

OCEANOGRAFIA FÍSICA

Osmar Möller Jr. e Marcos Paulo Abe

Oceanografia Física pode ser definida de várias maneiras. De acordo com Stewart (2008), compreende o estudo das propriedades físicas e da dinâmica dos oceanos. Já para Tomczak e Godfrey (2003), trata de entender os princípios físicos que dirigem os movimentos oceânicos. Se as duas definições forem combinadas, pode-se dizer que Oceanografia Física é a área da Oceanografia (ou da Geofísica), cujo objetivo é o estudo dos movimentos das águas oceânicas, das forças que os causaram e das consequências que esses acarretam em termos de transporte de propriedades, sobretudo de salinidade e temperatura.

Assim, a área de Oceanografia Física ocupa-se do estudo de fenômenos que podem ter uma escala temporal da ordem de segundos, no caso de ondas geradas por ventos, até processos cuja escala pode exceder centenas de anos, como a circulação termo-halina ou de densidade. Em termos de escala espacial, essa varia de micro até macrodimensões, podendo atingir milhares de quilômetros.

Se forem excluídas as ondas de curto período, geradas por efeito do vento e as de maré, causadas por forças resultantes das interações Terra, Sol e Lua, que pouco efeito têm sobre o transporte de propriedades, pode-se dizer que a circulação oceânica é devida a três fatores externos: fricção do vento; aquecimento e esfriamento; e evaporação e precipitação (TOMCZAK e GODFREY, 2003). Todos esses processos estão, em última análise, ligados à incidência diferencial da radiação solar sobre a superfície da Terra, sem falar, é claro, que as diferenças térmicas entre uma região e outra afetam o campo de ventos.

O efeito combinado desses fatores gera condições para que a água circule tanto em superfície, na forma de correntes geradas por ventos, como em camadas mais profundas, na chamada circulação termo-halina. Esses movimentos tendem a transportar grandes volumes de águas, denominados de **massas de água**, que apresentam valores de temperatura e salinidade característicos de sua área de formação, trazendo consequências que se refletem no clima, na composição química das águas e, em última instância, na estrutura da flora e da fauna. Dessa maneira, a determinação precisa de temperatura e salinidade é imprescindível para os estudos da formação dessas massas, de seus movimentos e velocidades e das misturas que podem sofrer ao longo de seu deslocamento.

Desde o início das investigações oceânicas, têm-se buscado métodos para coleta de dados que procurem resolver as grandes questões oceanográficas relativas às escalas espaciais e temporais próprias de cada tipo de movimento oceânico. Diversos tipos de instrumentos foram, aos poucos, desenvolvidos, com o intuito de se observar e registrar os fenômenos oceanográficos e caracterizar a estrutura da coluna de água em termos de propriedades físicas, notadamente salinidade e temperatura, e dos movimentos oceânicos. As primeiras medições destas propriedades ficaram restritas à camada superficial com coleta de

água, sendo que a temperatura era medida por termômetros simples e a salinidade determinada por titulação. Aos poucos, foram sendo desenvolvidos termômetros de máxima e mínima e garrafas de amostragem, até se chegar à possibilidade de se obter valores discretos de temperatura e salinidade, isto é, espaçados de dezenas ou mesmo de centenas de metros.

As necessidades navais decorrentes da guerra submarina contribuíram para o desenvolvimento de sensores contínuos de temperatura da água do mar e de perfis de velocidade de propagação do som. A partir deles, chegou-se a registradores que combinam medições contínuas em profundidade, de temperatura e salinidade, e servem de plataforma para sensores de outras propriedades. A instalação desses sensores em veículos rebocados por embarcações abre maiores possibilidades no estudo da distribuição espacial dessas variáveis e de propriedades associadas.

1 Instrumentos de medição ou de coleta

Neste capítulo, serão abordados os instrumentos mais utilizados em cruzeiros de pesquisa para medições de temperatura, salinidade, e direção e velocidade de correntes, levando-se em conta aspectos da evolução histórica desses aparelhos. Antes de se passar a essas abordagens, é importante ter em mente dois conceitos relativos ao desempenho de instrumentos: **acurácia** e **precisão**. Segundo Stewart (2008), acurácia é a diferença entre o valor obtido através de medições e o valor verdadeiro de uma determinada variável. Precisão é a diferença entre medições sucessivas.

As primeiras determinações de temperatura nos oceanos consistiram de medições feitas através de um **termômetro de mercúrio** em amostras superficiais, coletadas com balde. O desenvolvimento de garrafas dotadas de isolamento térmico, para medições em grande profundidade, possibilitou as primeiras evidências de que a capa de água abaixo dos 1.000 m de profundidade era fria, mesmo em regiões tropicais.

A tecnologia empregada nos termômetros utilizados em Oceanografia também evoluiu, passando por **termômetros de máxima e mínima**, até chegar aos **termômetros de inversão**, que começaram a ser construídos em 1874 pela companhia Negretti & Zambra. Esses eram baseados no princípio da reversão descrito por George Aimé, em 1845. O modelo de 1874, que é composto de dois termômetros no mesmo corpo: um principal com dois bulbos que contorna o secundário, o qual ocupa a parte central do instrumento (FIG. 5.1A). Esse modelo foi utilizado na expedição do HMS Challenger, realizada de 1872 a 1876, sendo o primeiro instrumento a determinar de forma acurada a temperatura em grandes profundidades e a reter os valores ao ser trazido para a superfície.

Termômetros de inversão têm uma acurácia que pode atingir $\pm 0,01$ °C, dependendo da escala. A maioria deles utiliza escalas divididas em intervalos de 0,1 °C (EMERY e THOMSON, 1997). A versão mais moderna do termômetro de inversão (FIGS. 5.1B e 5.1E) é constituída, também, de dois termômetros, sendo um para medir a temperatura do mar (termômetro principal) e um menor (termômetro secundário) para registrar a temperatura do ambiente, onde serão feitas as leituras do termômetro principal. As leituras do termômetro secundário são utilizadas para as correções devidas à

dilatação do sistema vidro-mercúrio. O termômetro principal (FIGS. 5.1B e 5.1C) tem dois bulbos, sendo o maior o reservatório de mercúrio e o menor, um tubo de vidro que apresenta uma constrição (FIG. 5.1D), onde a coluna de mercúrio é cortada no momento da inversão, e um giro de 360°, **rabo de porco**, para impedir que qualquer quantidade de mercúrio passe para o restante do tubo após a inversão. A posição de descida é a mesma apresentada na Figura 5.1E.

Ao ser colocado na profundidade escolhida para a determinação da temperatura, espera-se de 3 a 4 minutos para que o aparelho estabilize e, nesse período, a quantidade de mercúrio que passa do bulbo principal para o tubo de vidro é proporcional à temperatura desse local. Na inversão, a coluna é cortada na constrição e todo o mercúrio situado acima dessa, vai em direção ao bulbo menor. O rabo de porco (FIG. 5.1D) impede que o mercúrio do bulbo maior, que agora está acima, passe para o restante do tubo de vidro. Assim, após a inversão, o bulbo menor torna-se a base da escala de leitura, onde os valores aumentam em direção ao bulbo maior. Uma vez que os termômetros estejam no laboratório, espera-se pela estabilização desses para a realização da leitura, a qual é atingida quando os termômetros secundários marcarem a mesma temperatura ambiente do laboratório do navio. A leitura é normalmente feita com o uso de uma lupa, por dois observadores, de forma independente. Eventuais diferenças nas leituras remetem a uma nova rodada.

