Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira – Arraial do Cabo, RJ – Brasil. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação da Marinha – Brasília, DF – Brasil. E-mail: ana.claudia@secctm.mar.mil.br, acpaula@gmail.com

**3.** Mestre em Oceanografia Física pela Universidade de São Paulo Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira – Arraial do Cabo, RJ – Brasil. Laboratório Nacional de Computação Científica – Petrópolis, RJ – Brasil. E-mail: rmattos@lncc.br

lançamento de sondas perfiladoras a partir de aeronaves e veículos autônomos de medição (como *glider*, perfiladores ARGO, entre outros).

A Marinha do Brasil tem vasta experiência na utilização de sondas perfiladoras descartáveis, como os *expendable BathyThermographs* (XBTs), para obtenção de dados oceanográficos no cenário de operações e para emprego em pesquisas de interesse naval. Os XBTs são amplamente aplicados com sucesso pela comunidade oceanográfica mundial, a exemplo dos grandes programas internacionais de pesquisa *Tropical Ocean Global Atmosphere* (TOGA) e *World Ocean Circulation Experiment* (WOCE). Seu sucesso está na aptidão em amostrar de forma rápida, fácil e de baixo custo a estrutura vertical de temperatura dos oceanos. Os perfis verticais de temperatura oriundos dos XBTs podem ser utilizados para estimativa de correntes geostróficas, velocidade do som, como dados para inicialização e assimilação de modelos numéricos, dentre outras aplicações. Sua facilidade de uso e armazenamento permitiu que esses sensores fossem utilizados a partir de diferentes plataformas, tais como embarcações e navios oceanográficos, navios de oportunidade (a exemplo dos programas *Ships of Opportunity Program* – SOOP e *Voluntary Observing Ships* – VOS) e aeronaves.

A utilização de XBTs a partir de aeronaves possui raras citações na literatura. Geralmente, para esse tipo de plataforma de coleta, são utilizadas sondas descartáveis apropriadas denominadas *Airbourne expendable BathyThermographs* (AXBTs), uma tecnologia relativamente antiga e disponível para lançamentos a partir de aeronaves de pequeno e médio porte. Operações de lançamento de AXBTs amostram perfis de temperatura, tal como os XBTs, em uma extensa área numa curta janela de tempo. Entretanto, o custo das sondas AXBT é consideravelmente superior àquelas XBTs.

O presente trabalho objetiva oferecer uma solução economicamente mais acessível e igualmente eficaz na caracterização sinótica da estrutura de temperatura do oceano. Para tanto, propomos a utilização de XBTs em lançamentos realizados a partir de aeronaves (no presente caso, helicópteros) em contrapartida à utilização de AXBTs. Para tal proposta, foram utilizadas as considerações na equação de queda apresentadas por Thadathil et al. (2002), Kizu et al. (2005a), Kizu et al. (2005b), Reseghetti, Borghini e Manzella (2006; 2007). Em Gouretski e Koltermann (2007),

é apresentada a diferença sistemática da temperatura entre XBT, CTD e flutuadores ARGO. Esses trabalhos permitem a continuidade da correção da equação de queda de XBT e tem sido tema de congressos anuais patrocinados por várias instituições importantes, como o *National Oceanographic Data Center* (NODC) e *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) e a *Japan Agency for Marine–Earth Science and Technology* (JAMSTEC). Entretanto, este trabalho é centrado na viabilidade operacional e no desenvolvimento de uma metodologia de lançamento de XBT por aeronave de asa rotativa adequada.

## 2. METODOLOGIA

Foram utilizados, como plataforma de lançamento dos XBTs, os helicópteros Sikorsky SH-3 Sea King do 1º Esquadrão de Helicópteros Anti-Submarinos (HS-1). Simultaneamente, alguns lançamentos foram realizados a partir do Aviso de Pesquisa Oceanográfico (AvPqOc) Diadorim, do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM). Ambas as plataformas são ilustradas na Figura 1.

O SH-3 é um helicóptero naval bi-turbinado que pode realizar missões para atender à guerra anti-submarina, bem como a transporte, salvamento e resgate, e é projetado para operações no mar sob qualquer condição de tempo. Essa aeronave possui elevada autonomia, cerca de 5 horas e meia de voo, comporta até 15 passageiros e atinge velocidades máximas de 259 km/h. Quanto à embarcação AvPqOc Diadorim, tem por características 24 m de comprimento e 30 dias de autonomia, empregada para uso em pesquisas oceanográficas costeiras e oceânicas.

