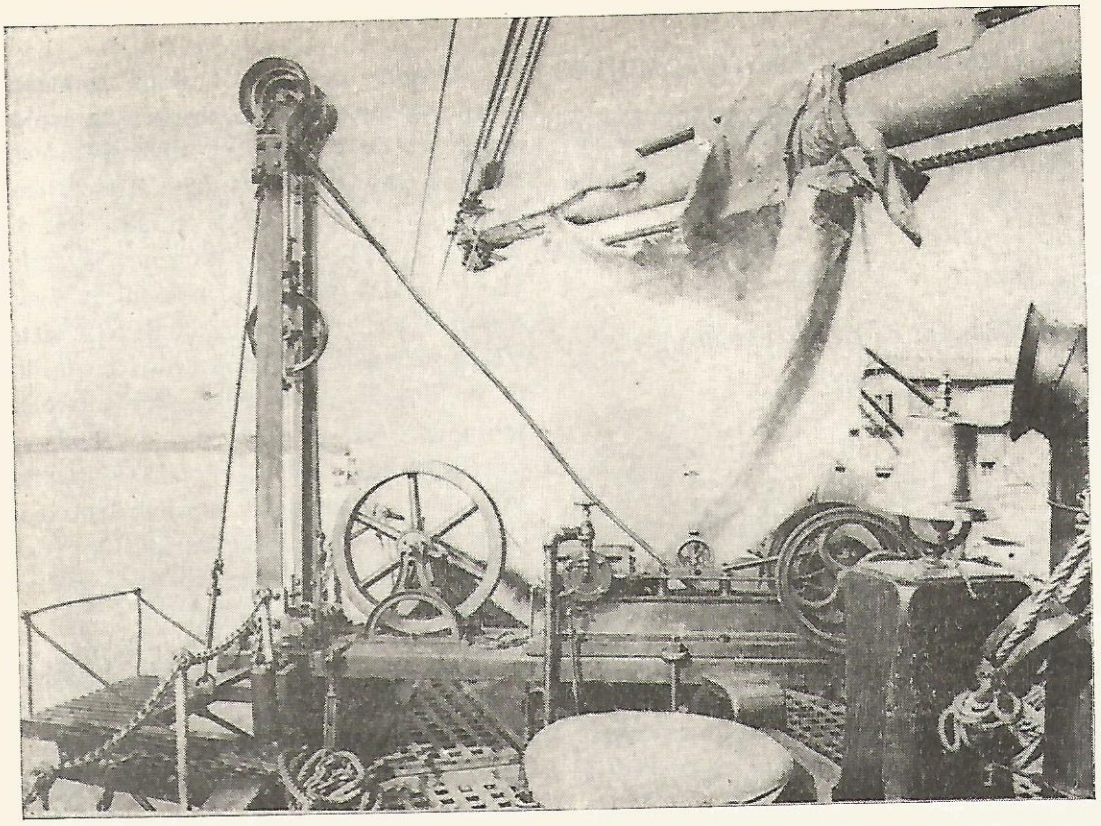


UMA BREVE HISTÓRIA DOS INSTRUMENTOS OCEANOGRÁFICOS*

ANITA MCCONNELL

* N. T. — Baseada em quatro palestras proferidas no Serviço de Documentação Geral da Marinha, em agosto de 1979, fundamentadas em notas de aula da Professora Anita McConnell. Em se tratando de notas de aula, observa-se, no texto original em inglês, que não houve preocupação de estilo e forma, havendo o emprego indiscriminado das formas de tratamento (ora primeira pessoa do singular, ora do plural, ora impessoal) e dos tempos de verbo (pretérito perfeito e pretérito imperfeito, notadamente). A tradução evitou desviar-se do trabalho original e manteve as mesmas características quanto aos tempos de verbo e formas de tratamento. Muitos termos náuticos, hidrográficos e oceanográficos foram traduzidos de acordo com a moderna terminologia em português adotada na Marinha Brasileira para facilitar a compreensão dos leitores. Foram traduzidas as legendas das figuras e, quando necessário ao entendimento, também os textos e detalhes nelas assinalados.

OS PRIMEIROS DESENVOLVIMENTOS E AS VIAGENS AO ÁRTICO DA MARINHA BRITÂNICA (1660-1925)

Os primórdios da ciência marinha

Não estou pretendendo, neste breve relato, dar a história completa dos instrumentos oceanográficos. Vou focalizar os progressos e recursos e compará-los às suas origens históricas. Espero mostrar por que, algumas vezes, foram ignoradas boas idéias enquanto que em outras ocasiões o progresso foi rápido. Devemos considerar os aspectos técnicos e observar como o progresso foi interrompido pela guerra ou acelerado pela demanda política e comercial. Teremos que considerar a totalidade da comunidade científica e perguntar onde esta comunidade estabeleceu suas prioridades e como procedeu para alcançá-las.

A palavra "Oceanografia" foi cunhada por Dittmar, em 1880. Até então, os cientistas marinhos julgavam-se a si mesmos como filósofos naturais, químicos ou zoólogos, com um interesse especial pelo mar. Os processos oceânicos são tão diversificados que hoje o tema é, geralmente, subdividido: a Oceanografia Física preocupa-se com ondas, correntes e os movimentos da água; a Oceanografia Química lida com os constituintes químicos e as reações que ocorrem dentro e entre a água e os sedimentos do fundo do mar; a Oceanografia Geológica lida com estruturas e processos no fundo do mar e nas rochas subjacentes. A Biologia Marinha encampa todas as formas de vida no mar.

Quando os oceanos ainda permaneciam grandemente desconhecidos, a exploração era de natureza generalizada e este relato reflete aquela situação. Descreverei as sondas que mediram a profundidade da água e coletavam os sedimentos superficiais; garrafas projetadas para coletar água subsuperficial, termômetros utilizados dentro do mar e os correntômetros para medida da direção e velocidade das correntes subsuperficiais. Estes eram, na realidade, os equipamentos do oceanógrafo físico, mas os mesmos instrumentos serviram aos biólogos marinhos em complemento às redes e dragas que desenvolveram para coletar plantas e animais.

Desde os tempos mais remotos, os homens navegaram através dos oceanos, que cobrem 70% do nosso globo, levando suas famílias e rebanhos para colonizar, até mesmo, as ilhas mais distantes dos continentes. Marinheiros, exploradores e pescadores observaram as condições da superfície do mar e de suas margens sujeitas à ação da maré. Este conhecimento era, quase sempre, um segredo muito bem guardado por motivos comerciais. O conhecimento da profundidade dos mares rasos e da natureza do fundo permitiu aos navegadores evitar encalhes, bem como achar ancoradouros seguros e bons locais de pesca. Sobre as profundezas mais além e sobre a natureza das grandes profundidades, eles somente podiam especular. Suas cartas podiam mostrar algumas sondagens ao largo, mas a extensão do mar aberto mostrava apenas uma rosa-dos-ventos ou representações daquelas criaturas que se pensava habitarem as profundezas insondáveis (figura 1).

Para o capitão de um navio o mar é, primeiramente, uma *superfície*. Portanto, suas habilidades são aquelas da Navegação e de suas artes irmãs: Astronomia e Hidrografia. Quando, durante a Revolução Científica do século 17, surgiu um interesse pe-



Fig. 1 — Mapa do Mar da Noruega, final do século XVI.

las ciências marinhas, o equipamento disponível para investigar as condições do mar era aquele usado pelos navegadores e hidrógrafos: a linha de sondagem e o odômetro do navio. Os cientistas tomaram emprestado aos laboratórios químicos de terra, os termômetros e higrômetros para testar a água do mar. Logo tornou-se evidente que a sonda de chumbo e o termômetro não trabalhavam satisfatoriamente em água profunda, devido a razões que irei explicar, mas que, naquela época, não eram entendidas. Não havia meios de se coletar água, para análise, abaixo da superfície nem de se medir as correntes subsuperficiais.

Na França, o Observatório de Paris foi fundado em 1667, e começaram ativamente os levantamentos na terra e no mar. Estes foram ampliados na busca do conhecimento sobre toda a Terra. Mas naqueles dias a Terra era ainda bastante desconhecida. Muita coisa permanecia inexplorada ou não descoberta, mesmo ao alcance da mão. Na Inglaterra, uma pequena mas ambiciosa comunidade, dedicada à investigação, organizou-se para formar a Real Sociedade, que recebeu o Alvará Real em 1662. Seu secretário, Henry Oldenburg, deu início à publicação do *Philosophical Transactions* em 1966, no mesmo ano em que apareceu o *Journal des Sçavans,* francês. Nas páginas do *Philosophical Transactions* vemos, pela primeira vez, uma abordagem séria para o estudo do mar profundo, suas profundezas, temperaturas, correntes e a composição química de suas águas. Os primeiros instrumentos projetados especificamente para este trabalho datam daquele período.

Contudo, mesmo sem instrumentos, muito poderia ter sido descoberto sobre o mar, formulando-se as perguntas certas. O químico Robert Boyle (1627-1691) publicou um pequeno livro em 1671 [1] que inclui um capítulo sobre a temperatura do mar e outro sobre o fundo do mar. Boyle era um homem de terra, mas conversava com marinheiros e mergulhadores. Naquele tempo havia duas opiniões sobre a temperatura dentro do mar. Uma sugeria que as profundezas eram tão afastadas do calor do Sol, que elas deviam ser congeladas. A outra era que o fundo do mar, estando próximo ao centro da Terra, devia ser aquecido pelo interior clástico da Terra.

Boyle achava que as camadas superiores do mar eram geralmente aquecidas pelo Sol, embora, em certas áreas, tais como aquelas ao longo da costa da América do Norte, águas quentes e frias eram encontradas na mesma latitude. Disseram-lhe que as águas mais profundas eram sempre frias, mesmo nos trópicos. Ele foi capaz de concluir, também, que o fundo do mar não era uma bacia lisa, mas que possuía uma topografia tão variada quanto a da superfície terrestre.

Quando a Real Sociedade foi fundada, seus membros contrataram Robert Hooke (1635-1703) como curador de pesquisas. Sua tarefa era a de fabricar os equipamentos que os membros da Sociedade necessitavam para fazer suas investigações. Hooke não era um inventor, mas tinha lido muitos livros e era capaz de, com a ajuda de um fabricante de instrumentos, transformar idéias antigas e sugestões em aparelhos práticos. Ele é lembrado agora pelo seu microscópio e barômetro, bem como pelas sondas e amostradores que projetou para uso no mar.

Existe um desenho feito pelo próprio Hooke nos arquivos da Real Sociedade, datado de 1663.[2] Ele mostra os instrumentos que estão ilustrados na figura 2 e que foi publicada na *Philosophical Transactions* de 1666.[3] À esquerda está o balde para água ou amostrador, que consiste em uma caixa de madeira com dobradiça nas tampas, montada numa armação de ferro simples, lastrada para operar verticalmente. Conforme a caixa era arriada, o fluxo da água mantinha as tampas abertas. Quando ela era içada, elas se fechavam. Observa-se que, a não ser que o amostrador fosse içado lentamente, as tampas reabririam, pois não há meios de selá-las.

À direita da ilustração está a sonda de Hooke. Ela é baseada nas descrições que Hooke lera em livros anteriores. A gravura está reproduzida incorretamente aqui, pois o gancho E deveria estar dentro da volta B. No topo há um flutuador de madeira; embaixo existe pedra ou chumbada, de contrapeso. Essa sonda deveria ser jogada no mar sem cabo. Ela ia até o fundo e lá o peso era solto por ação de mola. O flutuador retornava sozinho à superfície.