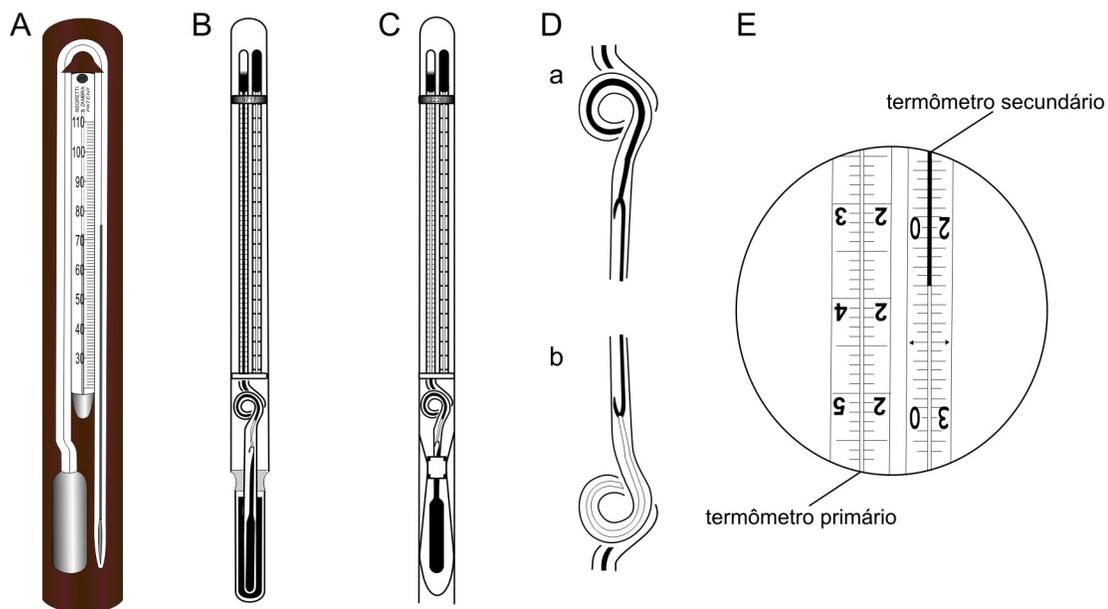


Figura 5.1 Termômetro de inversão: **A**, fabricado em 1874 por Negretti & Zambra; **B**, protegido; **C**, desprotegido; **D**, detalhes do estrangulamento do tubo capilar: **a**, antes; e **b**, depois da reversão; **E**, detalhe do termômetro na posição de descida (**A**, adaptado de www.photolib.noaa.gov; **B-D** de VON ARX, 1962).

Existem dois tipos de termômetros de inversão, o protegido (FIG. 5.1B) e o desprotegido (FIG. 5.1C). Normalmente, ambos são colocados num mesmo suporte constituído de dois protegidos e um desprotegido. O primeiro é totalmente envolvido por uma jaqueta de vidro, que evita o efeito da pressão

hidrostática sobre o bulbo maior; esse termômetro mede somente a temperatura *in situ*. No termômetro desprotegido, o bulbo maior está em contato direto com a água, sofrendo os efeitos da pressão. A diferença de temperatura entre os dois tipos fornece, através de uma equação, a profundidade onde os mesmos foram invertidos, já que a diferença para cada 100 m de coluna de água é de aproximadamente um grau centígrado. Por fim, as leituras feitas pelos termômetros são corrigidas a partir de informações fornecidas num certificado dado pelo fabricante e em função da dilatação do sistema vidro-mercúrio.

Os termômetros de inversão ainda são utilizados em garrafas de coleta de água tipo Nansen ou Niskin e, apesar do desenvolvimento de termômetros de inversão eletrônicos, continuam sendo usados na calibração de instrumentos como o *Conductivity, Temperature and Depth* (CTD) (EMERY e THOMSON, 1997).

Da mesma forma que os termômetros, as **garrafas** para coleta de água também passaram por uma evolução para obtenção de amostras em grandes profundidades (histórico: www.photolib.noaa.gov/brs). Partindo-se de aparelhos isolados termicamente para que a temperatura fosse determinada a bordo, chegou-se às garrafas de inversão que, combinadas com os termômetros de Negretti & Zambra, permitiram que os primeiros perfis verticais de temperatura fossem obtidos. Dois tipos estão entre as mais usadas: a de Nansen e a de Niskin, descritas a seguir, embora existam outros como as de van Dorn e Kammerer.

A **garrafa de Nansen** (FIG. 5.2) foi desenvolvida em 1910 pelo oceanógrafo Fridtjof Nansen. É um dispositivo utilizado para coletar amostras de água do mar em uma determinada profundidade.

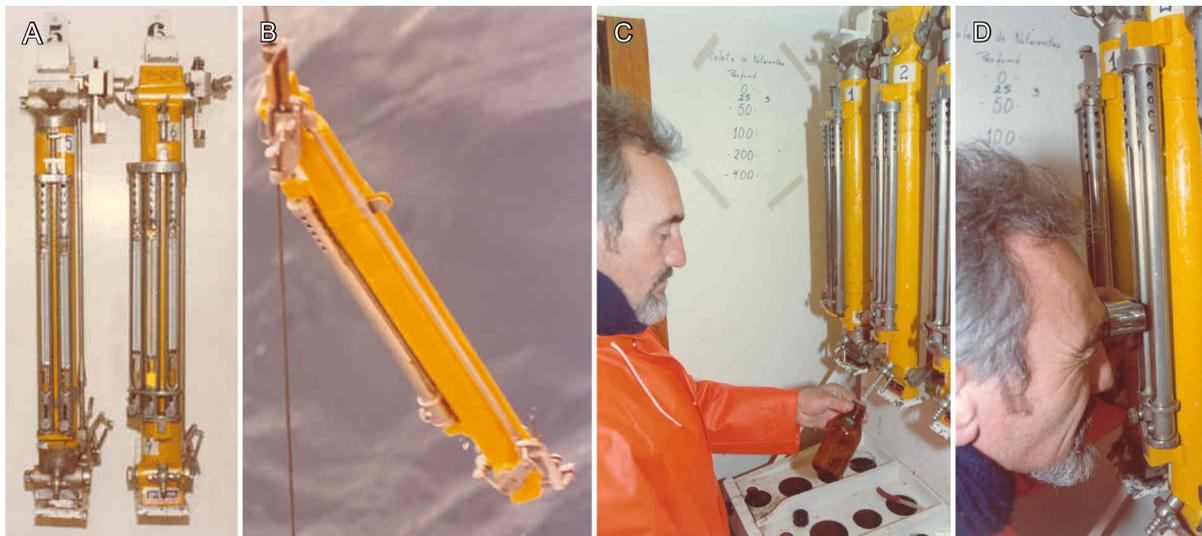


Figura 5.2 Garrafa de Nansen: **A**, com os suportes onde estão os termômetros de inversão; **B**, invertida; **C**, coleta de água; e **D**, observação de temperatura (fotos de Danilo Calazans).

Basicamente, trata-se de um cilindro de metal ou plástico, onde são instalados os suportes para colocação de termômetros de inversão, que é baixado no mar através de um cabo (FIG. 5.3A). A garrafa desce aberta e, ao atingir a profundidade desejada, um peso de latão, chamado mensageiro, é lançado pelo

cabo. Ao atingi-la, o peso dispara um gatilho de um dispositivo de molas, que faz com que inverta sua posição (FIG. 5.3B), girando quase 180° ao longo do cabo e, ao mesmo tempo, feche as válvulas de suas extremidades, retendo a amostra de água (FIG. 5.3C).