Duas campanhas de lançamento de XBTs foram realizadas envolvendo conjuntamente o SH-3 e o AvPqOc Diadorim. A primeira campanha (CAMPANHA I) teve como principal objetivo avaliar a possibilidade de execução de tais lançamentos a partir da aeronave proposta para utilização e aferir preliminarmente a qualidade dos dados coletados. Já a segunda campanha (CAMPANHA II), conforme resultados e experiências obtidos durante a primeira, foi projetada com o intuito de calibrar e validar os dados de temperatura obtidos a partir de ambas as plataformas de coleta. Durante a CAMPANHA I, realizada em 25 de setembro de 2006, foram efetuados lançamentos em 4 localizações (estações) dispostas ao longo de uma radial perpendicular à costa ao largo da Ilha do Cabo Frio, em Arraial do Cabo (RJ). O

desenho amostral é apresentado na Figura 2. A sequência temporal de execução das estações foi da mais profunda para mais rasa, justificando a numeração escolhida. Foram utilizadas neste trabalho sondas *Sippican* modelo T-4 (referenciadas como ST-4 no texto) nas Estações 01, 02 e 03, localizadas além da isóbata de 100 m, e modelo T-10 (referenciadas como ST-10 no texto) nos lançamentos realizados na Estação 04. Nesta última, houve o lançamento simultâneo de XBTs a partir da aeronave e da embarcação. Adicionalmente, nessa mesma localidade, a equipe a bordo da embarcação também realizou um perfilamento da temperatura utilizando um *Conductivity-Temperature-Depth recorder* (CTD), modelo Sea-Bird Electronics SBE-19 MiniCTD, objetivando a comparação dos dados amostrados por ambos equipamentos.

O tempo médio de realização de cada estação, com XBTs lançados a partir da aeronave, foi de 1 a 5 minutos, de acordo com a profundidade local (tempo de *hovering*). Já o tempo total de coleta, somado o tempo de voo entre as estações, foi de aproximadamente 1 hora. Sobre a estação de coleta, a aeronave permaneceu em posição constante durante todo o lançamento das sondas, as quais foram lançadas a uma altitude de 40 pés ( $\approx 12$  m). Devido às características funcionais das sondas, foi necessário o aterramento da aeronave para fechamento do circuito elétrico. Esse aterramento foi efetuado por meio de um cabo de aço empregado normalmente para içamento de carga e resgate, denominado *host*. Os lançamentos dos XBTs a partir da embarcação foram realizados por uma plataforma lateral a uma altura de cerca de 2 m da linha d'água.

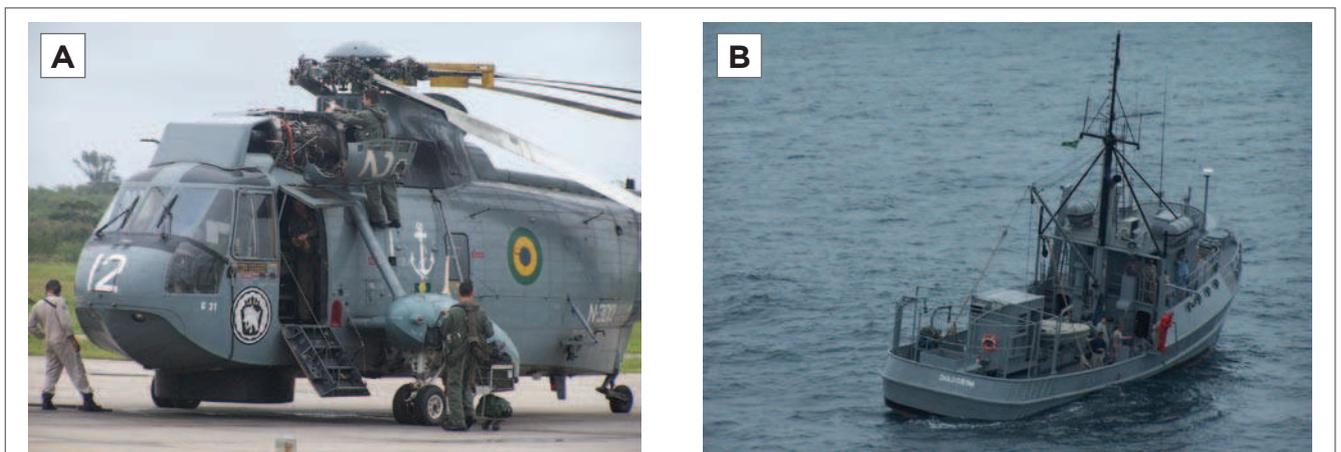
Durante a CAMPANHA II, realizada em 19 de dezembro de 2006, utilizaram-se os mesmos equipamentos e configurações

de montagem da campanha anterior, principalmente no que tange ao estabelecimento do aterramento da aeronave. Entretanto, dado seu objetivo distinto relativamente à CAMPANHA I, as coletadas foram realizadas pontualmente somente na localidade da Estação 04, 5 mn ao Sul da Ilha do Cabo Frio (Figura 2).

Os lançamentos dessa campanha, realizados a partir da aeronave, foram efetuados a 3 altitudes diferentes (80 pés  $\approx 24$  m, 40 pés  $\approx 12$  m e 15 pés  $\approx 5$  m) e, para cada altitude, foram lançadas 3 sondas ST-10. Tomou-se a precaução para que o local de amostragem dos perfis de temperatura fosse o mais coincidente possível entre as duas plataformas de coleta utilizadas. Desta forma, após o lançamento das sondas pela aeronave, a embarcação rumou para a posição ocupada anteriormente por esta e fez seus lançamentos. Como consequência da experiência adquirida na campanha anterior, um simples mas fundamental aperfeiçoamento na metodologia de coleta mostrou-se necessário. Previamente aos lançamentos dos XBTs, foram coletadas amostras superficiais da água do mar com um balde meteorológico, no qual as sondas eram mergulhadas de modo a proporcionar um equilíbrio térmico entre os termistores das sondas e a água do mar em superfície (BUDÉUS; KRAUSE, 1993). Assim como da aeronave, também foram lançadas três sondas ST-10 a partir do AvPqOc Diadorim à altura de 2 m.