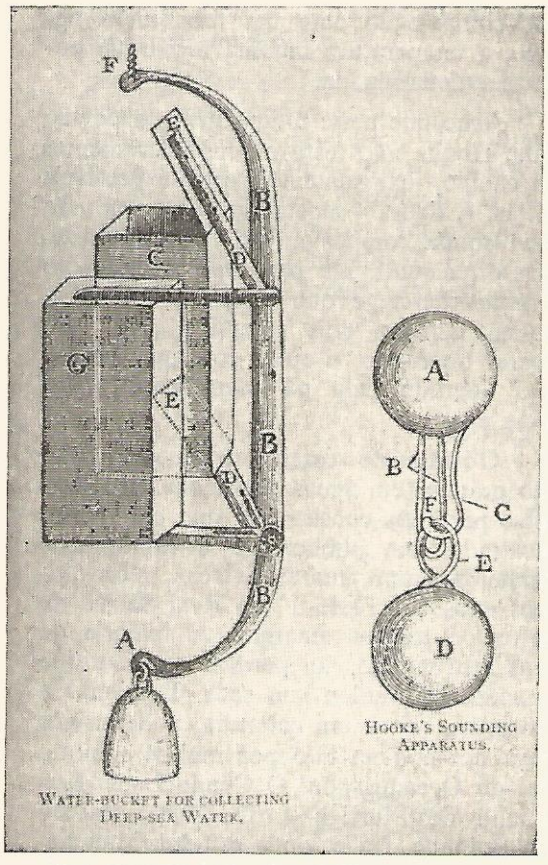


Fig. 2 — Coletor de água de Hooke (esquerda) e sonda de peso descartável (direita).

Se o tempo do flutuador fosse cronometrado, enquanto ele estivesse submerso, então, com a ajuda de tabelas preparadas a partir de experiências anteriores, a profundidade poderia ser calculada. Ambos esses instrumentos usavam madeira, que ficava encharcada no mar. O flutuador da sonda era coberto com piche para manter a impermeabilidade e deveria ser muito difícil avistá-lo quando retornava à superfície. Não havia meios precisos de se cronometrar a sonda. Hooke sugeriu o uso de uma ampulheta ou de um relógio; ou, melhor ainda, de um pêndulo. Num navio em movimento isso não devia ser possível e está claro que Hooke nunca esteve no mar. De fato, sabemos que esse instrumento foi testado por membros da Real Sociedade num pequeno barco no Rio Tâmisa. Satisfeito com esses simples testes, eles pediram aos marinheiros que iam para mares distantes que levassem exemplares dos instrumentos e fizessem observações das profundidades, relatando seus achados à Sociedade quando retornassem.

Como era de se esperar, esses instrumentos mostraram-se insatisfatórios quando usados em águas profundas. Quando, em 1691, Hooke proferiu uma série de aulas, concordou em que aquela sonda tinha defeitos e apresentou novos projetos de sondas, baseados em novos princípios. [4] Duas dessas, juntamente com um termômetro, são mostrados na figura 3.

À esquerda está uma sonda de pressão. Consiste de um cone oco com pequeno orifício na base. O cone está colocado num flutuador de madeira e carrega um peso descartável. Conforme descia, a pressão forçava a água para dentro do cone. Quando a sonda era recuperada, essa água era escoada e pesada. Por comparação com testes feitos em profundidades conhecidas (sondadas com linha de prumo convencional) podia-se dizer quão profunda a sonda tinha ido. O segundo modelo era construído como um odômetro de navio ou sonda

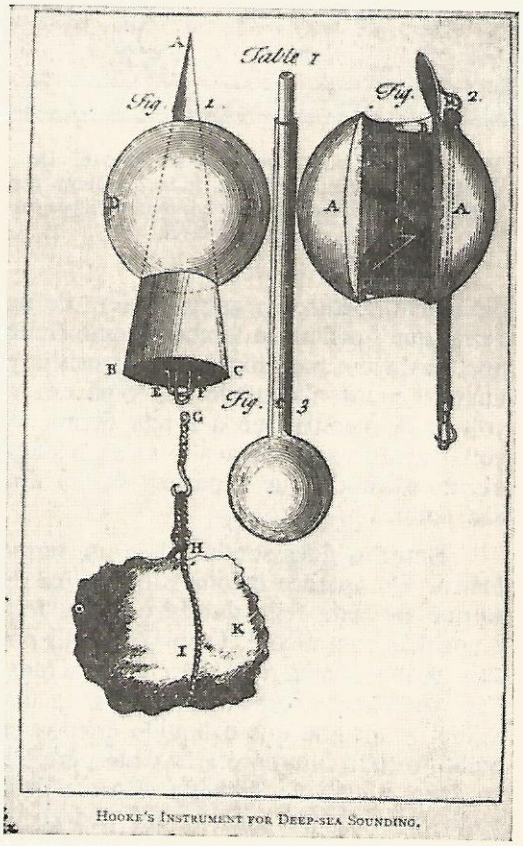


Fig. 3 — Sonda de pressão de Hooke (esquerda), termômetro (centro) e sonda-guia (direita).

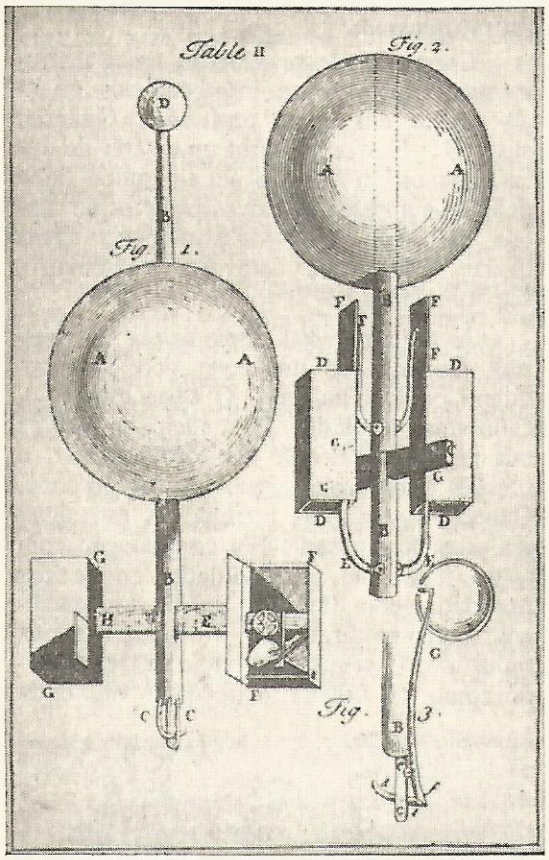


Fig. 4 — Sonda composta de Hooke. Dois coletores de água e duas guias podiam ser colocadas em uma barra contendo flutuador e peso descartável.

direcional. Dentro da grande esfera de madeira, que funcionava também como flutuador, havia um mecanismo que consistia de uma pá presa a contadores. A pá era revolvida à medida que a sonda descia. Na volta, uma tampa fechava-se sobre o mecanismo, evitando que a pá girasse em direção contrária.

Entre as duas sondas vê-se um termômetro. Ele aparece incompleto. Hooke disse que ele seria feito de vidro ou de ferro e enchido com álcool. O tubo interno possuía uma válvula, que não é vista aqui. Esse termômetro era arriado preso a uma sonda. À medida que o líquido esfriava no bulbo, o tubo interno era forçado para baixo com a válvula fechada. Essa válvula pode ter sido até mesmo um pedaço de couro macio. À medida que o termômetro voltava à superfície e se aquecia, o álcool passava pela válvula de tal forma, que o tubo permanecia no seu ponto mais baixo. Por comparação com um termômetro-padrão, a temperatura mínima registrada podia ser determinada.

Acho que neste último período de sua vida, Hooke não testava seus instrumentos no campo, mas somente expunha possíveis idéias. A figura 4 mostra sua proposta para uma sonda composta. Ela tem dois sistemas direcionais, um para operar enquanto a sonda desce, o outro quando sobe. Ela possui também dois coletores. Um para operar no fundo, o outro com um dispositivo operado pela pá para fechá-lo em meia água.

Obviamente esses instrumentos não são práticos em águas profundas. Seu interesse para nós consiste em que eles foram mostrados em publicações e tornaram-se conhecidos por muitas pessoas. Nos últimos anos do século 17, a Real Sociedade enfrentou tempos amargos. A maioria de seus instrumentos foi perdida ou destruída quando ela mudou sua sede. Deixando a Bretanha, agora em calmaria, voltamo-nos para um homem tido por muitos como o Pai da Oceanografia. O Conde Louis Ferdinand de Marsigli (1658-1730) nasceu em Bolonha, Itália, onde estudou Matemática e Ciências Naturais. Foi sempre muito observador da natureza. Sua carreira no Exército não o impediu de olhar o mundo a sua volta e, quando se aposentou, foi viver na Provença, na costa mediterrânea da França, onde, em 1706 e 1707, fez os estudos pelos quais é hoje famoso. Trabalhando desde a costa, em direção ao talude continental, Marsigli fez sondagens, coletou amostras de água e temperaturas e dragou à procura de corais e outras formas de vida marinha. Seu método era ideal, pois, progredindo em pequenas etapas, ele pôde comparar suas observações umas com as outras. Ele também encontrou uma camada superior de água que se aquecia ou se esfriava de acordo com as estações, e foi capaz de distinguir a língua de água mais doce que fluía do Rio Ródano da água mais salgada do Mediterrâneo. Não sabemos quais os instrumentos que ele usou, a não ser por um termômetro-padrão ilustrado em seu livro. Mas seu método foi complementado por mapas, seções e tabelas que mostravam a topografia do fundo do mar, a temperatura e salinidade da água onde tinha trabalhado. Esse livro, editado

em francês, *Histoire physique de la mer,* foi publicado em 1725.[5]

Na Inglaterra do século 18 houve pouco avanço nas ciências marinhas. Os dias da Real Sociedade reviveram de alguma forma, mas seus membros agora dedicavam sua atenção às ciências aplicadas. Os melhoramentos na Agricultura e Metalurgia, a nova descoberta da Eletricidade, interessava-os mais do que o mundo natural à sua volta. Alguns instrumentos marinhos foram descritos no *Philosophical Transactions,* notadamente a sonda de pressão de Stephen Hales,[6] mas esses eram, na maioria, modificações dos projetos de Hooke e não acrescentaram nada ao conhecimento do mar profundo. As tentativas para medir as correntes através do Estreito de Gibraltar também foram ineficazes. No entanto, o final do século 18 é notável pela