Um segundo mensageiro, instalado na parte da garrafa que fica fixa no cabo, pode ser posicionado para ser liberado pelo mecanismo de inversão. Assim, colocando-se várias garrafas de Nansen e mensageiros ao longo de um cabo, é possível coletar amostras em diversas profundidades. Conforme explicado anteriormente, os termômetros de inversão protegidos e desprotegidos permitem a determinação da temperatura na profundidade de inversão da garrafa. Uma das desvantagens das garrafas de Nansen estava no volume de água, que variava de 1,4 a 1,6 litros. No início da década de 1970, esse tipo de amostrador deu lugar à garrafa desenvolvida por Shale Niskin, no final da década de 1960.

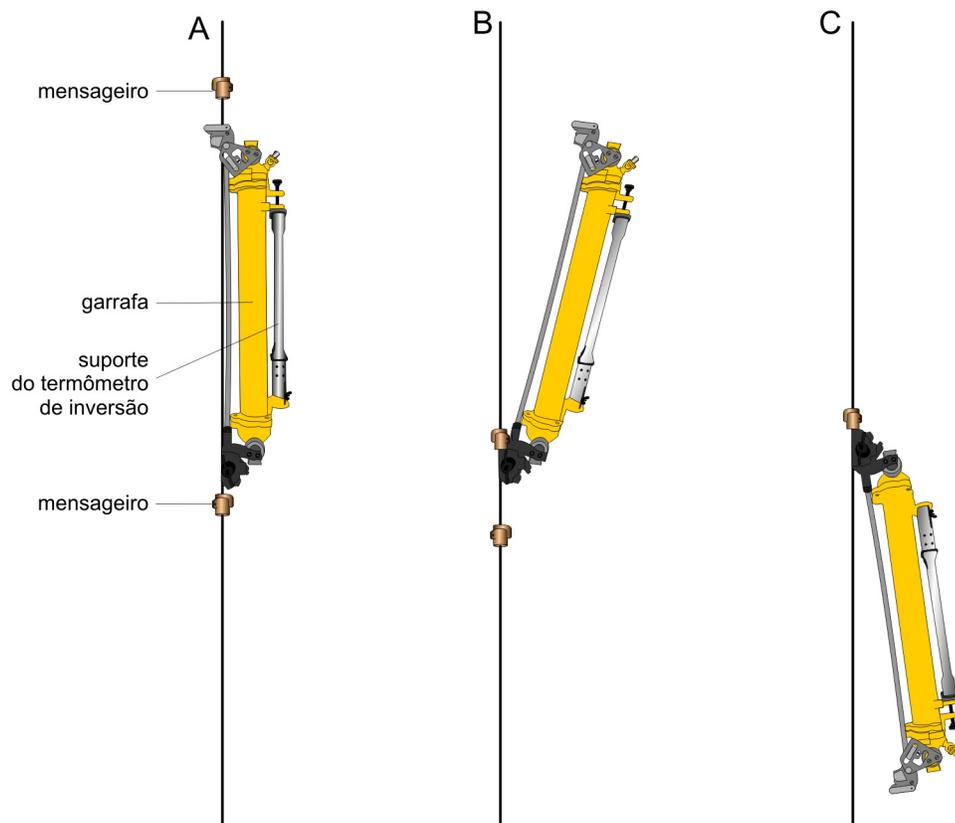


Figura 5.3 Esquema de fechamento de uma garrafa de Nansen. **A**, um mensageiro desce e dispara o mecanismo superior, que se abre liberando a garrafa do cabo. Como essa está fixa pela borboleta da base, ela gira; **B**, liberando o mensageiro, que irá disparar a garrafa seguinte; e **C**, a garrafa está totalmente invertida (adaptado de DIETRICH et al., 1980).

A **garrafa de Niskin** (FIG. 5.4A), de forma semelhante à sua antecessora, é constituída de um cilindro feito de plástico, equipada com uma tampa em cada extremidade, que são tencionadas por um elástico. Diferentemente da garrafa de Nansen, é fixa nas duas extremidades, não havendo possibilidades de inversão (FIG. 5.4B). O fechamento da garrafa ocorre pelo impacto de um mensageiro, que aciona

também o giro de um disco, se necessário, que causa a inversão dos termômetros colocados em suportes de plástico.

Esse modelo apresenta algumas vantagens em relação à de Nansen, tais como: ser de plástico, mais leve e seu volume pode variar de 1,6 L a 30 L – possibilitando um número maior de propriedades a serem medidas. As garrafas de Niskin também podem ser instaladas em sistemas múltiplos de coleta de água (FIG. 5.4C), chamados segundo o fabricante, de *Rosette* (General Oceanics) ou *Carousel* (Sea-Bird Electronics Inc.).

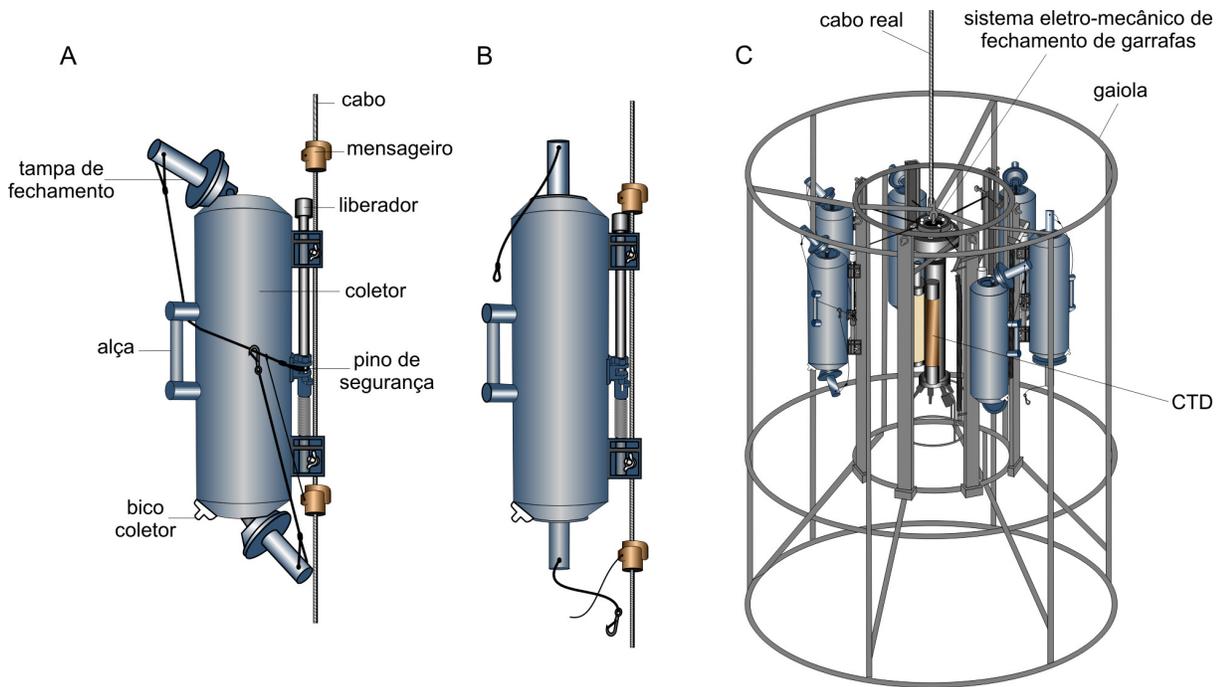


Figura 5.4. Garrafa Niskin de 5 L presa em um cabo. **A**, aberta; **B**, fechada; **C**, sistema múltiplo para coleta de água (adaptado do catálogo da Hydro-Bios).