### 3. CAMPANHA I: RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta os perfis de temperatura, amostrados a partir da aeronave SH-3 nas quatro estações de



**Figura 1.** Plataformas utilizadas para lançamento dos *eXpendable BathyThermographs*: helicóptero Sikorsky SH-3 Sea King (A) e Aviso de Pesquisa Oceanográfica Diadorim (B).

coleta (Figura 2), já qualificados. A qualificação dos perfis é caracterizada por um tratamento básico aplicado aos dados no qual realiza-se:

- (i) a remoção de *spikes*, em sua maioria resultantes de falhas de comunicação entre a sonda e a interface comunicadora de bordo;
- (ii) um alisamento em profundidade, via janela móvel, para atenuação de sinais de alta frequência;
- (iii) promediação dos dados em intervalos de profundidade equi-espaçados a 1 m (EMERY; THOMSON, 1998).

A título de ilustração, a seção radial de temperatura construída através dos perfis coletados pela aeronave ao largo de Cabo Frio (Figura 2) é apresentada na Figura 4, na qual notam-se típicos gradientes térmicos característicos da região. Essa seção revela a distribuição de águas mais frias junto ao fundo da plataforma continental interna, associadas à Água Central do Atlântico Sul (ACAS). Na região próxima à costa, a isoterma de 18°C encontra-se em 50–60 m de profundidade, caracterizando um cenário sazonal típico de verão e primavera (CASTRO FILHO; MIRANDA, 1998).

Os perfis de temperatura amostrados via CTD e XBT (para duas sondas lançadas) a partir da embarcação, na localidade da Estação 04, são apresentados na Figura 5. Tais perfis possuem uma defasagem de temperatura da ordem de 0,5°C, sendo a acurácia do XBT de 0,2°C. A aferição de

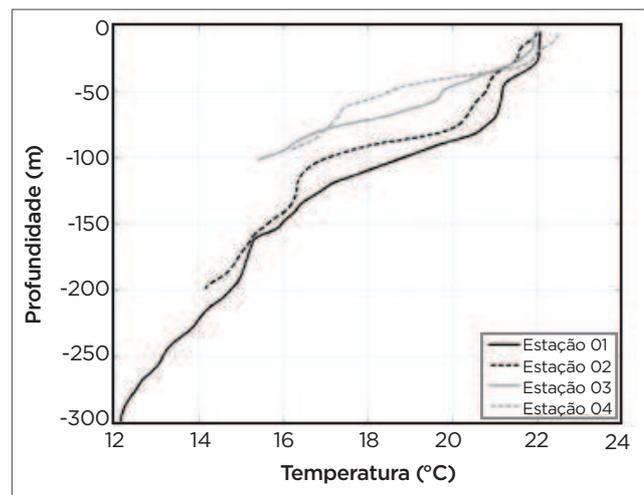


**Figura 2.** Disposição geográfica das estações de coleta realizadas durante as CAMPANHAS I e II. Na Estação 04, lançamentos simultâneos de *eXpendable BathyThermographs* e perfilagem com *Conductivity-Temperature-Depth recorder* foram realizados a partir da aeronave e da embarcação.

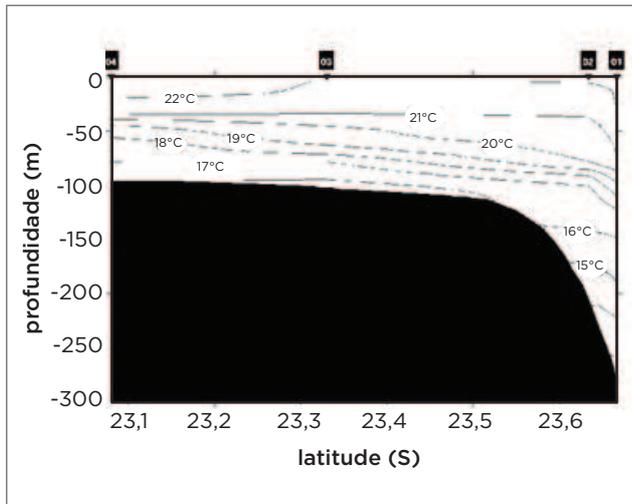
temperatura do CTD foi efetuada com termômetro digital de precisão 0,001°C. Constatou-se que os valores de temperatura medidos pelo CTD estavam superestimados em 0,3°C relativamente àqueles do termômetro digital.