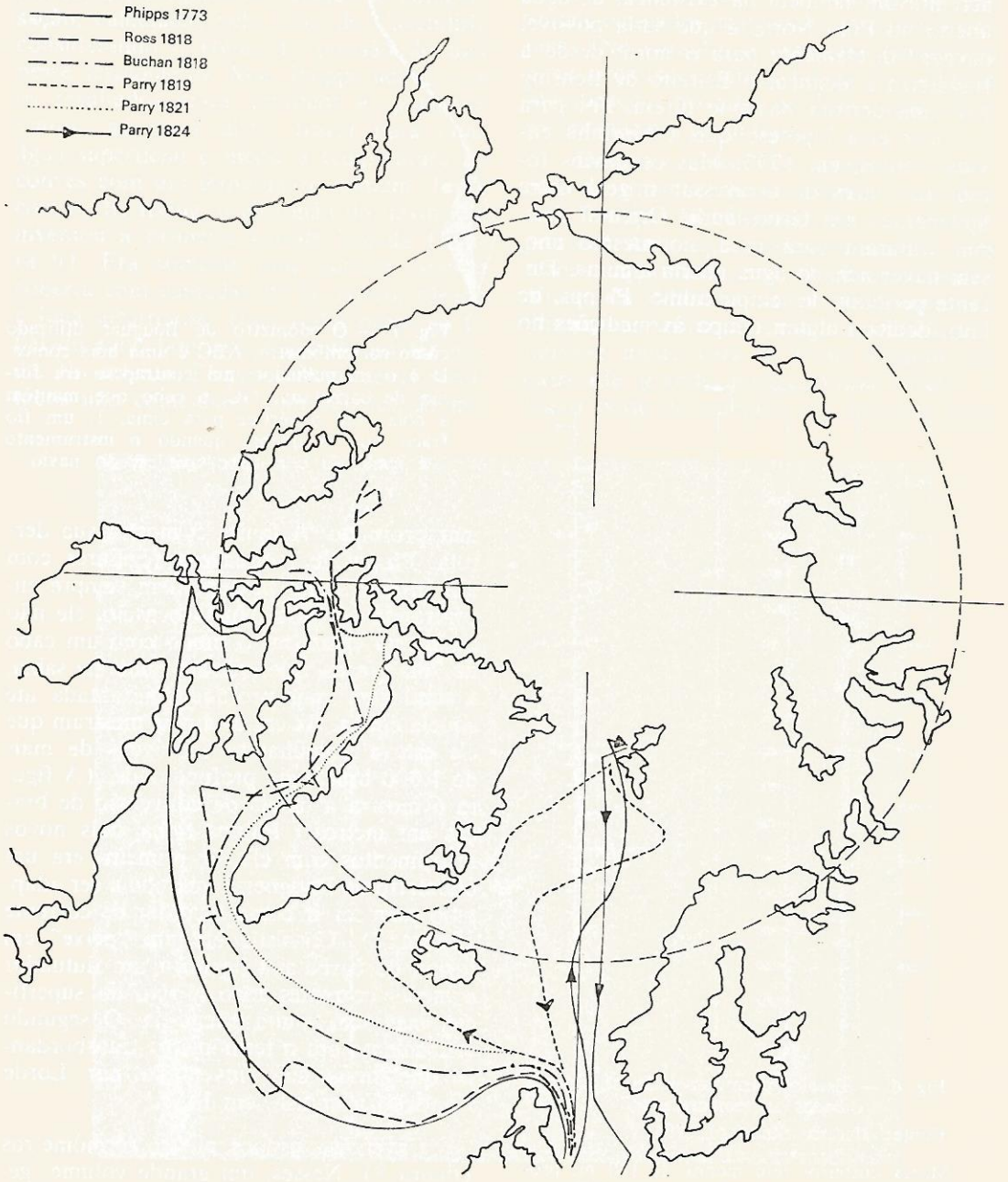


Fig. 5 — Derrotas de algumas viagens árticas; a de nº 5 corresponde àquela de Phipps; as de n.os 6 e 7 são as de Ross e Parry.

primeira viagem científica ao Ártico. Em 1773, o Capitão Phipps levou ao Norte, desde a Inglaterra, dois pequenos navios, na primeira viagem em que foram tentadas observações rotineiras em mar aberto.

Marinheiros britânicos haviam estado à procura da Passagem Noroeste, do Atlântico para o Pacífico, desde o século 16. As primeiras buscam foram feitas partindo da Baía de Hudson, mas alguns navegadores acreditavam também na existência de água aberta no Pólo Norte e que seria possível navegar diretamente para o norte desde a Inglaterra e alcançar o Estreito de Behring por uma derrota bastante direta. Foi para verificar essa hipótese que a Marinha enviou Phipps, em 1773. Mas os navios foram incapazes de atravessar o gelo entre Spitzbergen e a Groenlândia Oriental e assim voltaram para casa, no mesmo ano, sem haver achado água aberta alguma. Durante períodos de tempo calmo, Phipps, de fato, dedicou algum tempo às medições no

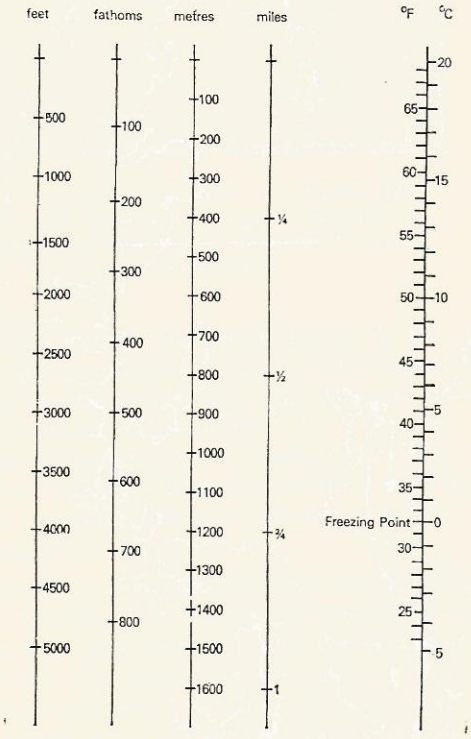


Fig. 6 — Escalas para conversão de profundidades e temperaturas.
Fonte: British Standard, 1962.

Mares costeiros têm menos de 180 m; profundidades médias oceânicas são 6.000 m; maior profundidade conhecida, na época, é 13.000 m.

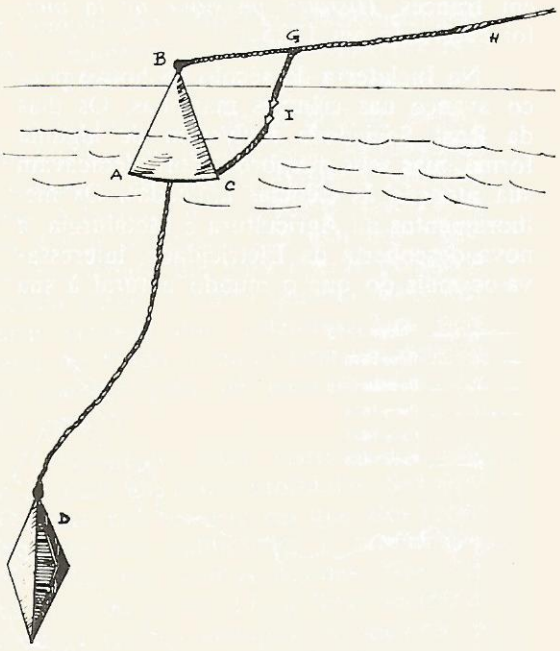


Fig. 7 — O odômetro de Bouguer utilizado como correntômetro. ABC é uma bóia cônica. D é o mergulhador, um contrapeso em forma de barbatana. GC, o cabo que mantém a bóia com o vértice para cima. 1, um fio fraco que se quebra quando o instrumento é içado. H é o cabo que sai do navio.

mar profundo A figura 5 mostra sua derrota. Phipps fez sondagens regulares com um prumo muito pesado, nem sempre encontrando o fundo. Numa ocasião, ele não conseguiu encontrar o fundo com um cabo de 780 braças, que era, até onde ele sabia, a sondagem mais profunda já tentada até aquela época. As cartas atuais mostram que ele estava trabalhando em águas de mais de 1.000 braças de profundidade. (A figura 6 mostra a tabela de conversão de braças em metros.) Phipps tinha dois novos instrumentos com ele. O primeiro era um odômetro de Bouguer, [7] que podia ser adaptado para servir como medidor de corrente (figura 7). Consistia em um "peixe" em forma de barbatana ligado a um flutuador e media correntes logo abaixo da superfície, mas sem muita eficiência. O segundo instrumento era o termômetro transbordante que tinha sido inventado por Lorde Charles Cavendish, em 1757.[8]

Cavendish propôs quatro termômetros (figura 8). Nesses, um grande volume, geralmente de álcool, atuava em um volume menor, normalmente de mercúrio, dirigin-

do este volume líquido para uma câmara de transbordamento. Quando a temperatura voltava ao seu nível anterior, o mercúrio permanecia na câmara de transbordamento, mostrando o valor extremo que havia sido alçançado. O termômetro foi projetado para atuar como termômetro de mínima. Em uso, o lado aberto era fechado para impedir a entrada de água do mar.

Foi dado a Phipps, na sua viagem ao Ártico, um conjunto de tabelas de compensação, calculadas pelo filho de Cavendish, considerando o efeito da pressão do mar nesse termômetro. Mas Phipps achou que os resultados eram erráticos e, portanto, tentou, ao invés disto, trazer para cima água superficial e medir a temperatura no convés com um termômetro comum. Junto com o Dr. Irving, o cirurgião do navio, ele inventou a primeira garrafa isolada (figura 9). Era somente uma garrafa comum coberta com camadas de lã, couro, oleado e lona alcatroada. Uma rolha presa ao final do cabo tampava a garrafa ao ser içada. No entanto, Phipps achou que os resultados não coincidiam com aqueles do termômetro Cavendish e ele não possuía meios de dizer qual era o instrumento mais preciso. O relato dessa viagem foi publicado no ano seguinte e mostra alguns dos resultados obtidos.[9]

Depois dessa viagem, a Marinha Real abandonou o trabalho científico no Ártico, pois todos os seus navios estiveram ocupados durante a maior parte dos próximos 40 anos com as batalhas e bloqueios das guerras napoleônicas, e os hidrógrafos estiveram ocupados mapeando as águas européias. No entanto, o comércio continuava e no próximo capítulo falarei de algumas investigações privadas no Ártico que foram extremamente produtivas.

Devemos considerar agora as limitações de trabalho durante esse período inicial. Por que foram feitos tão poucos progressos? Acho que podemos apontar três razões: a primeira, não havia participação oficial da Marinha antes da viagem de Phipps ao Ártico. A pesquisa privada tornaria-se muito cara se fosse alugado um navio de grande porte. Assim sendo, a maior parte do trabalho era feita em água

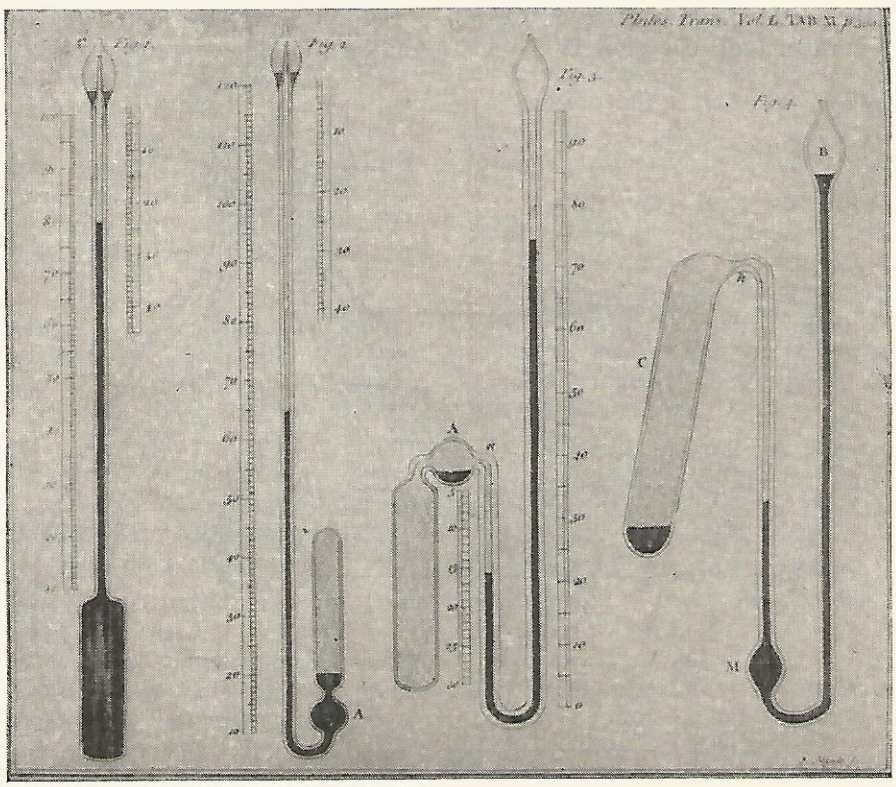


Fig. 8 — Termômetros auto-registradores de Cavendish. À direita vê-se sua proposta para o termômetro de mínima para água profunda.

muito rasas perto da costa e o efeito da pressão nos instrumentos não era levado em conta, ou mesmo reconhecido, pela maior parte dos cientistas. Segunda, onde foram feitas experiências no mar profundo, por capitães de navios voluntários, estas eram realizadas ao acaso e não eram comparadas prontamente. Os resultados eram ainda determinados por pressuposições quanto à profundidade do mar aberto. Terceira, a tecnologia era totalmente inadequada. Todos os materiais orgânicos, tais como madeira, cortiça e lã, são inadequados no mar. O trabalho de Marsigli evidencia-se pelo contraste, pois ele reconheceu essas limitações e trabalhou dentro delas. O Mediterrâneo é um pequeno mas verdadeiro oceano, e ele foi capaz de trabalhar até o limite da plataforma continental, que era bem próximo de terra. A precisão de seu método ultrapassou os defeitos de seus instrumentos de modo considerável. No entanto, a lição não foi aprendida naquela época.