Modelos mais modernos de garrafas de Niskin podem ser instalados em sistemas automáticos para coleta de água (FIG. 5.4C). Os primeiros desses equipamentos foram desenvolvidos pela General Oceanics Inc. e receberam a denominação de *Rosette*. O nome pode mudar de acordo com o fabricante, mas no Brasil são indistintamente chamados de **Roseta**. Estes sistemas utilizam válvulas, cujo acionamento para o fechamento das garrafas pode ser feito de dois modos: 1) no caso mais direto, esse comando é dado por uma unidade de bordo, fornecida pelo fabricante através de um cabo condutor conectado diretamente à roseta. Assim, o operador, que observa os dados sendo transmitidos para o computador de bordo pelo CTD, pode selecionar as profundidades de fechamento que sejam mais interessantes para o trabalho em andamento; 2) quando a embarcação não apresenta uma estrutura de guincho com cabo condutor, deve-se ter, acoplado ao CTD, uma unidade de fechamento de garrafas que será programada através de um computador. Um programa fornecido pelo fabricante permite que se faça toda a comunicação com esse módulo, selecionando o número de garrafas, as profundidades de fechamento e se esse dar-se-á na descida

ou na subida da roseta. O primeiro sistema que possibilitou esse tipo de procedimento foi desenvolvido pela Sea-Bird Electronics Inc., denominado *Auto Fire Module* (AFM), módulo de autodisparo.

O aparelho conhecido como **CTD** – do inglês, *Conductivity, Temperature and Depth*, é o instrumento-padrão utilizado em Oceanografia para a obtenção de perfis verticais de profundidade, condutividade (salinidade) e temperatura (FIG. 5.5). O primeiro CTD foi desenvolvido pelo oceanógrafo neozelandês Neil Brown, professor emérito do Woods Hole Oceanographic Institute. Hoje, vários fabricantes produzem esse instrumento com precisão variável e com limitações diversas na profundidade máxima atingida. Alguns podem atingir profundidades superiores a 10.000 m em função de possuírem uma carapaça de titânio; outros já são mais limitados, para águas mais rasas (< 600 m).

De acordo com Tomczac (2000), o funcionamento dos CTD baseia-se no princípio de medições elétricas. Uma vez que a resistência de um termômetro de platina altera-se com a temperatura, se for incorporado um oscilador elétrico, a mudança na sua resistência produz uma alteração na frequência desse oscilador, a qual pode ser medida. Some-se a isso o fato de que a condutividade da água do mar pode ser medida a partir de um segundo oscilador e variações na pressão produzem alterações num terceiro oscilador; esse sinal combinado é enviado por cabo condutor ao computador de bordo ou é armazenado na sua memória interna, enquanto o mesmo é baixado ou içado durante a estação oceanográfica. O CTD é dotado de uma bomba que faz a passagem rápida da água pelos sensores, em função da diferença entre as constantes de tempo dos sensores de temperatura e condutividade. O sensor de condutividade é mais lento do que o de temperatura; assim, para evitar que cada sensor meça essas propriedades em diferentes níveis da coluna de água e, por isso, amostrar águas diferentes, fez-se necessário instalar essa bomba. Em instrumentos que não tenham este aparato, o fabricante recomenda utilizar os dados coletados na subida do aparelho.

O CTD tem capacidade para fazer uma leitura contínua de temperatura e condutividade, como função da profundidade, numa taxa de até 30 linhas de dados por segundo. Essa combinação de pares de valores de temperatura e condutividade é transformada pelos programas de processamento fornecidos pelo fabricante, em salinidade e densidade, havendo opções para o cálculo de perfis de velocidade do som ou outras variáveis. Quando se tem a opção de transmissão direta para um computador, essas variáveis aparecem na tela sob a forma de um gráfico, possibilitando uma análise direta da situação durante a estação.

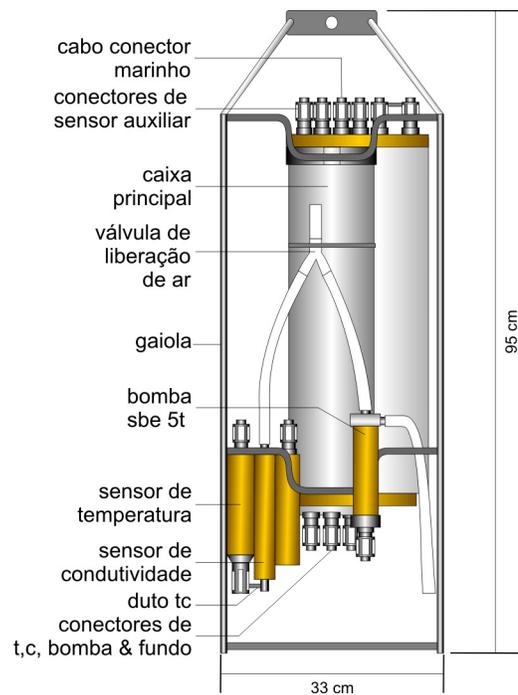


Figura 5.5 CTD SBE 9 *plus* (adaptado do catálogo da Sea-Bird's Electronics Inc.).

Quando não existe a opção de transmissão dos dados em tempo real, a informação fica registrada na memória interna do instrumento, o qual, ao chegar a bordo, é conectado a um computador e a comunicação entre ambos é feita através de um programa fornecido pelo fabricante. O arquivo resultante de uma estação oceanográfica é extraído no formato hexadecimal e, através do programa de conversão, é transformado em um arquivo de texto, com as variáveis medidas, separadas em colunas. Os dados passam por um controle de qualidade, no qual filtros matemáticos são utilizados para a remoção de valores espúrios, gerados por oscilações elétricas no equipamento (*spikes*).

Frequentemente, outros sensores podem ser acoplados ao CTD, tais como: turbidímetros que, quando devidamente calibrados, podem ser usados para perfilar a concentração de sólidos em suspensão na coluna de água; oxímetros; fluorímetros, utilizados para a determinação da concentração de clorofila- α ; medidores de pH; e sensores que determinam perfis de nutrientes. Perfiladores acústicos de correntes por método Doppler também podem utilizar a roseta como suporte e a comunicação com o computador de bordo é feita pelo cabo condutor.

Além de ser instalado em cabos para obtenção de perfis verticais, o CTD pode ser instalado em veículos rebocados e, com isso, permitir a obtenção de um perfil dessas propriedades ao longo da derrota seguida pela embarcação.

BT é a sigla para um aparelho chamado **batitermógrafo**, ou seja, um registrador de temperatura em profundidade. O BT foi desenvolvido para atender exigências ligadas à guerra submarina e, posteriormente, adaptado à pesquisa oceanográfica. Para obter o perfil vertical de velocidade do som, função da temperatura, da salinidade e da pressão, era necessário um equipamento que registrasse, de

forma rápida, um perfil vertical de temperatura. Assim, o primeiro tipo de BT, idealizado pelo sul-africano Athelston Spilhaus, era totalmente mecânico, com o registro feito por uma agulha de metal em uma lâmina de vidro impregnada de uma substância dourada. Os valores eram lidos contra uma grade impressa em um visor calibrado para cada BT fabricado. A pouca precisão e o fato de requerer reduções da velocidade da embarcação para dois ou três nós, fizeram que esse equipamento entrasse em desuso tendo sido substituído, a partir do início da década de 1970, pelo XBT.

O **XBT**, sigla em inglês para *Expendable Bathythermograph*, ou batitermógrafo descartável, foi desenvolvido no final da década de 1960, pela Sippican Corporation, hoje Lockheed Martin Sippican. Assim como seu equivalente mecânico, é utilizado na obtenção de dados de temperatura da camada superior do oceano, sem a necessidade de reduções de velocidade da embarcação utilizada no lançamento. Esse instrumento é uma sonda com formato de torpedo (FIG. 5.6), cujo princípio de funcionamento é baseado na relação negativa existente entre a resistência elétrica de um termistor de metal e a temperatura do meio onde o sensor se propaga. O torpedo contém uma bobina de cobre na parte inferior (bobina do sensor) e, na parte superior, está a bobina que se desenrola no tubo. O pino de retenção, em forma de gancho, colocado no meio do tubo, tem que ser retirado para que o torpedo caia na água. Os dados são transmitidos para o computador através de um fio de cobre bastante fino, que se desenrola de duas bobinas, uma situada no torpedo e outra no tubo que contém o sensor e que é conectado, através de um lançador, a um computador. O fato do fio de cobre se desenrolar a partir de duas bobinas com giros em sentidos opostos é o que garante a queda livre do torpedo e a base para a determinação da profundidade do sensor.