A Figura 6 exibe a comparação entre os perfis de temperatura coletados na Estação 04 a partir das duas plataformas de coleta. Apesar da semelhança qualitativa entre os perfis, a diferença computada entre os mesmos, apresentada na Figura 7, quantifica efetivamente seus graus de semelhança. As diferenças de temperatura entre o perfil de CTD e aquele de XBT amostrados a partir do AvPqOc Diadorim são consideravelmente pequenas até os 60 m de profundidade, não ultrapassando 0,2°C (equivalente à precisão da sonda), chegando a 0,6°C entre 62 e 95 m de profundidade. No caso comparativo entre os perfis medidos via XBT lançados a partir do AvPqOc Diadorim e da aeronave SH-3, diferenças de até 1,5°C são observadas. Os valores mais discrepantes encontram-se entre 33 e 70 m de profundidade, região da termoclina. Vale frisar neste ponto que o cálculo das profundidades de cada valor de temperatura amostrado pelas sondas é feito a partir do *software* do fabricante, em que os parâmetros utilizados na equação de queda da sonda são aqueles padrões adotados pelo mesmo. Detalhes pertinentes a esse fato são elucidados futuramente no texto.

Frente aos resultados apresentados para a CAMPANHA I, a operação de lançamento de XBTs a partir de aeronaves



**Figura 3.** Perfis de temperatura amostrados via lançamentos de *eXpendable BathyThermograph*, a partir da aeronave SH-3, nas quatro estações de coleta ao largo de Arraial do Cabo.

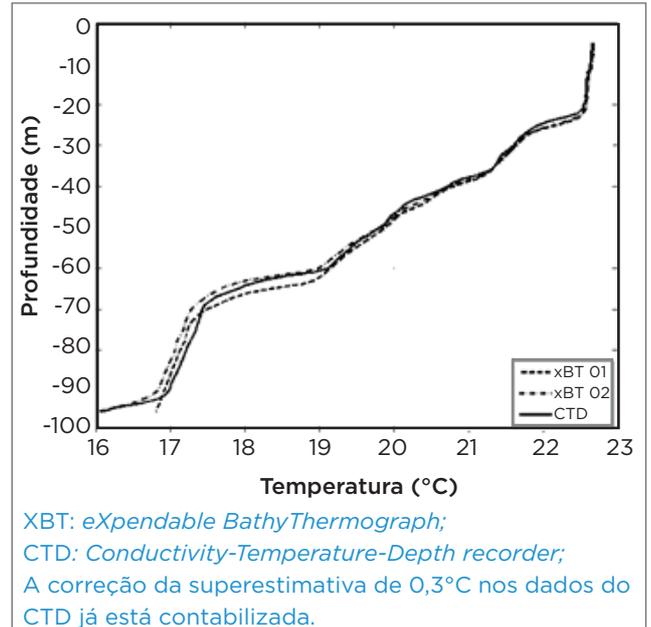


**Figura 4.** Seção radial de temperatura ao largo de Arraijal do Cabo. A disposição das estações de coleta é reproduzida por suas respectivas numerações no setor superior da figura.

SH-3 mostrou-se viável de ser realizada, destacando-se a atenção necessária ao aterramento da aeronave para correto funcionamento das sondas. Quanto à qualidade dos dados previamente coletados, observou-se que, entre as profundidades de 15 e 70 metros, onde os gradientes verticais são mais acentuados, os comportamentos comparativos entre os perfis de temperatura amostrados entre as duas plataformas de coleta apresentam discrepâncias com características que podem ser atribuídas à diferença da velocidade de entrada do XBT na água, uma vez que estes foram lançados a uma altura de 2 m a partir da embarcação e a 12 m a partir da aeronave. Tendo como motivação este cenário, a CAMPANHA II foi projetada com o intuito de elucidar e contornar de forma mais criteriosa as diferenças encontradas, propiciando, assim, a obtenção de um conjunto de dados coerente.

#### 4. CAMPANHA II: RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 8 apresenta os perfis médios de temperatura calculados a partir dos vários lançamentos de XBTs, a variadas alturas, realizados a bordo do AvPqOc Diadorim e da aeronave SH-3. Entende-se aqui por perfil médio aquele resultante da promediação dos três perfis coletados por três sondas distintas, lançadas todas de uma mesma altura. Cabe salientar que, assim como aplicado

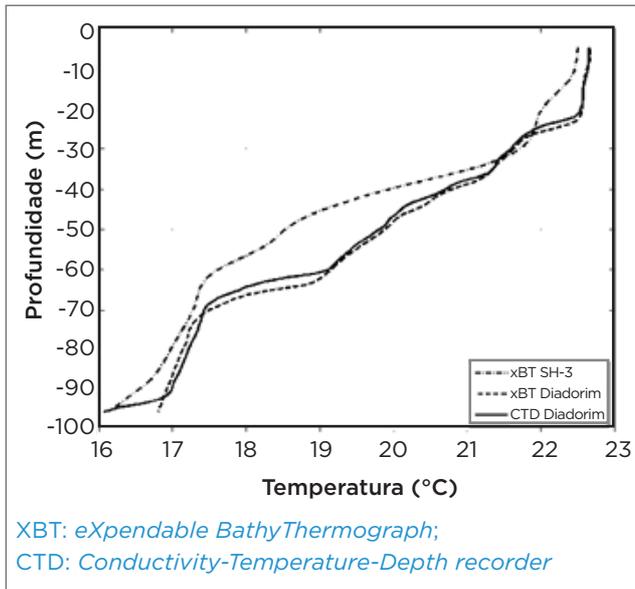


**Figura 5.** Perfis de temperatura amostrados via *Conductivity-Temperature-Depth recorder* e lançamentos de *eXpendable BathyThermographs* a partir do Aviso de Pesquisa Oceanográfico Diadorim, na localidade da Estação 04.