Ao final do século 18, dois novos instrumentos foram inventados, não destinados originalmente a trabalho no mar, mas que representaram papel enorme na Oceanografia durante todo o século 19.

O termômetro Six e a sonda Massey direcional

Em 1698, Jean Bernoulli mencionou um projeto de termômetro destinado a registrar as temperaturas mínimas e máximas durante a ausência do observador, que provavelmente nunca foi construído. Vários projetos foram propostos subseqüentemente (incluindo o de Cavendish mencionado no capítulo anterior), mas eram, em geral, frágeis e difíceis de armar e usar, e registravam por meio de grandes gotas, conforme o mercúrio passava para a câmara de transbordamento. Entretanto, em 1792, a Real Sociedade publicou a notícia de um termômetro inventado em 1780 por James Six (1731-1793). Esse extraordinário termômetro registrava as temperaturas mínimas e máximas num só instrumento, sendo robusto e simples de usar. Desde aquela data o termômetro Six auto-registrador desempenhou papel valioso na Meteorologia e na Oceanografia e seu projeto básico mudou pouco nesses 200 anos.

O desenho do projeto original de Six encontra-se na figura 10. O reservatório central e o lado superior do tubo da direi-

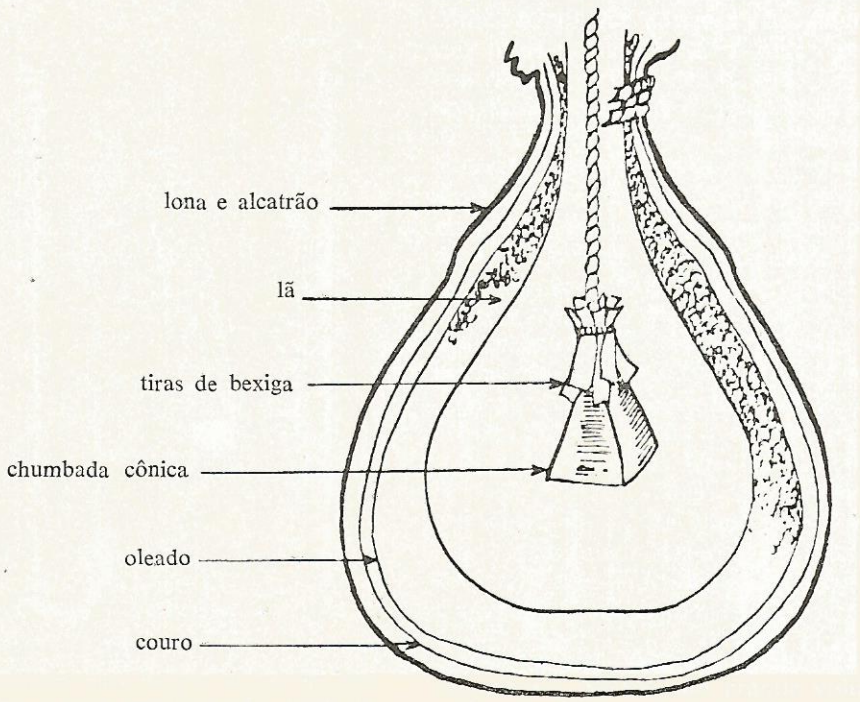


Fig. 9 — Forma sugerida para a garrafa isolada de Irving.



Fig. 10 — Diagrama do termômetro auto-registrador de Six.

ta eram enchidos com álcool, sendo separados por um setor com mercúrio ocupando a parte inferior do tubo em U. Um espaço vazio na câmara superior, arrolhada, permitia a expansão dos líquidos, que eram mantidos em contato, um com o outro, por ação da pressão atmosférica. Em cada seção lateral do termômetro encontravam-se índices de aço, dentro do álcool. Eles eram sustentados pelos meniscos do mercúrio e impedidos de descer por pequenos rabichos de vidro atuando como molas. A idéia de índices móveis dentro do fluido termométrico era a real inovação do termômetro de Six. À medida que a temperatura se elevava, o álcool, no reservatório, se expandia, empurrando o mercúrio e o índice de máxima para adiante. Qualquer queda posterior da temperatura causava a contração de álcool; o mercúrio retrocedia com ele, o índice do lado direito permanecendo em posição para registrar a maior temperatura atingida A seqüência inversa de eventos ocorria para registrar a temperatura mínima, no lado esquerdo. Depois de utilizado o termômetro, os índices eram trazidos de votla às superfícies do mercúrio com o auxílio de um pequeno ímã.

Six fez esse termômetro para registrar temperaturas do ar. Ele sabia que havia necessidade de um bom termômetro para uso no oceano e projetou uma versão oceânica daquele. Depois de sua morte, porém, concluiu-se que o termômetro para o ar era bastante satisfatório no mar, desde que a extremidade fosse selada para impedir a entrada da água do mar.

O segundo instrumento que se tornou tão importante no século 19 foi a sonda direcional Massey. Vimos que Hooke colocou um instrumento direcional no flutuador de uma sonda livre. Durante o século 18, mecanismos como esse eram usados em odômetros e em medidores de correntes em rios. A figura 11 mostra o mecanismo de engrenagens desenvolvido por Foxon para um odômetro; suas engrenagens eram operadas por uma pá em espiral movendo-se na água na extremidade de uma linha de barca. Esses odômetro foi patenteado em 1770.[11] Artesãos, treinados como relojoeiros, eram hábeis na confecção de instrumentos com engrenagens desse tipo, e máquinas de corte com engrenagens estavam se tornando comuns na época. A família Massey dedicava-se à relojoaria desde os anos 1760, e foi Edward Massey (1714-1913) quem primeiro começou a construir odômetros e sondas baseados nesse princípio, estabelecendo-se comercialmente como fabricante de instrumentos náuticos. Em 1802, ele patenteou uma sonda cuja inovação era um tubo de ar no eixo da pá (figura 12).[12] Isso possibilitou à sonda registrar com precisão, mesmo ao descer em baixas velocidades, pois o tubo ficava sem peso na água. Ela não precisava de flutuador, pois era usada numa linha de sondagem convencional. Massey declarava que mesmo que a linha de sondagem estivesse fora de prumo, a sonda registraria somente a distância vertical percorrida.

A construção toda em cobre e o uso de uma linha significavam que, teoricamente, essa sonda podia ser arriada a qualquer profundidade. Na prática havia um limite, pois em água profunda o tubo de ar era esmagado pela grande pressão e sob essas condições todos os instrumentos mecânicos tendem a emperrar.

A família Massey tornou-se famosa por sua variedade de odômetros e sondas; membros dessa numerosa família montaram oficinas em várias partes da Inglaterra e os seus negócios, no século 19, passaram para a firma de Thomas Walker, existente até hoje.

As investigações de William Scoresby no Ártico (1810-1822)

Quando começou o século 19, a Marinha Britânica estava preocupada com as guerras, mas a frota mercante estava ocupada e frotas baleeiras navegavam, todos

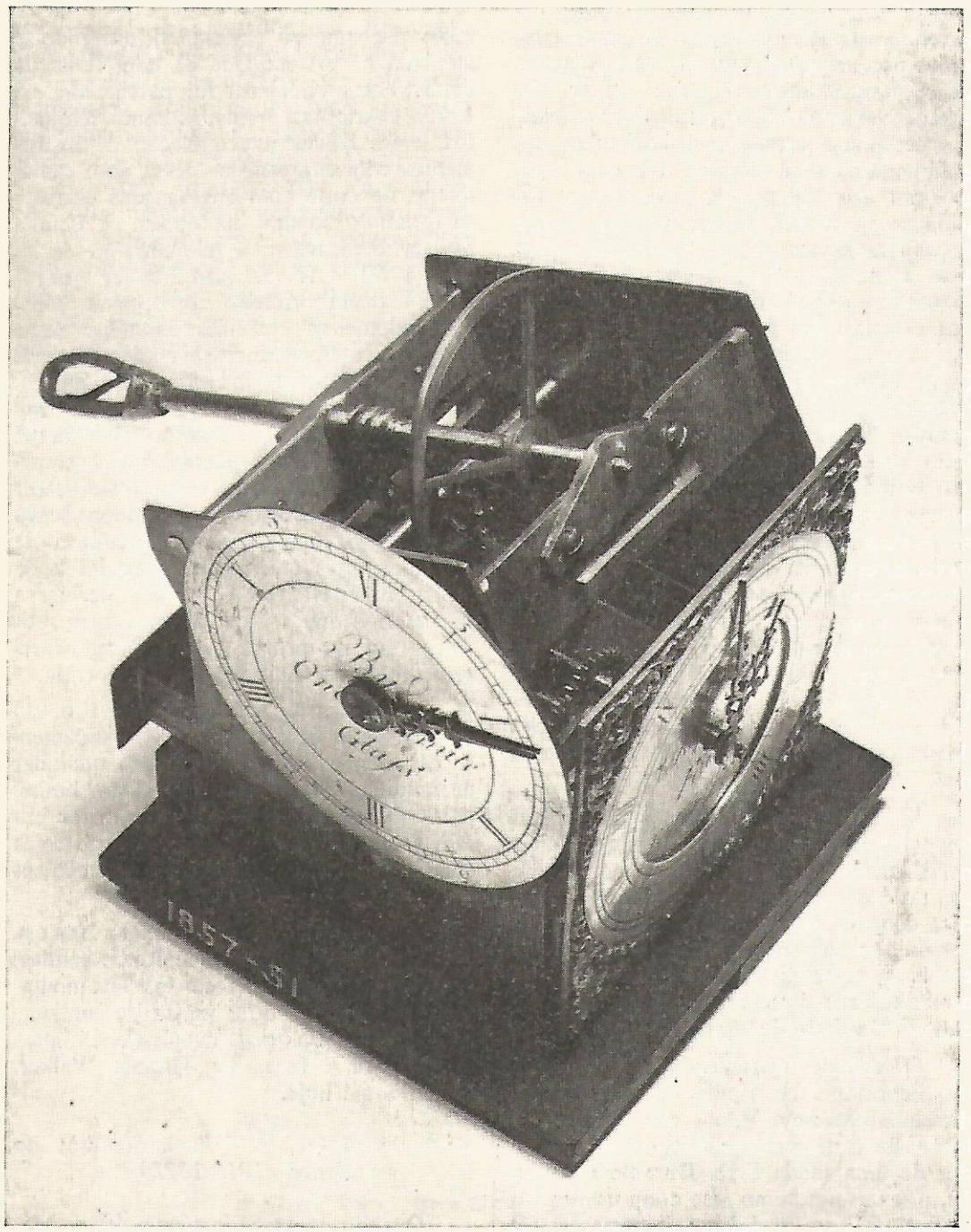


Fig. 11 — Mecanismo de engrenagem montado no convés, para um odômetro direcional, feito por Foxon, em 1772.