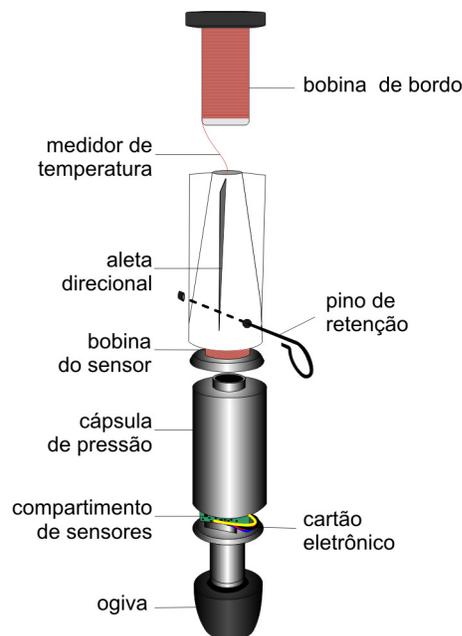


Figura. 5.6 Batitermógrafo descartável (XBT) (adaptado de MARCELLI et al., 2007).

De acordo com o fabricante, a acurácia do equipamento é de $\pm 0,1$ °C. O XBT, por isso tem sido usado de forma regular em navios (plataformas) de oportunidade, possibilitando a repetição de secções

transoceânicas de temperatura em linhas mercantes regulares. Assim, a partir da curva TS para a região de interesse, a salinidade pode ser calculada, o que permite avaliar fluxos através da equação do equilíbrio geostrófico. Miranda (1982) e Caspel (2009) estabeleceram os polinômios para cálculos de salinidade a partir de temperatura para as águas da região Sudeste do Brasil.

O ADCP – do inglês, *Acoustic Doppler Current Profiler* é um perfilador acústico (FIG. 5.7) que mede a direção e a velocidade de correntes através da transmissão de um sinal sonoro de alta frequência, que é refletido de volta para o aparelho pelas partículas em suspensão na água. A velocidade e a direção são determinadas pelo desvio Doppler da frequência do sinal que retorna ao aparelho (EMERY e THOMSON, 1997). Devido ao efeito Doppler, a onda sonora transmitida pelo transdutor, ao ser refletida pelas partículas, sofre uma ligeira mudança de frequência, proporcional à velocidade com que as partículas se afastam ou se aproximam do instrumento, diminuindo ou aumentando a frequência. O ADCP utiliza-se dessa diferença de frequência para calcular a velocidade das partículas em intervalos de profundidade, denominados células, cujas dimensões são determinadas pelo operador, no momento de regular o aparelho. A suposição básica desse método é que as partículas em suspensão deslocam-se com a mesma velocidade do fluxo da água.

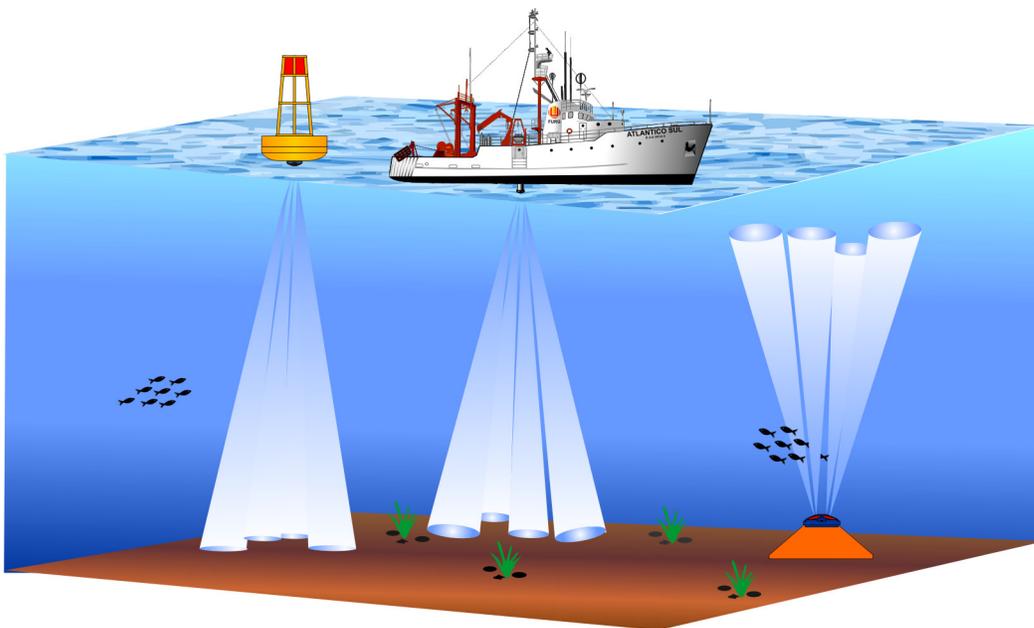


Figura 5.7 Perfiladores acústicos de correntes (ADCPs) em diferentes tipos de atividades: A, numa boia; B, num navio e; C, no fundo.

De forma bem simples e geral, a velocidade é dada por:

$$F_D = -2 F_s (V / c)$$

em que:

V é a velocidade relativa entre fonte e alvo

C é a velocidade de propagação do som

F_s é a frequência de transmissão do som

F_D é a mudança na frequência de transmissão (Efeito Doppler)

Os perfiladores acústicos por Doppler funcionam transmitindo disparos (*pings*) sonoros na água, através de transdutores cerâmicos em uma frequência constante e são divididos de acordo com a frequência do som emitido, que é o fator predominante no alcance máximo do instrumento – operam na faixa de 75 kHz até 3,0 MHz. Aparelhos de 75 kHz medem correntes até 500 m de profundidade; os de 300 kHz atingem profundidades em torno de 150 m; enquanto os de 1.200 a 1.500 kHz operam até aproximadamente 20 metros. A finalidade principal, e a maior vantagem desse tipo de instrumento, é o fato de possibilitar a obtenção de perfis verticais de velocidade de correntes. Os produtos principais dependem do modo de instalação do perfilador acústico: **estático** quando é instalado em pilares de pontes, paredões, margens de rio, lagos, canais, ou ainda fundeados os produtos são séries temporais de nível (sensor de pressão), e velocidade e direção de correntes em vários níveis; **dinâmico** quando é instalado no casco ou lateral de embarcações, ou inserido em flutuadores e rebocado, os produtos são perfis verticais, transversais ou horizontais de velocidade de correntes. Para áreas profundas, utiliza-se o *Lowered Acoustic Doppler Current Profilers (L-ADCP)*, com o perfilador instalado numa roseta.

Quando instalado no casco da embarcação ou em flutuadores rebocados, o perfilador precisa ser dotado de um sistema rastreador de fundo (*bottom tracking*), para descontar a velocidade da embarcação ou utilizar um GPS acoplado ao computador de aquisição de dados. Na Figura 5.8, são mostrados um perfilador instalado em um flutuador, sendo rebocado por embarcação e o exemplo de um perfil transversal de velocidade longitudinal de correntes medidas no canal de entrada da Lagoa dos Patos. No caso de ser instalado em embarcações, como navios oceanográficos, é importante que o perfilador esteja conectado a um complexo sistema de posicionamento para um perfeito controle dos movimentos da embarcação (caturro e movimento de través – *pitch and roll*).