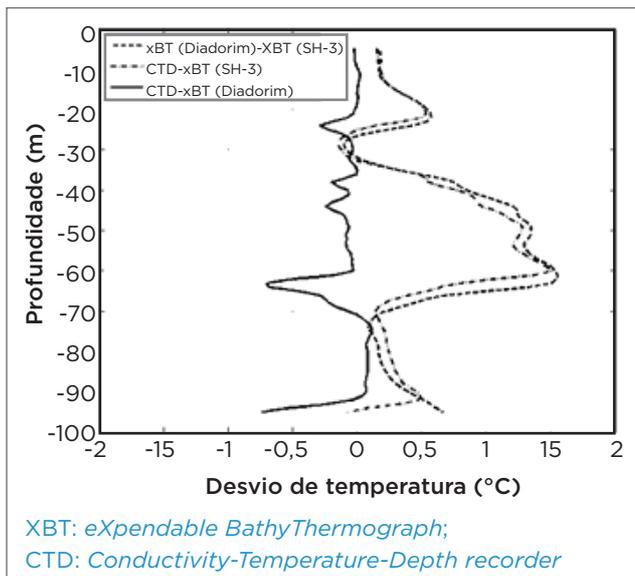
na campanha anterior, os perfis individuais passaram pelos mesmos procedimentos de qualificação já mencionados. Nesta etapa, o *software* do fabricante foi também utilizado para a estimativa das profundidades de cada valor de temperatura amostrado.

Já é possível notar qualitativamente, a partir da Figura 8, que as maiores diferenças se concentram entre as profundidades de 50 e 70 m, concordando com os resultados da campanha anterior. O comportamento exibido pelos perfis sugere a existência de um desvio vertical gradual entre eles. Aparentemente, a imposição de um deslocamento de alguns metros, para mais ou para menos dependendo do perfil, sobreporia as curvas de modo a praticamente coincidi-las.

A Figura 9 quantifica as diferenças entre os perfis de temperatura, tomando-se aquele obtido a partir do AvPqOc Diadorim como referência. Relativamente à CAMPANHA I, os valores próximos da superfície apresentaram um desvio menor, não ultrapassando 0,1°C. Esse fato decorre da homogeneização das temperaturas dos termistores das sondas a partir de seu mergulho na amostra de água da superfície do mar coletada antes do lançamento. As diferenças presentes na região vertical da termoclina (50–80 m) ainda são consideráveis, chegando a 3,5°C para o perfil amostrado a partir de



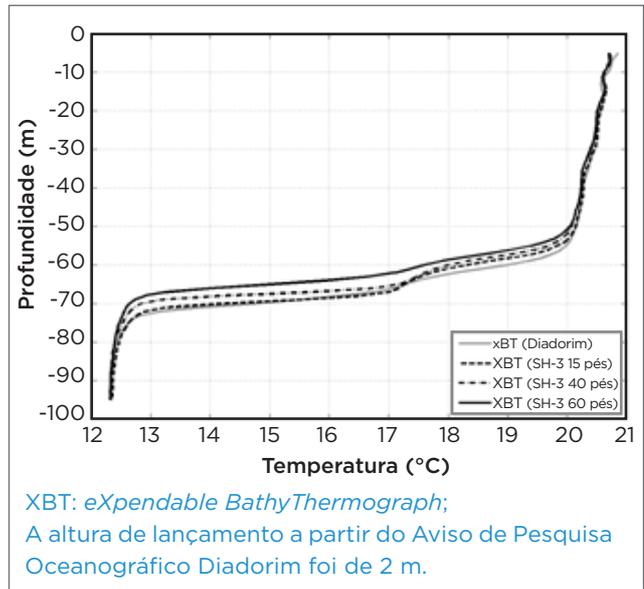
**Figura 6.** Comparação entre os perfis de temperatura amostrados a partir do Aviso de Pesquisa Oceanográfico Diadorim e da aeronave SH-3.



**Figura 7.** Diferença em profundidade entre os perfis de temperatura amostrados a partir do Aviso de Pesquisa Oceanográfico Diadorim e da aeronave SH-3.

80 pés de altura. Uma característica interessante a ser destacada é que os desvios de temperatura aumentam à medida que as alturas de lançamento das sondas também aumentam.

Desta forma, é possível especular a existência de uma relação diretamente proporcional entre a altura de lançamento dos XBTs e os desvios apresentados na Figura 9. Com base



**Figura 8.** Comparação entre os perfis médios de temperatura, amostrados via lançamento de *eXpendable BathyThermographs* a partir de ambas plataformas de coleta.