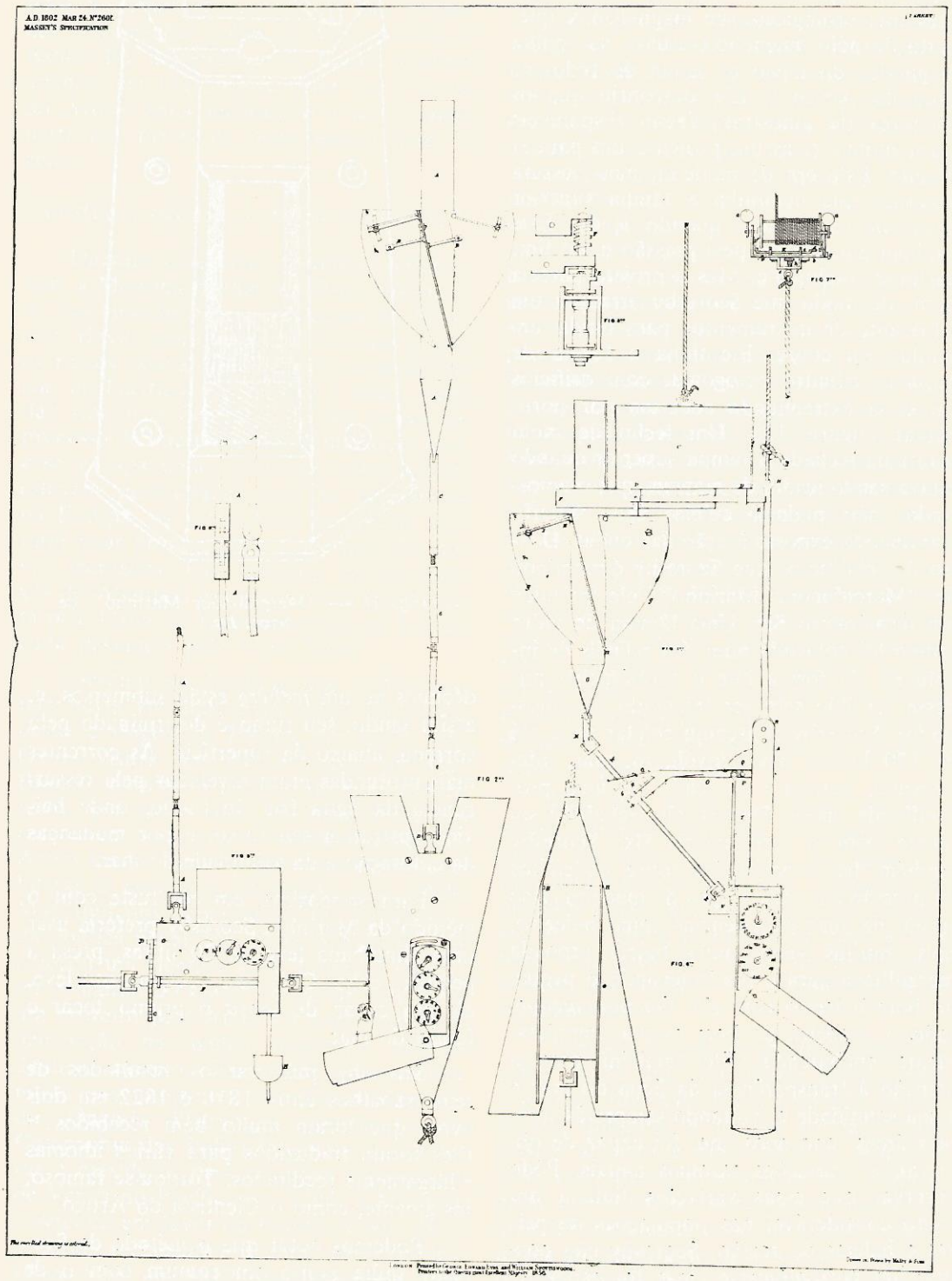


Fig. 12 — Desenhos para especificação de patente de 1802, de Massey, mostrando um odômetro direcional (centro) e uma sondagem-guia (direita).

os verões, para as águas do Ártico. Dois desses navios baleeiros eram comandados pelos Scoresby, pai e filho. O jovem William Scoresby [17 e 18] estava interessado em todos os aspectos do Ártico: suas condições meteorológicas, seu magnetismo, que, perto do pólo magnético, atuava na agulha magnética do navio e, acima de tudo, na água do Ártico.[13] Ele descobriu que os coletores de amostras d'água disponíveis eram inúteis e, assim, projetou um para si mesmo. Este era de madeira, mas possuía alavanca que mantinha a tampa superior devidamente fechada quando içada. Este também era afetado pela pressão e, no fim, partiu-se totalmente. Mas o projeto parecia bom, de modo que Scoresby arranjou um fabricante de instrumentos para fundir um similar em cobre. Ele tinha a forma de pequeno cilindro octogonal, com orifícios em cada extremidade cobertos por portinholas (figura 13). Um fecho de mola mantinha fechada a tampa superior quando estava sendo içado, de maneira que o amostrador não pudesse coletar água superficial quando exposto à ação das ondas. Dentro do invólucro, que Scoresby denominou de "Mergulhador Marinho", ele prendeu um termômetro Six. Uma lâmina de vidro grosso foi colocada num dos painéis de invólucro, de forma que o termômetro pudesse ser lido sem ser removido do amostrador. Scoresby conseguiu coletar água até de 170 braças nesse invólucro, mas, infelizmente, perdeu-o ao içá-lo de uma profundidade maior. Depois, ele trabalhou somente com o termômetro Six. Scoresby também fez experiências sobre os efeitos da pressão em vários tipos de madeira. Isso surgiu de suas experiências como baleeiro, pois, muitas vezes, uma baleia arpoada mergulhava para o fundo levando o pequeno bote baleeiro com ela. Quando recuperado, a madeira do bote estava completamente encharcada. Ele também prestou atenção à transparência da água do mar e à sua salinidade e, voltando sempre às mesmas áreas, ano após ano, foi capaz de observar as variações sazonais anuais. Pôde observar que essas variações tinham um efeito considerável nas populações de peixes e baleias da região. Scoresby não possuía um correntômetro, mas foi capaz de fazer várias observações das correntes olhando movimento dos *icebergs*. Nove

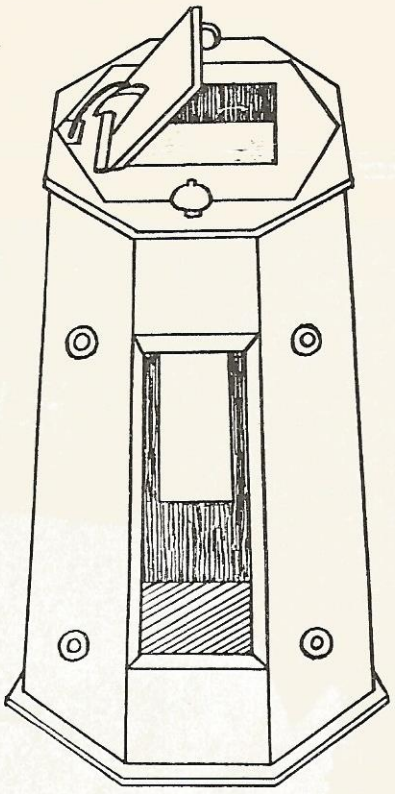


Fig. 13 — "Mergulhador Marinho", de Scoresby.

décimos de um *iceberg* estão submersos, e, assim sendo, seu rumo é determinado pela corrente abaixo da superfície. As correntes mais profundas eram reveladas pela ressurgência da água fria do fundo, onde baixios obstruíam seu fluxo, e por mudanças da coloração e da salinidade do mar.

Para sondagens, em contraste com o método da Marinha, Scoresby preferia usar uma chumbada leve de 20 libras, presa a pequeno cabo. Com esse equipamento leve, ele era capaz de sentir o prumo tocar o fundo do mar.

Scoresby publicou os resultados de seus trabalhos entre 1810 e 1822 em dois livros que foram muito bem recebidos.[14] Eles foram traduzidos para vários idiomas e largamente reeditados. Tornou-se famoso, justamente, como o Cientista do Ártico.

Podemos notar que o método de Scoresby tinha muito em comum com o de Marsigli. Para ambos, a metodologia cuidadosa sobrepujou às limitações dos instru-

mentos, apesar de Scoresby levar uma grande vantagem sobre Marsigli, com seu coletor de água todo de metal e seu termômetro auto-registrador. Scoresby era também amigo de Sir Joseph Banks, presidente da Real Sociedade e responsável por muitas das informações sobre o Ártico dadas a Banks. Foi a Scoresby que Banks recorreu quando, em 1817, ouviu dizer que o clima do Ártico tinha melhorado e que grande parte dos mares do norte estava livre de gelo.

Expedições navais ao Ártico (1818-1825)

Quando as guerras européias terminaram, a Marinha Britânica voltou, novamente, sua atenção para a Passagem do Noroeste. Havia agora uma urgência maior, pois os russos estavam também procurando por ela, no Pacífico. Agora, que a maior parte das Américas Central e do Sul estava em processo de libertação das dominações francesa e espanhola, enquanto estas nações estavam preocupadas com as ocorrências na Europa, os mercadores britânicos queriam estar prontos para a abertura dos novos mercados. Um caminho rápido através do Atlântico era preferível à longa volta pelo Cabo da Boa Esperança ou à arriscada passagem pelo Cabo Horn.

Devemo-nos lembrar que a Marinha não havia enviado navio algum ao Ártico desde a viagem de Phipps, em 1773, fora breves visitas aos portos russos no Mar Branco, durante o período de guerra. Scoresby, por outro lado, era bem conhecido como um competente capitão do Ártico. Assim sendo, Banks propôs que ele deveria liderar a expedição planejada para 1818. Mas aqui nos deparamos com um aspecto da política naval: em 1700, o Almirantado colocou um cientista civil, Edmund Halley, no comando do HMS *Paramour,* que faria um cruzeiro pelo Atlântico para mapear a declinação da agulha magnética através daquele oceano. Essa indicação causou muito ressentimento e não foi mais repetida. Quando Dalrymple, hidrógrafo da Companhia das Índias Orientais, quis liderar a expedição para observar a passagem de Vênus no Pacífico em 1796, a Marinha o rejeitou em favor do Capitão Cook. Neste caso, certamente, fizeram uma escolha sábia. Mas, em 1817, sua insistência num comandante naval como líder da expedição teve um desfecho infeliz. Scoresby poderia juntar-se à expedição, mas somente na humilde capacidade de mestre do *Groenlândia* e ele recusou a oferta. A Marinha designou o Capitão John Ross [17 e 18] como comandante.