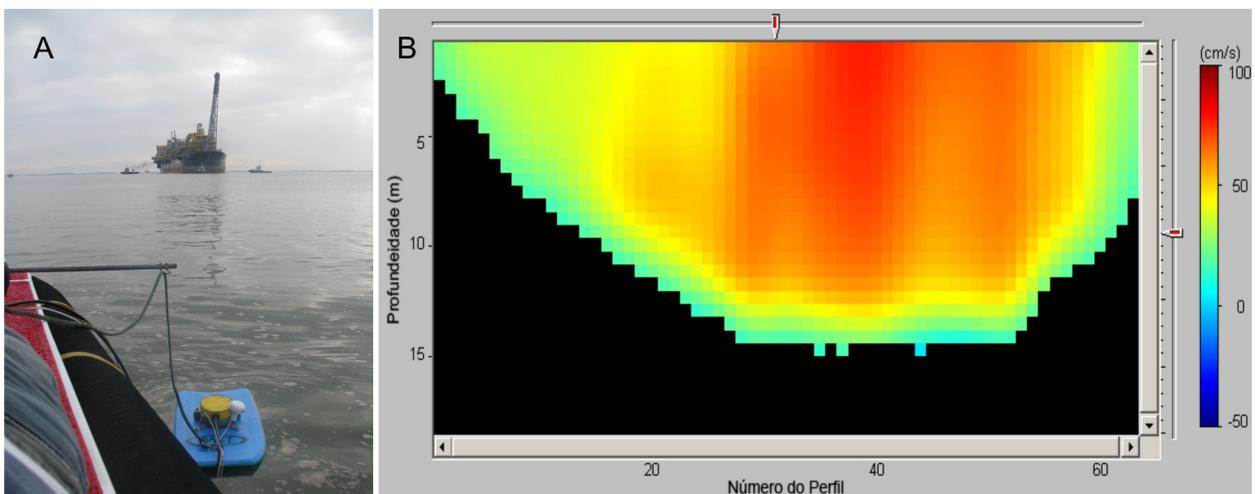


Figura 5.8 Perfilador acústico de correntes: **A**, instalado em um flutuador; e **B**, perfil transversal do componente longitudinal ao canal de entrada da Lagoa dos Patos (fotos de Osmar Möller Jr.).

Na Figura 5.9, obtida de Marin (2009), tem-se um exemplo dos dados tratados de um ADCP RDI, de 75 kHz, instalado no casco do Navio Oceanográfico (N/Oc) Antares, obtido durante a Comissão Nordeste I. Em áreas muito profundas, utiliza-se o L-ADCP, que pode ser instalado na roseta e, usando a conexão com o CTD, ser baixado por um cabo a partir da superfície. O L-ADCP usa como referencial o posicionamento dado por um GPS acoplado ao computador de bordo e possibilita que se obtenham perfis verticais de velocidade e direção de correntes. O tratamento dos dados é realizado em laboratório e, portanto, não será abordado neste capítulo.

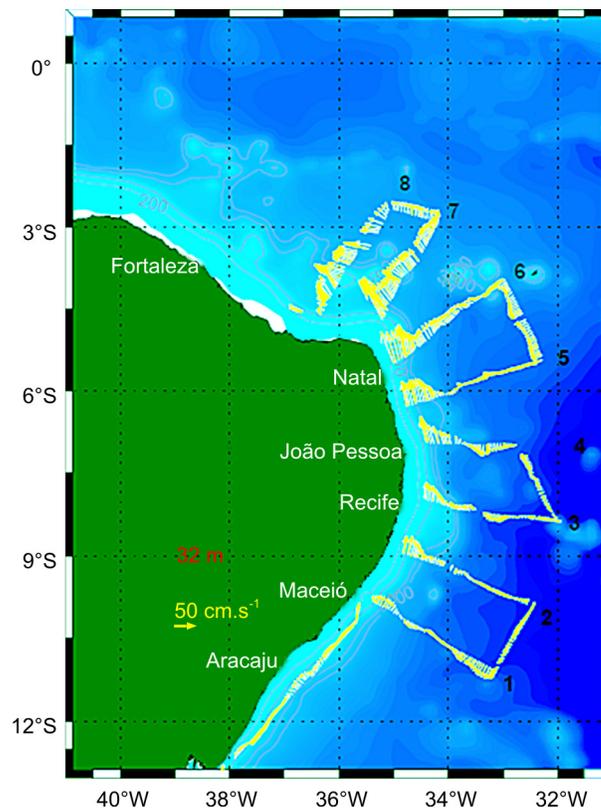


Figura 5.9 Vetores de velocidade de correntes para o nível de 32 m de profundidade através da análise dos dados do ADCP instalado no N/Oc Antares durante a Operação Nordeste I (fonte: MARIN, 2009).

O **termossalinógrafo** (T-S) é um instrumento essencial em cruzeiros oceanográficos, pois possibilita que sejam registrados, de forma contínua, valores de temperatura e salinidade superficiais. O termossalinógrafo (FIG. 5.10) é instalado na rede de água do mar bombeada para uso no sistema de refrigeração dos motores da embarcação. Normalmente, o ponto de captação está situado no casco, a alguns metros abaixo da superfície, e seu princípio de funcionamento é o mesmo dos sensores termohalinos do CTD. O T-S deve estar conectado ao sistema de posicionamento da embarcação e a taxa de aquisição de dados pode ser regulada, fato que garante a vantagem de se obterem dados praticamente contínuos de temperatura e salinidade, enquanto a embarcação se desloca, os quais são importantes no momento de se interpolar as informações de superfície obtidas através de estações oceanográficas distantes, por vezes, de mais de 10 mn (18 km).

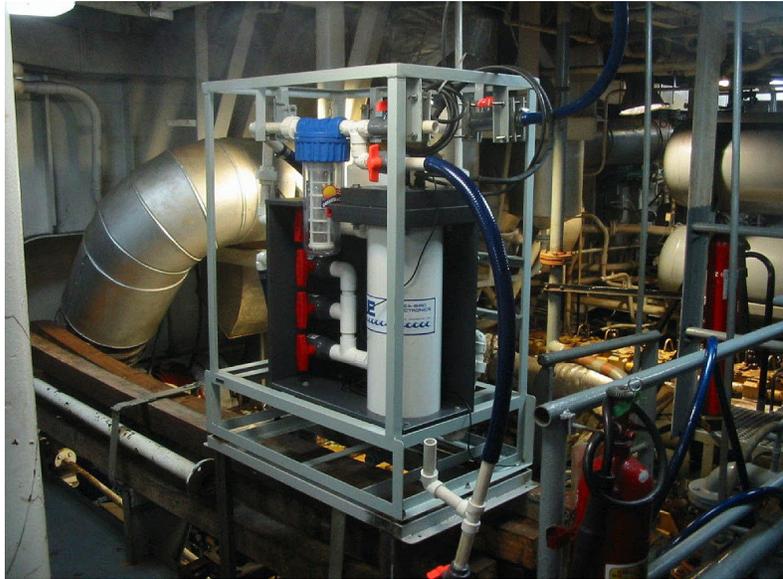


Figura 5.10 Termossalinógrafo Sea-Bird instalado na praça de máquinas do ARA Puerto Deseado durante o cruzeiro do projeto La Plata de inverno (foto de Carlos Balestrini).