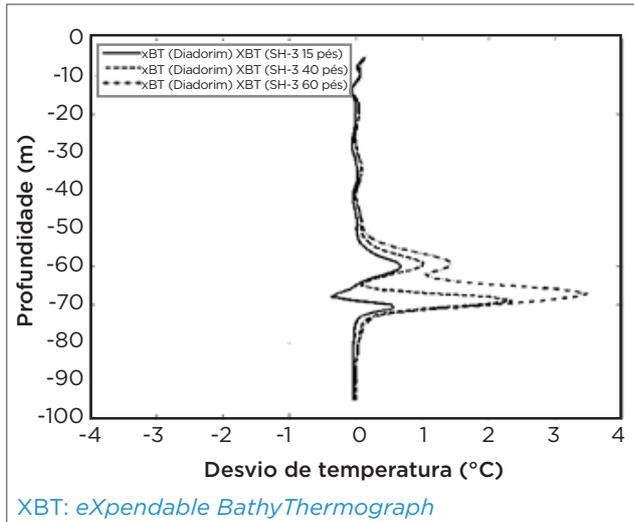
nessa premissa, recorre-se à literatura no intuito de avaliar possíveis causas dessa relação.

Segundo Green (1984), a forma hidrodinâmica das sondas XBT é escolhida de maneira a permitir que a sonda rotacione em torno de seu eixo axial, garantindo uma medida mais precisa do termistor e uma taxa de submersão na água praticamente constante. Isso possibilita o fácil cálculo da profundidade da sonda, ao longo da coluna d'água, em função de seu tempo de mergulho. Apesar da simplicidade teórica envolvida no cálculo da equação de queda do XBT na água, a calibração de seus parâmetros é empírica, pois envolve diferentes condições de densidade da água do mar às quais a sonda é submetida durante seu percurso e, principalmente, perda contínua de massa pelo desenrolar da fiação de cobre.

A equação de queda do XBT na coluna de água é da forma:

$$z(t) = \alpha \cdot t - \beta \cdot t^2 \quad (1)$$

onde  $z(t)$  é a profundidade da sonda em função do tempo  $t$  de queda,  $\alpha$  é a velocidade inicial de submersão da sonda e  $\beta$  é sua desaceleração. Green (1984) discute o processo de desaceleração e sua compensação pela perda de massa na estabilização da velocidade de queda ao longo da coluna de água. A compensação da estabilização da equação de queda é calibrada pelo parâmetro  $\beta$  da equação, conferindo a esse



**Figura 9.** Diferença em profundidade entre os perfis de temperatura amostrados via *eXpendable BathyThermograph*, a partir de ambas as plataformas de coleta.

parâmetro uma importância maior que uma simples desaceleração do movimento do XBT.

Vários autores propuseram parâmetros para a equação de queda do XBT (HEINMILLER et al., 1983; GREEN, 1984; GOULD, 1990; SINGER, 1990; HANAWA; YOSHIKAWA, 1991; HALLOCK; TEAGUE, 1992; UNESCO, 1994). Dentre tais trabalhos, UNESCO (1994) propôs a equação de queda utilizada como padrão e pelos fabricantes das sondas, inclusive a *Sippican* (HANAWA et al., 1995). Trabalhos mais recentes, como Kizu et al. (2005a; b), Reseghetti, Borghini e Manzella (2006; 2007) avaliaram diferenças entre os parâmetros da equação de queda em função dos modelos e fabricantes, propondo novas abordagens para lançamentos de diferentes sondas. Outros trabalhos, como Thadathil et al. (2002), propuseram modificações na equação de queda em função das características regionais de áreas com variação extrema de temperatura.

Utilizando métodos empíricos para calibração dos parâmetros da Equação 1 a partir de dados de CTD, UNESCO (1994) reportou a utilização, para os modelos de XBT fabricados pela *Sippican* e TSK, especificamente os modelos T-7, T-6 e T-4, os valores de  $\alpha=6,691$  m/s e  $\beta=0,00225$  m/s<sup>2</sup>. Os resultados obtidos para estes valores são satisfatórios quando alturas de lançamento entre 2 e 5 m são consideradas.

Acima desses valores, torna-se necessária uma correção no parâmetro  $\alpha$ .

Entretanto, nenhum dos trabalhos considera variações significativas na altura de lançamento das sondas. A implicação direta é que a velocidade de entrada do XBT na água em geral é considerada independente da altura de lançamento na formulação da equação de queda. Logo, neste trabalho, propõe-se uma alteração na equação de queda tal que a velocidade inicial de submersão do XBT passa a apresentar uma dependência funcional com a altura de lançamento do mesmo, ou seja,  $\alpha=\alpha(h)$ .

Para as diferentes alturas de lançamento  $h$  realizadas neste trabalho (entre 2 m  $\approx$  6,5 pés e 25 m  $\approx$  80 pés), é possível avaliar a dependência do parâmetro  $\alpha$  com estas. A velocidade inicial  $\alpha$  deve caracterizar a velocidade da sonda no instante em que se inicia a contagem do tempo. Ou seja, isso ocorre no momento em que o XBT adentra a água tal que o circuito elétrico se fecha. Logo, deve haver uma relação entre a velocidade com que o XBT toca a superfície da água (velocidade final de queda no ar) e a velocidade com que o XBT, já imerso, inicia sua perfilagem na coluna de água.