A expedição, quatro navios ao todo, partiu em 1818. Dois navios, HMS *Dorothea* e HMS *Trent,* deviam navegar para o norte, mantendo-se a leste da Groenlândia. Os outros dois, HMS *Isabela* e HMS *Alexander* (com Ross no *Isabela* e Parry no *Alexander*) foram para o oeste da Groenlândia. Partindo do Estreito de Davis, eles deveriam procurar a entrada de um canal para oeste (figura 5). As instruções de Ross proporcionaram-lhe um programa de muito trabalho oceânico. Pela primeira vez era reconhecido que tais investigações bem poderiam ser um guia para o há muito ambicionado caminho para o mar. Pois, para distinguir entre baía fechada e canal aberto, naquela paisagem de gelo e neblina, Ross teria que observar a temperatura e a salinidade da água e medir a corrente em todas as profundidades. Se estivesse dentro de um canal, ele podia esperar encontrar uma forte correntada de água fria e salina. Se estivesse numa baía, então ele encontraria água doce na superfície, com água salgada logo abaixo, sendo quaisquer correntes oscilantes devidas somente às marés. Ross foi instruído também para sondar e coletar amostras de sedimentos do fundo mar e para tirar amostras de água em todas as profundidades.

Para esse trabalho, o navio de Ross estava equipado com dez termômetros comuns; um único termômetro Six; uma garrafa para coleta d'água; três odômetros de modelos diferentes; três chumbadas oceânicas de 50, 100 e 150 libras de peso, e uma bóia com gato de escape de Burt (vide adiante, no capítulo II, a descrição deste equipamento).

Também levava alguns flutuadores de cobre. Cada dia, um bilhete com a data e posição dos navios era colocado dentro de um flutuador e jogado ao mar. Caso fossem achados e devolvidos ao Almirantado, esses flutuadores mostrariam a deriva geral das correntes superficiais dentro da área. Naturalmente levariam muitos meses, talvez até anos, antes que fossem encontrados. A garrafa dada a Ross tinha sido especialmente projetada para essa viagem por Sir Humphrey Davy.[15] Ela deveria co-

letar amostra entre 5 e 80 braças abaixo da superfície, para detetar as correntes salinas existentes abaixo da água fria superficial proveniente dos degelos. A garrafa (figura 14) era um receptáculo de cobre em forma de pêra com 10 polegadas de comprimento e provida de uma válvula no topo. Existia na base um plugue para escoamento, quando içada de volta ao convés. O complexo mecanismo de abertura e fechamento ao lado do invólucro funcionava por ação da pressão.

Sob o aumento da pressão no mar, um pistão move-se dentro do cilindro estriado marcando a sua posição em uma, duas ou três vezes a pressão atmosférica. A garrafa era lançada ao mar com a válvula fechada. Afundava até que o pistão alcançasse a estria do cilindro para a qual o instrumento havia sido pré-ajustado. Então, a válvula se abria. A garrafa, ainda descendo, enchia. O pistão completava o percurso e fechava a válvula. A garrafa podia, então, ser içada.

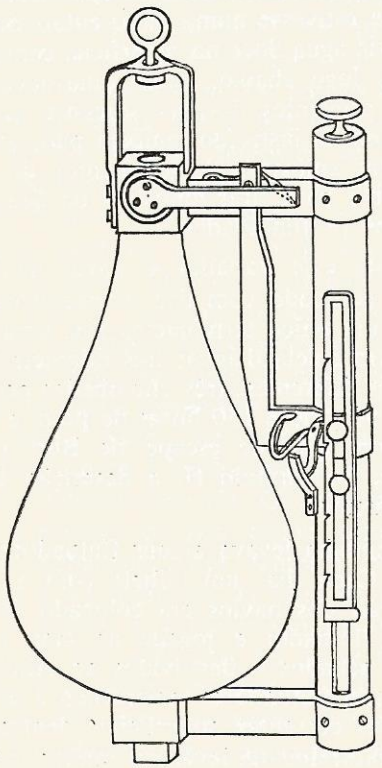


Fig. 14 — Garrafa oceanográfica de Davy. O cilindro à direita contém o mecanismo ativado por pressão que abre a válvula superior a profundidade preestabelecida.

Ross não estava satisfeito com o seu desempenho. Ele relatou que ela não fechava devidamente e que seu conteúdo era diluído no içamento.[16] Seu termômetro Six logo se quebrou, mas, navegando em companhia de Parry, foi possível usar o termômetro fornecido ao *Alexander* para continuar as suas observações.

Todas as observações de Ross dependiam da medida correta da profundidade. Nesse trabalho seus métodos eram muito falhos. Era hábito da Marinha, e Ross o seguia, usar uma chumbada muito pesada, para sondagem. Para içá-la era, naturalmente, necessário usar um cabo muito forte. Ross usou linha de baleia com 2 1/2 polegadas de circunferência (6,4 centímetros). Um cabo grosso oferece resistência considerável a qualquer corrente submarina e sob essas condições será carregado para bem longe do prumo, não fornecendo a profundidade vertical verdadeira. O sistema todo era tão pesado, que era difícil dizer quando o peso tocava o fundo. Em lama macia não havia praticamente impacto algum e o peso da linha, que excedia de muito o da chumbada, fazia com que ela continuasse a correr muito depois da chumbada ter alcançado o fundo do mar.

Assim sendo, muitas das medidas de profundidade de Ross eram suspeitas. Mesmo após ter recolhido o cabo com estrelas-do-mar e outros habitantes do fundo presos a ele bem acima da chumbada, Ross não admitira que uma grande parte do cabo ficara aduchada no fundo. Havia ainda muita ignorância sobre as criaturas marinhas. Supunha-se que as estrelas-do-mar e formas de vida similares podiam nadar e seu recolhimento no cabo não era considerado como significativo.

Entretanto, para coletar sedimentos no fundo do mar, Ross realmente projetou um aparelho que foi feito a bordo pelo seu armeiro que provou ser de muita utilidade.[17] Ross denominou-o de "busca-fundo oceânico". Os desenhos à direita da figura 15 mostram o aspecto do busca-fundo, que era de ferro e pesava 100 libras, cerca de 50 quilos. Ele era arriado com as garras abertas e haste central protuberante. Quando essa haste tocava o fundo do mar, movia-se para cima, fazendo com que as garras se fechassem sobre a amostra. Era simples e forte e trabalhava bem como sedimen-

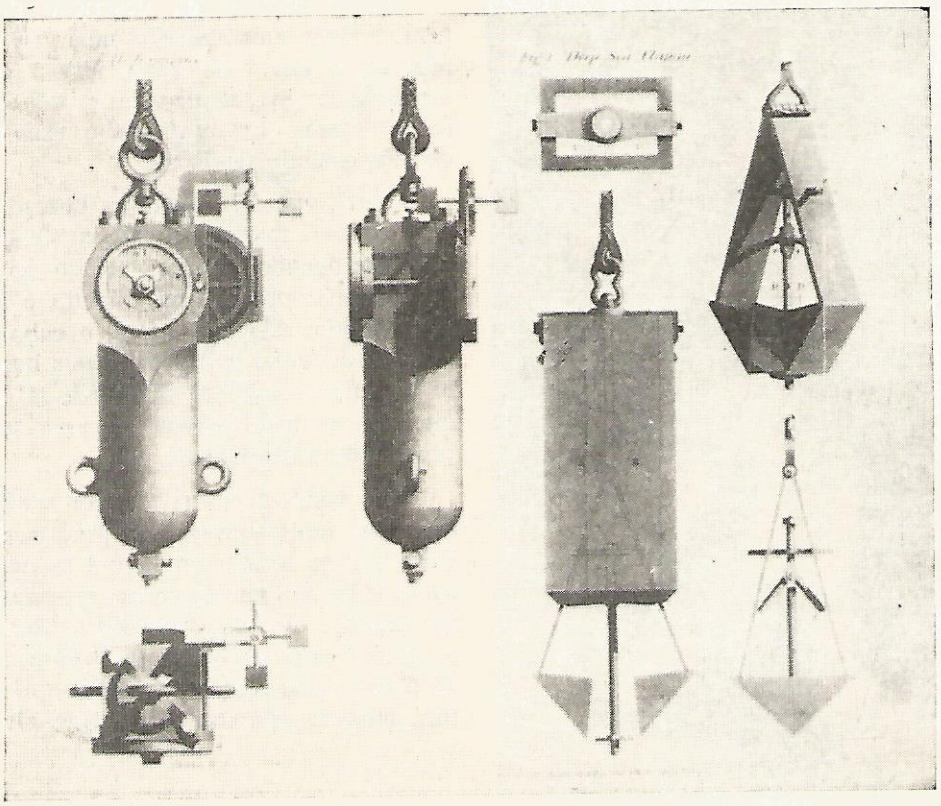


Fig. 15 — Garrafa oceanográfica de Ross (esquerda) e busca-fundo para água profunda (direita).

tos macios sem rochas, as quais, se estivessem presentes, impediriam as garras de fecharem. Ross costumava colocar um termômetro nos sedimentos trazidos pelo busca-fundo e assim conseguiu muito boas estimativas da temperatura no fundo do mar.

Depois que voltou, também inventou uma garrafa para substituir a de Davy, que não era satisfatória.[18] Sua forma está mostrada à esquerda, na figura 15. Era feita de cobre e coletava três pintas de água. O interessante é que fazia uso de uma pá para abrir e fechar a válvula a uma profundidade preestabelecida. Um exemplar foi feito e levado por Parry em sua viagem do ano seguinte. Mas ele não disse se pôde fazê-la funcionar e como nunca mais ouvimos falar a respeito supomos que era muito complexa para trabalhar propriamente.

Ross prosseguiu até o Estreito de Lancaster. Lá ele viu, ou pensou que viu, uma cadeia de montanhas estendendo-se através do estreito. Parry estava muito atrás. Ross nem consultou seus oficiais. Chamou a cadeia de "Montanhas Crooker", em honra ao Primeiro-Secretário do Almirantado, e voltou para casa.

Os dois navios que navegaram a leste de Groenlândia não tiveram melhor sorte. Eles tiveram que se abrigar dos ventos fortes em todo o verão e quando, finalmente, puderam deixar o porto estavam cercados por gelo e, eventualmente, também voltaram para casa. Esses navios levavam com eles a garrafa-padrão (figura 16), que era feita de cobre, com um par de válvulas planas na base e uma cônica no topo. Também levavam a primeira garrafa inventada pelo químico Alexander Marcet (figura 17).

Marcet estava interessado na química da água do mar e conseguiu obter amostras de todos os oceanos conhecidos. Seus estudos da água salgada e uma descrição das garrafas que projetou foram publicados em 1819.[19] A primeira garrafa de Marcet pretendia eliminar o defeito daquela do

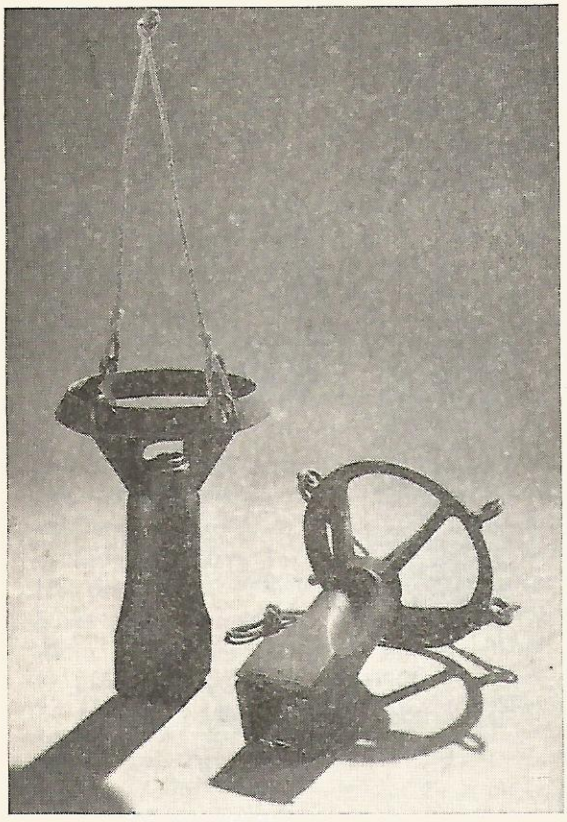


Fig. 16 — Garrafas de válvula singela como usadas no HMS *Trent*.

tipo válvula plana singela, especificamente o problema de reabertura quando era içada. Marcet safou este problema, como mostra a ilustração, pendurando um peso embaixo da garrafa que mantinha as tampas abertas durante a descida. No fundo, após cessar a tensão sobre a linha, as tampas se fechavam e o fecho se movia de modo a garantir o trancamento, sendo a garrafa içada.