Os primeiros **salinômetros de laboratório** foram desenvolvidos para determinar a salinidade das amostras de água coletadas por garrafas. Eram instrumentos que mediam salinidade através da determinação da chamada razão de condutividade (R_{15}) determinada para uma temperatura ambiental de 15 °C. Assim,

$$R_{15} = \frac{C_{5,15,0}}{C_{35,15,0}}$$

em que:

$C_{5,15,0}$ é a condutividade de uma amostra de água com salinidade 5, temperatura de 15 °C e pressão ao nível do mar

$C_{35,15,0}$ é a condutividade de uma amostra de água padrão tendo salinidade de 35, temperatura de 15 °C e nas mesmas condições de pressão

O valor de $C_{35,15,0}$ é 1,0 e o salinômetro apontava diretamente para o valor de R_{15} , após a calibração. A chamada água padrão era vendida em ampolas, por um centro oceanográfico determinado pela Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI), para calibrar o salinômetro utilizado em cruzeiros; através de um polinômio, o valor de R_{15} era transformado em salinidade. A partir de 1978, com a alteração do padrão para uma solução de KCl com concentração conhecida, trabalha-se com K_{15} , que guarda as mesmas proporções com a definição de R_{15} .

A partir da adoção de registradores tipo CTD, os salinômetros tornaram-se referência para calibração desses instrumentos, estando os seguintes tipos desses aparelhos disponíveis no mercado: o modelo RS10 da Beckman e o chamado Autosal (FIG. 5.11) desenvolvido pela Guildline. O princípio de

funcionamento de ambos é descrito por Emery e Thomson (1997), e Muller (1999). Pela maior precisão e confiabilidade, o Autosal acabou tornando-se o equipamento padrão na determinação de salinidade, para fins de calibração de CTDs.



Figura 5.11 Autosal Guildline instalado no laboratório do ARA Puerto Deseado durante o cruzeiro do projeto La Plata de inverno (foto de Carlos Balestrini).

2 Estações oceanográficas

A realização de estações oceanográficas é a base de um cruzeiro de pesquisa. O número de estações, a forma dos perfis e os instrumentos a serem utilizados devem ser determinados no planejamento do cruzeiro, com a finalidade de responder às principais questões científicas, respeitando também eventuais limitações orçamentárias, como já discutido no Capítulo 1. Na Figura 5.12, tem-se o exemplo do cruzeiro oceanográfico de verão do Projeto *La Plata* com 90 estações (MÖLLER e PIOLA, 2004), realizado em 15 dias entre Mar del Plata (Argentina) e Itajaí (Bombinhas/SC). Todas as atividades realizadas em cada estação estão mencionadas na legenda superior da Figura.

O fato de essa área de mais de 1.000 km de extensão ter sido amostrada em tão pouco tempo levamos à questão da sinopticidade, ou seja, à cobertura de uma região no menor tempo possível, para que se tenha um instantâneo das condições oceanográficas para aquele período. Pode-se dizer que, nessa condição, o cruzeiro anteriormente descrito cumpriu com esse requisito, sendo cada propriedade observada e sua distribuição espacial analisada em uma razão quase sinóptica. Em cruzeiros muito longos, variações na direção e velocidade dos ventos, por exemplo, podem perturbar de tal maneira as condições oceanográficas, que se torna difícil estabelecer uma condição média representativa de uma estação do ano.

O procedimento com as estações oceanográficas foi sempre o mesmo durante todo o cruzeiro. Em termos da embarcação, normalmente antes da parada dos motores para o início das coletas, o barco é orientado a dar o bordo – onde está situado o guincho oceanográfico – para o vento, evitando a deriva sobre o cabo. No caso do N/Oc Antares, um arco rebatível de popa (*A-frame*) altera essa situação. Após a

parada da embarcação, são iniciados os procedimentos para o lançamento do sistema roseta/CTD, com a preparação das garrafas e a comunicação entre computador e esse sistema. Também são obtidas todas as informações relativas ao posicionamento da embarcação – latitude e longitude – e a hora da estação (Hora Média de Greenwich, HMG), para evitar problemas com trocas de horários, como o horário de verão, profundidade, velocidade e direção do vento, temperatura do ar e da água, salinidade, turbidez, entre outras, que vão para uma planilha de registro (ANEXOS 1, 2 e 3).

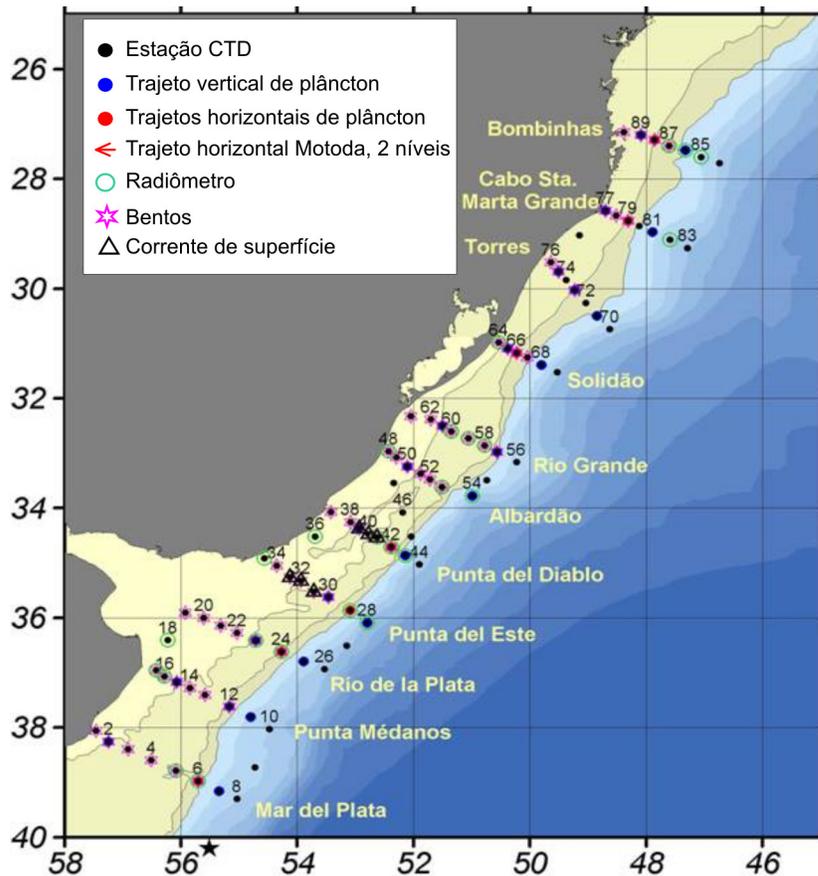


Figura 5.12 Esquema de estações do cruzeiro de verão do Projeto *La Plata*, realizado a bordo do N/Oc Antares, da Marinha do Brasil (adaptado de MÖLLER e PIOLA, 2004).

Estando o sistema CTD/roseta pronto, esse é colocado na água a poucos metros da superfície e fica em estabilização por dois a três minutos. Isso faz que os sensores se equilibrem com as propriedades da água e dá o tempo necessário para que a bomba de água do instrumento comece a funcionar. Nos sistemas onde há comunicação direta com um computador, uma mensagem aparece na tela, informando o *status* da bomba; normalmente, esse início leva em torno de um minuto. Passado esse tempo, o sistema é arriado a uma velocidade da ordem de 1 m.s^{-1} até o nível mais próximo do fundo. Quando se conta com cabo eletromecânico, é possível instalar um alarme que avisa quando o aparelho está a uma determinada distância do fundo, ou um transdutor que forneça diretamente a distância da roseta ao fundo. Quando não se dispõe dessa possibilidade, pode-se trabalhar com uma distância de 5 m do fundo, dependendo do estado do mar, como segurança para evitar toques e entrada de sedimentos na bomba e nos sensores. Uma

polia hodométrica é necessária para medir a quantidade de cabo lançada. O aparelho é içado para bordo na mesma velocidade de descida (na ordem de 1 m.s^{-1}), sendo retirado da água e desligado.