Recalculando as profundidades dos valores de temperatura de cada perfil de XBT amostrado a partir da aeronave (Figura 8) para diferentes valores de  $\alpha$  selecionados, chega-se a um valor para esse parâmetro que minimiza a diferença quadrática média entre cada perfil e aquele obtido a partir da embarcação. Obtém-se, portanto, uma relação direta entre a altura de lançamento  $h$  para cada perfil obtido e um valor ajustado otimamente de  $\alpha$ , relação esta apresentada na Figura 10. Pode-se notar o caráter aproximadamente linear da relação tal que:

$$\alpha(h) = 0,0184 h + 6,2906 \quad (2)$$

Utilizando-se os valores ajustados para  $\alpha$  para redefinir a equação de queda e recalculando os perfis de temperatura, têm-se as novas diferenças apresentadas na Figura 11. Analisando os valores apresentados, nota-se que as diferenças máximas são de 0,7°C em uma região confinada entre 66 e 72 m de profundidade.

Frente aos resultados obtidos para a CAMPANHA II, as discrepâncias entre os perfis de temperatura amostrados via lançamento de XBT a partir do AvPqOc Diadorim e

da aeronave SH-3, anteriormente já reportadas na campanha anterior, foram minimizadas por meio da reformulação da equação de queda das sondas. Foram propostos novos valores do parâmetro  $\alpha$ , dependentes da altura de lançamento das sondas, que não aquele fixo sugerido pelo fabricante. Apesar da limitação no número de XBTs lançados e da utilização somente de um modelo específico (ST-10), a metodologia desenvolvida e empregada neste trabalho mostrou-se uma ferramenta em potencial para aplicação em outras situações mais generalizadas, abrindo espaço para futuras investigações. Outros trabalhos, como Reseghetti, Borghini e Manzella (2006; 2007), concentram-se na correção do parâmetro  $\beta$ ; neste trabalho, a metodologia foi aplicada na obtenção do parâmetro  $\alpha$ , permitindo a correção da equação de queda em função da altura de lançamento. Desta forma, esta metodologia pode ser aplicada também para locais onde a altura seja significativamente relevante.

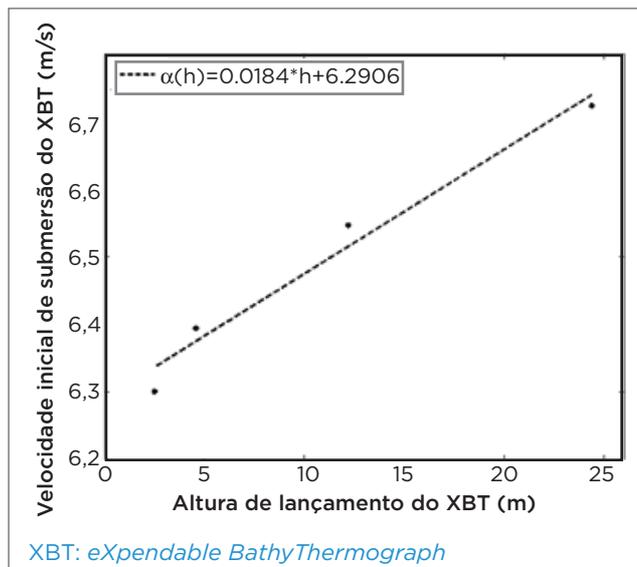
## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de aeronaves, no caso helicópteros SH-3, para obtenção de perfis de temperatura com XBT,

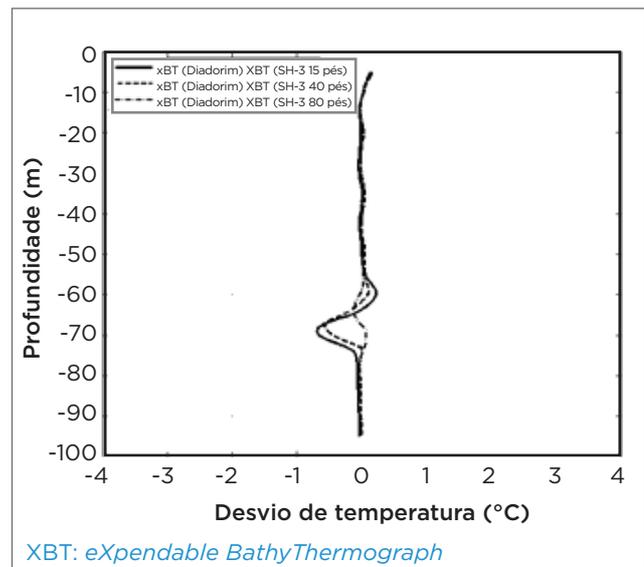
geralmente utilizados a partir de plataformas como embarcações, apresentou-se perfeitamente viável. A utilização de uma aeronave com características operacionais do SH-3 é fundamental para obtenção de dados de qualidade em regiões *offshore*, dada sua elevada autonomia de voo e arquitetura para operações no mar. Possíveis campanhas balizadas pela metodologia aqui proposta devem levar em conta o cuidado com o aterramento adequado da aeronave e com a precisão na altura de lançamento das sondas. A homogeneização da temperatura da sonda com a temperatura da superfície do mar também é um ponto importante a ser avaliado.