O fracasso de ambas as partes na expedição de 1818 expuseram John Ross a severas críticas, sob suspeição de desculpas para retornar para casa. Para remediar o assunto, o Almirantado decidiu enviar outra expedição no ano seguinte, sob o antigo imediato de Ross: Edward Parry,[17 e 18] que ficou famoso como explorador do Ártico e posteriormente tornou-se diretor de Hidrografia da Marinha Inglesa. O objetivo ainda era a Passagem do Noroeste, mas, também, a melhoria da Geografia em geral. Desta vez, muitos outros instrumentos foram destinados aos dois navios, HMS *Hecla* e HMS *Griper*.

Parry citou-os na descrição da viagem.[20] Cada navio possuía uma garrafa de Marcet; o navio de Parry levava quatro termômetros Six, dentro de caixas de ferro protetoras. Levou também exemplares do busca-fundo de Ross.

Parry disse ter usado os busca-fundos para sondar, mas não ficou satisfeito com seu desempenho porque, devido ao cabo pesado, não podia dizer quando o fundo era atingido. Algumas vezes, o cabo subia coberto de lama, sendo claro que boa parte dele ficara sobre o fundo, de tal modo que não se tinha certeza de uma medida precisa da profundidade.

Ele também suspeitava dos resultados dos seus termômetros Six, porque descobrira que os índices tendiam a se deslocar sob a ação de grandes ondas. Possuíam outro defeito: quando imersos em água muito fria, o tubo de vidro se contraía antes do álcool neles contido, de modo que a leitura máxima aparecia falsamente elevada.

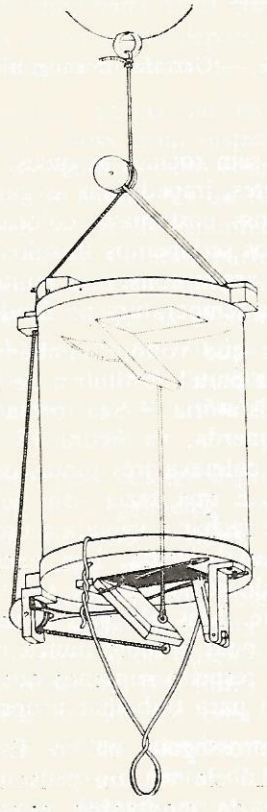


Fig. 17 — Primeira garrafa oceanográfica de Marcet.

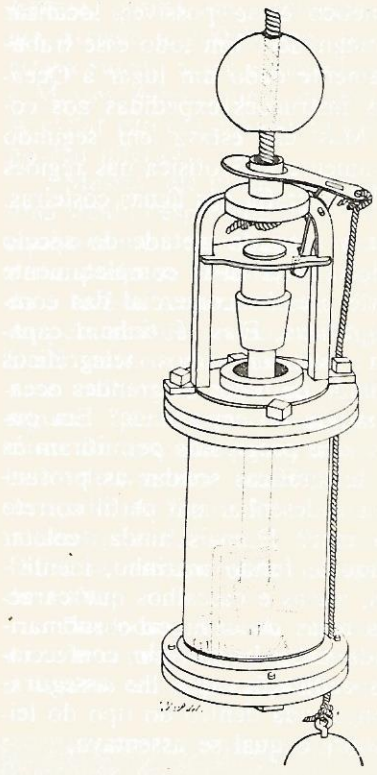


Fig. 18 — Segunda garrafa oceanográfica de Marcet.

Durante o primeiro verão nesta viagem, Parry navegava no local em que Ross declarou ter avistado as Montanhas Crooker. No inverno, os navios se encontravam presos no gelo, tendo atingido um ponto mais a oeste do que qualquer expedição prévia. Parry e sua tripulação se habilitaram à recompensa que o Governo Britânico havia oferecido no ano anterior. Mas no verão seguinte eles não mais puderam progredir e foram forçados a retornar para casa. Mesmo assim, os prognósticos eram favoráveis e, no ano seguinte, Parry fez-se ao mar novamente. Desta feita ele levava a nova garrafa projetada por Marcet, mostrada na figura 18.

Nesta segunda garrafa, as válvulas foram completamente modificadas. A garrafa, um robusto cilindro de ferro, possuía duas válvulas cônicas unidas por uma barra central. A ação de fechamento é a mesma da anterior, com um fecho sendo liberado pelo peso, para selar as válvulas antes do içamento da garrafa. Mas um novo arranjo foi feito para coletar amostras intermediárias. Isto era alcançado pela ação de um peso deslizante, denominado "mensageiro", que corria cabo abaixo desde o navio. O mensageiro, no caso uma pesada bola de ferro, empurrava o peso de modo que a tampa podia se fechar e travar. Este é o primeiro relato do uso de tal artefato, que se tornou muito comum ao final do século e até hoje é usado para operação de instrumentos abaixo da superfície. Parry parece tê-lo usado com muito sucesso, até 300 braças. A figura 19 mostra uma garrafa deste tipo, remanescente.

O gelo atrapalhou o progresso desta segunda viagem e uma terceira e quarta viagens em 1824.[22] Parry não chegou a ir mais longe porque a melhoria climática havia terminado e o gelo bloqueava todo o canal possível. Ao regressar, Parry assumiu as funções de diretor de Hidrografia da Marinha, para as quais havia sido designado no ano prévio. A maior parte das explorações árticas posteriores, tal como a de Franklin, foi feita por grupos terrestres em trenós.

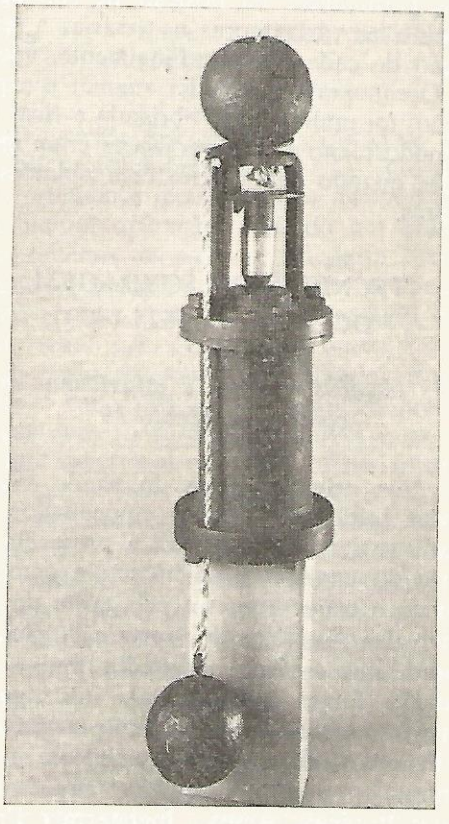


Fig. 19 — Segunda garrafa oceanográfica de Marcet (exemplar remanescente).

A Marinha, certamente, enviou aqueles navios com um programa de trabalho e os instrumentos mais recentes disponíveis. Por que tão poucas tarefas foram cumpridas? Penso que a resposta se encontra nos problemas da área para onde foram mandados. Os mares polares estão entre os mais complexos, seu perfil de temperatura sendo determinado pelo influxo da água doce, fria, dos rios e do degelo, durante os meses de verão, da calota que cobre a região. Sob esta água existe água mais quente e salina. Embaixo, de novo, água salina mais fria, mas o sistema inteiro pode variar de ano a ano e de bacia a bacia dentro da área. Era demasiado esperar de uma ciência jovem a compreensão deste sistema, mais ainda, o termômetro Six não era o melhor instrumento para ser usado, porque registrava os extremos da temperatura, sejam na superfície ou abaixo e não havia modo de dizer, no perfil, onde estes se achavam. As tripulações se encontravam à mercê dos ventos e do tempo e somente podiam fazer observações quando o mar estava suficientemente calmo para permitir aos navios permanecer na posição de sondagem durante as várias horas necessárias à realização de cada serviço. Finalmente, apesar da Oceanografia pretender auxiliar a exploração, foi muitas vezes obrigada a ficar em segundo plano e as observações eram ignoradas quando conflitavam com opiniões já aceitas.

TÉCNICAS DE SONDAGEM OCEÂNICA (1825-1900)

As técnicas inglesas e americanas no começo do século 19

Nos primeiros anos do século 19, os navios britânicos estavam empenhados em localizar uma entrada para a passagem ao norte do continente americano e demonstravam o maior interesse pela costa do Pacífico das Américas do Norte e do Sul. À medida que o século progredia, muitas expedições foram enviadas para investigar a gravidade terrestre e seu campo magnético. A França dedicava-se especialmente a encontrar o equador magnético através dos mares tropicais. Ambas, Inglaterra e França, enviaram navios aos grandes oceanos austrais para fazerem o levantamento do campo magnético e, se possível, localizar o Pólo Sul magnético. Em todo esse trabalho foi certamente dado um lugar à Oceanografia, nas instruções expedidas aos comandantes. Mas ela estava em segundo plano relativamente à Geofísica nas regiões polares e à Hidrografia nas águas costeiras.

Durante a segunda metade do século 19 esta posição inverteu-se completamente devido à forte pressão comercial das companhias telegráficas. Elas já tinham capacidade para estender cabos telegráficos através do fundo de todos os grandes oceanos. Como surgiu tal capacidade? Em outras palavras, que progressos permitiram às companhias telegráficas sondar as profundezas abissais e desenhar um perfil correto do leito do mar? E mais ainda, coletar amostras daquele fundo marinho, identificando lamas, areias e cascalhos que caracterizavam as rotas de cada cabo submarino. Pois cada cabo havia sido confeccionado sob especificações que lhe asseguravam uma longa vida dentro do tipo do leito do mar sobre o qual se assentava.

Devemos regressar aos primeiros anos do século para descobrir as origens desta capacidade. Durante aqueles anos havia uma curiosidade genuína sobre as profundezas das grandes bacias oceânicas, que tomou a forma de tentativas deliberadas de sondar o mar aberto. O problema foi abordado pelas tripulações inglesas e americanas de formas diferentes; descreverei, primeiro, o trabalho britânico, já que sua história é mais comprida.

A sonda direcional de Massey, de 1802, foi modificada em 1806,[23] como mostra o desenho anexo à especificação da patente, na figura 20, retirando-se a barra do nível e a peça de lançamento de modo a simplificar sua construção e reduzir o atrito. A sonda podia ser usada com o navio em movimento. Dizia-se que, com o navio a 3 nós, as sondagens eram precisas para profundidade de 60 a 80 braças. Sondagens mais profundas poderiam ser realizadas se o navio reduzia a velocidade ou parava. A Marinha Britânica devia estar satisfeita com o desempenho da sonda, porque, entre 1806 e 1811, comprou 1.750 sondas ao todo (em 1814, ao final das guerras napoleônicas, a Marinha Britânica possuía quase 700 navios na ativa).

Existia, porém, um problema: se a sonda era arriada a 200 braças, seu tubo de ar estava sujeito a ser esmagado pela pressão, e Massey achou que a melhor maneira de se evitar isto era colocando discos de cobre no seu interior.