Se os dados forem transmitidos em tempo real, tem início o processamento dos mesmos. Se não, é feita uma comunicação entre o CTD/AFM e os dados são descarregados através de um programa fornecido pelo fabricante. Inicialmente eles são transmitidos num formato hexadecimal e convertidos para texto (.cnv) por outro utilitário. Nesse caso, tendo sido verificado que os dados estão preliminarmente corretos e a profundidade máxima desejada tenha sido atingida, pode-se iniciar outra atividade da estação, ou liberar o navio para seguir viagem. Iniciada a navegação, a fase de processamento dos dados pode ser retomada e, nesse caso, a recomendação é a da utilização de filtros para a remoção de eventuais picos. Um exemplo de perfis antes e depois de filtragem é dado na Figura 5.13, com dados de temperatura e salinidade medidos na Plataforma do Rio Grande do Sul, durante o Cruzeiro AM 11 do Projeto Amazônia Azul: A Experiência Embarcada.

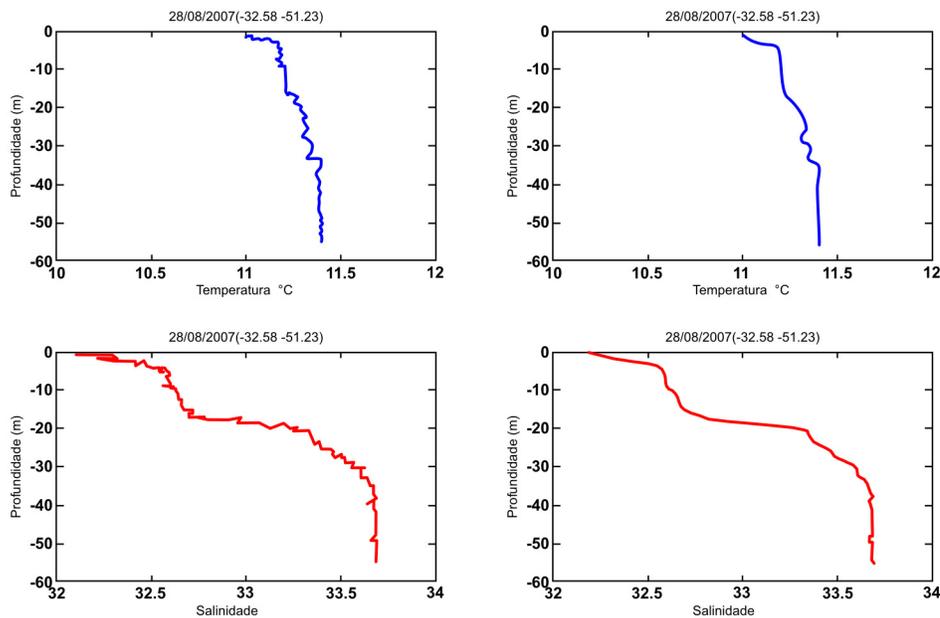


Figura 5.13 Perfis verticais de temperatura e salinidade antes (painéis à esquerda) e depois (painéis à direita) da aplicação de filtros (fonte: Osmar Möller Jr.).

O processamento individual de cada estação, após a aplicação de filtro, leva a uma análise da distribuição de densidade para verificação de eventuais erros de medidas que podem gerar situações irreais de instabilidade, ou seja, águas de maior densidade sobre águas menos densas. Após essa fase, os dados estão prontos para serem analisados por vários métodos, entre os quais estão: confecção de diagramas de distribuição; análises de massas de água através dos clássicos diagramas TS ou TSV; análise do percentual de mistura com os métodos propostos por Mamayev (1975); e cálculos de velocidade geostrófica através do método dinâmico detalhado por Fomin (1964). Na literatura, há um farto material com exemplos dessas aplicações e, por essa razão, não são detalhadas aqui. Alguns desses métodos, sobretudo os ligados ao diagrama TS, foram desenvolvidos para dados coletados abaixo da camada de mistura (~100 m de

profundidade), onde temperatura e salinidade são consideradas como propriedades conservativas. Nesse caso, as variações são ligadas somente à mistura entre águas e não a processos externos como radiação solar, evaporação ou precipitação, que atuam na camada mais superficial do oceano.

É importante que todo o cuidado deve ser tomado na parte de geração de diagramas de distribuição de propriedades, processo que envolve interpolação de dados; para isso, existe uma gama de programas para computador e de métodos de interpolação, que podem trazer resultados conflitantes ou a geração de feições irreais, se determinados cuidados não forem tomados. Um deles é o do pesquisador ter a sua própria interpretação dos dados e regular seu programa de interpolação até que esse reproduza a mesma situação. Normalmente, programas de interpolação são elaborados para trabalhar com uma grade de dados regularmente espaçada e esse não é o caso de um cruzeiro oceanográfico, conforme pode ser visto na Figura 5.12.

Como recomendação final, dados oceanográficos têm um custo altíssimo, em função de envolverem uma estrutura de instrumentos sofisticados, para que possam ser coletados; por isso, devem ser muito bem tratados e utilizados ao limite. Além disso, devem ser armazenados e disponibilizados em um banco de dados independente, para que possam ser utilizados por outros pesquisadores. No Brasil, o Banco Nacional de Dados Oceanográficos, do Centro de Hidrografia da Marinha, é o órgão responsável por essa atividade.

Referências bibliográficas

- CASPEL, M.R.; MATA, M.M.; CIRANO, M. Sobre a relação TS na porção central do Atlântico sudoeste: uma contribuição para o estudo da variabilidade oceânica no entorno da cadeia submarina Vitória-Trindade. **Atlântica**, Rio Grande, v. 32, n. 1, p. 95-110, 2010.
- EMERY, W.J.; THOMSON, R.E. **Data analysis methods in physical oceanography**. New York: Pergamon, 1997.
- FOMIN, I.M. **The dynamic method in oceanography**. Amsterdam: Elsevier, 1964. (Elsevier Oceanographic Series; 2)
- MAMAYEV, O.J. **Temperature-salinity analysis of world ocean waters**. Amsterdam: Elsevier, 1975. (Elsevier Oceanographic Series; 11)
- MARCELLI, M.; DI MAIO, A.; DONIS, D.; MAINARDI, U.; MANZELLA, G.M.R. Development of a new expendable probe for the study of pelagic ecosystems from voluntary observing ships. **Ocean science**, Germany, v.3, p. 311-320, 2007.
- MARIN, F.O. **A subcorrente norte do Brasil ao largo da costa do nordeste**. 115 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia), Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 2009.
- MIRANDA, L.B. **Análise de massas de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) a Ilha de São Sebastião**. 123 f. Tese de Livre-Docência, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 1982.
- MÖLLER, O.O.; PIOLA, A. R. **The Plata summer cruise 2004**. Technical Report, 2004.

- MULLER, J.T. Determination of salinity. In: GRASSHOFF, K.; KREMLING, K.; EHRHARDT, M. (Eds.). **Methods of sea water analysis**. Toronto: Wiley-VHC, 1999.
- STEWART, R. **Introduction to physical oceanography**. S.l.: s.n., 2008. Disponível em < <http://oceanworld.tamu.edu> >. Acesso em: 12 de maio de 2009.
- TOMCZAK, M. **Introduction to physical oceanography**. S.l.: s.n., 2000. Disponível em < <http://es.flinders.edu.au> >. Acesso em: 10 de maio de 2009.
- VON ARX, W.S. **An introduction to physical oceanography**. Reading, MA: Addison-Wesley, 1962.