Embora o sucesso em estabelecer uma adaptação da equação de queda dos XBTs tenha sido alcançado neste trabalho, as limitações amostrais que lhe embasaram necessitam ser superadas para operacionalização desta metodologia, em que uma abordagem semelhante para os outros modelos e fabricantes de XBT deve ser concretizada.

Esta metodologia de coleta de dados propicia não somente a obtenção de perfis de temperatura a partir de lançamentos de XBTs, mas também a obtenção de perfis de salinidade quando da utilização de sondas *eXpendable Conductivity-Depth-Temperature* (XCDT) ou de outros parâmetros ambientais amostrados por sensores do gênero.



**Figura 10.** Relação aproximadamente linear entre a altura  $h$  de lançamento dos *eXpendable BathyThermographs* (XBTs) a partir da aeronave e a velocidade inicial de submersão do mesmo  $\alpha$ .



**Figura 11.** Diferença em profundidade entre os perfis de temperatura obtidos pela aeronave, recalculados conforme os valores de  $\alpha$  ajustados, e aquele obtido a partir da embarcação.

Despendendo um tempo seis vezes menor que aquele gasto por uma embarcação, é possível realizar a caracterização em tempo quase real (ou em escala sinótica) de feições oceanográficas de diferentes escalas espaciais e temporais de interesse. Ainda, esta metodologia tem um custo operacional oito vezes menor do que do lançamento de AXBT por aeronave de asa fixa.

## 6. AGRADECIMENTOS

Ao 1º Esquadrão de Helicópteros Anti-Submarinos, pelo profissionalismo, entusiasmo e apoio. Às equipes técnico-científicas do Departamento de Engenharia Oceânica e do então Departamento de Oceanografia do IEAPM envolvidas neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- BUDÉUS, G.; KRAUSE, G. On-cruise calibration of XBT probes. *Deep-Sea Research*, v. 40, n. 7, p. 1359-1363, 1993.
- CASTRO FILHO, B.M.; MIRANDA, L. B. Physical oceanography of the Western Atlantic continental shelf located between 4°N and 34°S. In: BRINK, K.; ROBINSON, A. (Eds.). *The Sea*. v. 11. New York: John Wiley & Sons, 1998. p. 209-251.
- EMERY, W.J.; THOMSON, R.E. *Data analysis methods in physical oceanography*. Oxford: Pergamon, 1998. 634p.
- GOULD, W.J. Depth error in T-7s. *WOCE Newsletter*, v. 10, p. 10-11, 1990.
- GREEN, A.W. Bulk dynamics of the expendable bathythermograph (XBT). *Deep-Sea Research*, v. 31, n. 4, p. 415-426, 1984.
- GOURETSKI, V.V.; KOLTERMANN, K.P. How much is the ocean really warming? *Geophysical Research Letters*, v. 34, p. 1-5, 2007.
- HALLOCK, Z.R.; TEAGUE, W.J. The fall rate of the T-7 XBT. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 9, n. 4, p. 470-483, 1992.
- HANAWA, K.; YOSHIKAWA, Y. Reexamination of depth error in XBT data. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 8, n. 3, p. 422-429, 1991.
- HANAWA, K. et al. A new depth-time equation for Sippican or TSK T-7, T-6 and T-4 expendable bathythermographs (XBT). *Deep-Sea Research*, v. 42, n. 8, p. 1423-1451, 1995.
- HEINMILLER, R.H. et al. Systematic errors in expendable bathythermograph (XBT) profiles. *Deep-Sea Research*, v. 30, n. 11A, p. 1185-1197, 1983.
- KIZU, S.; ITO, S.; WATANABE, T. Inter-manufacturer difference and temperature dependency of the fall-rate of T-5 expendable bathythermograph. *Journal of Oceanography*, v. 61, n. 5, p. 905-912, 2005a.
- KIZU, S.; YORITAKA, H.; HANAWA, K. A new fall-rate equation for T-5 expendable bathythermograph (XBT) by TSK. *Journal of Oceanography*, v. 61, n. 1, p. 115-121, 2005b.
- RESEGHETTI, F.; BORGHINI, M.; MANZELLA, G.M.R. Improved quality check procedures of XBT profiles in MFS-VOS. *Ocean Science Discussions*, v. 3, n. 5, p. 1441-1480, 2006.
- \_\_\_\_\_. Factors affecting the quality of XBT data - results of analyses on profiles from the Western Mediterranean Sea. *Ocean Science*, v. 3, n. 1, p. 59-75, 2007.
- SINGER, J.J. On the error observed in electronically digitized T-7 XBT data. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 7, n. 4, p. 603-611, 1990.
- THADATHIL, P. et al. XBT fall rate in waters of extreme temperature: a case study in Antarctic Ocean. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 19, n. 3, p. 391-396, 2002.
- UNESCO. Calculation of new depth equations for expendable bathythermographs using a temperature-error-free method (Application to Sippican/TSK T-7, T-6 and T-4 XBTs). *UNESCO Technical Papers in Marine Science*. v. 42. Paris: UNESCO, 1994.