Massey, ele próprio, tentou aperfeiçoar uma sonda desprovida de cabo, usando seu equipamento direcional, mas descobriu, como podia se esperar, que a bóia destinada a fazê-la retornar à superfície era afetada pela grande pressão da água profunda. Duas outras patentes foram expedidas [24] para melhorar o registrador, de modo a assegurar que ele não começasse a contar antes de a sonda penetrar na água e que fosse efetivamente impedido de girar quando içado. A figura 21 mostra a forma do odômetro e da sonda tal como feita em 1808, já incorporando os melhoramentos de 1806.

Desde que o navio pudesse ficar parado, e isto necessitava de tempo calmo, pois o fundeio em águas profundas não era possível, a sonda direcional era capaz de medir as profundidades oceânicas. Vejamos que problemas poderiam ser encontrados durante tal operação. Quando um grande comprimento de cabo se encontra dentro d'água, o atrito entre o cabo e a água é muito grande. O navio, por outro lado, está se movendo para cima e para baixo, à mercê da ação das ondas. O grande esforço sobre o cabo fica, então, naquelas poucas braças entre o sarilho do convés e as camadas superiores do mar. Este esforço pode ser evitado transportando o sarilho para um pequeno bote, que seria então "ancorado" pelo cabo dentro d'água e não seria agitado pelas ondas (logicamente, é essencial que o mar esteja calmo para o bote não balançar). Existe uma outra alternativa. Isto havia sido mostrado por Massey nos seus gráficos para a patente de 1802 e pode ser visto no lado superior direito da figura 12. Ele colocou o sarilho da linha de sondagem numa pequena balsa que se encontrava a contrabordo, presa ao navio-mãe por espia. A balsa era colocada sobre bóias para mantê-la à superfície e

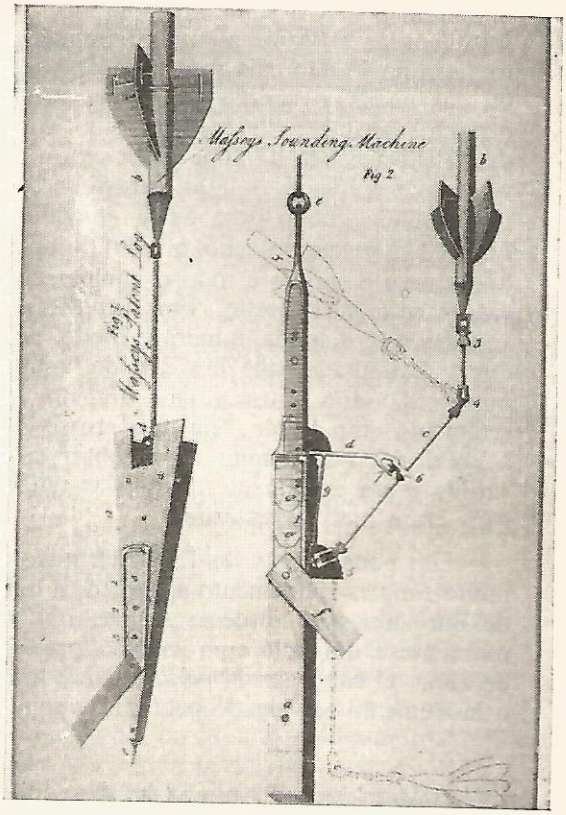


Fig. 21 — Sonda de Marcet, versão posterior a 1808.

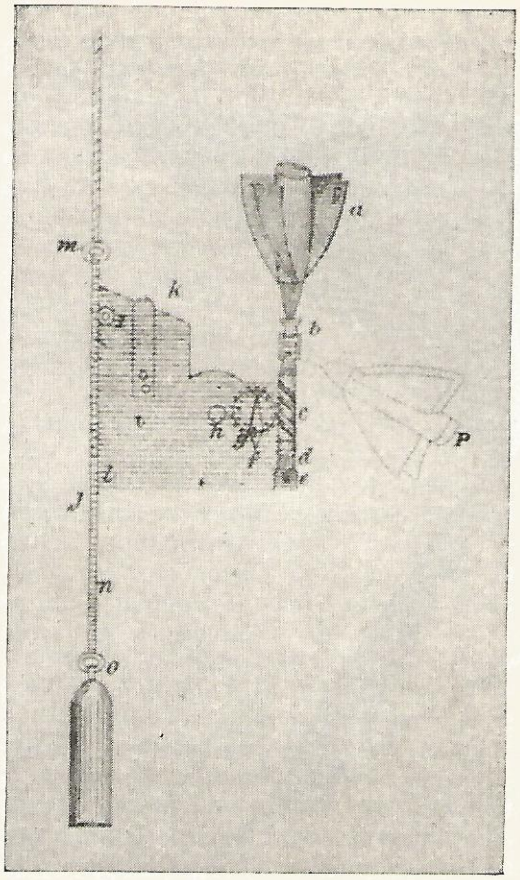


Fig. 20 — Esquema de Marcet para a especificação de patente de 1802.

possuía suas próprias placas de travamento. Se o navio não caía pela ação do vento ou das ondas, o sarilho permanecia sobre o ponto em que a sonda havia sido arriada. O encarregado da faina observava o sarilho girar e, quando a linha parava de correr, assumia que o peso havia atingido o fundo. Um puxão no cabo, no sentido oposto, travava o sarilho e todo o equipamento era trazido para bordo. Em seguida, era verificado se a sonda atingira o fundo, porque a chumbada, que era arriada, estava untada de sebo e trazia uma amostra de sedimento para bordo. Em mar grosso, ou à noite, devia ser muito difícil observar o sarilho e era exatamente quando as sondagens eram mais necessárias.

Um pouco antes de 1818 um novo e muito simples instrumento apareceu: a bóia de Burt com um mordente (figura 22). O mordente é um polé com roldana provida de mola. O cabo gurnia pela roldana; todo o instrumento era jogado pela borda com a linha de sondagem correndo livre pela roldana. Quando a chumbada atingia o fundo e cessava a tensão sobre a linha, o mordente e a chumbada eram assumidos como sendo a profundidade na vertical, o que podia ser verificado pelo registro de uma sonda direcional, caso estivesse, também, fixada à chumbada. Burt afirmava que sua bóia com o mordente, sozinha, era bastante adequada, mas houve um longo e amargo debate entre ele e Massey em diversos panfletos e periódicos náuticos.[25] A Marinha parece ter adotado ambos os métodos e, certamente, para as sondagens mais profundas, não aquelas somente para a navegação, ela veio a usar rotineiramente ambos, a sonda direcional e o mordente.

Ross relacionou a bóia de Burt no Relatório da Expedição de 1818 e parece provável que foi usada em outras viagens árticas, sendo tão digna de nota como a chumbada comum. No entanto, era usada como auxiliar nas sondagens oceânicas e assim

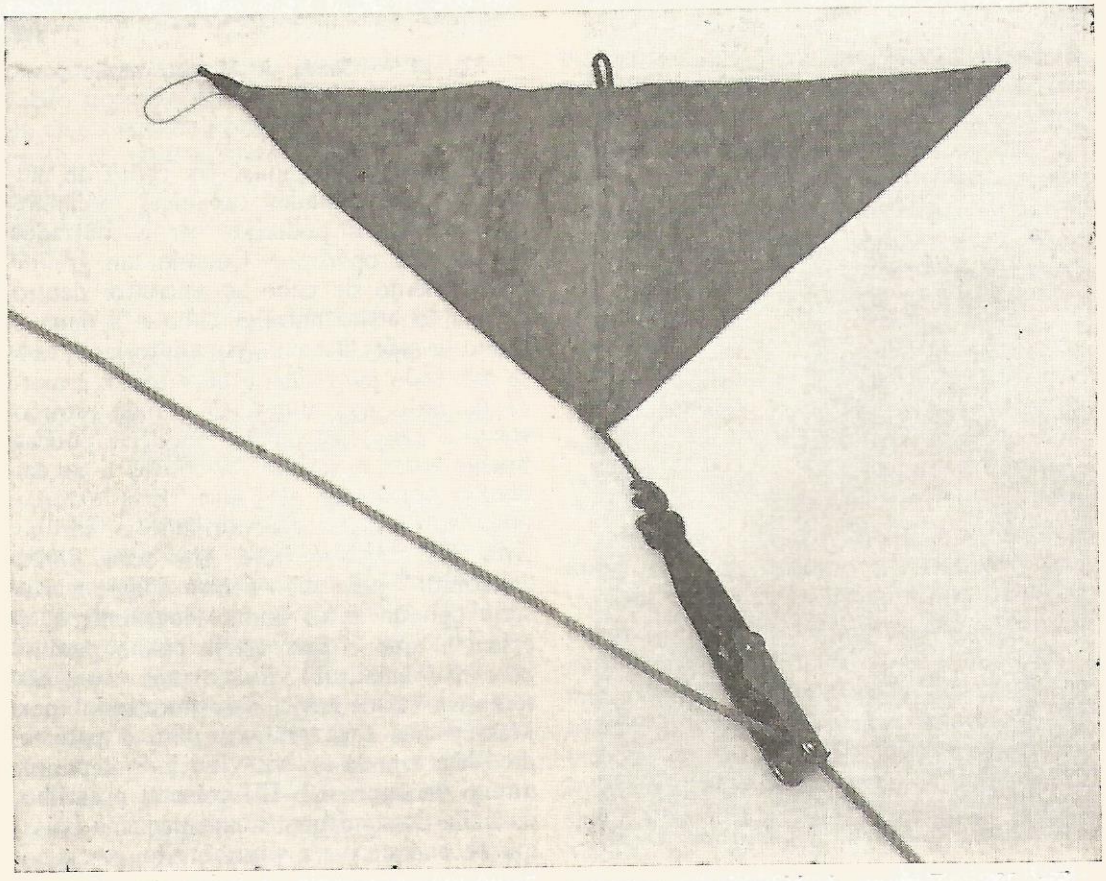


Fig. 22 — Bóia de Burt e polé com mola.

continuou a ser, pelos navios britânicos e americanos, até a última parte do século 19. É claro que não resolveu o problema de a linha ser deslocada da vertical pelas correntes subsuperficiais, como a sonda direcional que Massey pretendia.

Podemos agora rever como os navios americanos resolveram o assunto de sondagens profundas, porque nas águas do Pacífico eles se defrontaram com algumas regiões verdadeiramente profundas, embora ninguém soubesse exatamente o quanto esperar a respeito.

Já vimos que, na água profunda, existe um risco considerável das correntes subsuperficiais encurvarem o cabo. Isto não pode ser aparente da superfície, mas em águas profundas o efeito pode ser considerável. A sonda direcional não operava bem nas águas mais profundas porque a pressão tendia a emperrar o mecanismo. A solução lógica pareceu ser a diminuição da bitola do cabo para reduzir a superfície de contato exposta às correntes submarinas. O problema agora era que, usando-se um cabo mais fino, era impossível içar o peso, pois o da linha na água era tão grande que ela inevitavelmente se partia na superfície ou próximo dela. Assim, os americanos adotaram um novo método. Usaram fio de vela muito leve e arriaram o peso contando cada 100 braças corridas. Quando a linha chegava ao fundo e o peso não mais atuava, a razão de variação da corrida decrescia muito acentuadamente. Certa de que o fundo do mar havia sido atingido, a tripulação cortava a linha, perdendo-a e ao peso, e anotando como profundidade a quantidade de linha corrida. O método era rápido certamente e não era muito caro, já que o fio de vela era muito mais barato do que uma linha de sondagem de boa qualidade. Mas mesmo com este método apareceram alguns resultados conflitantes e alguns capitães gastaram muitos quilômetros de fio de vela sem que suas sondas aparentemente chegassem ao fundo do mar.

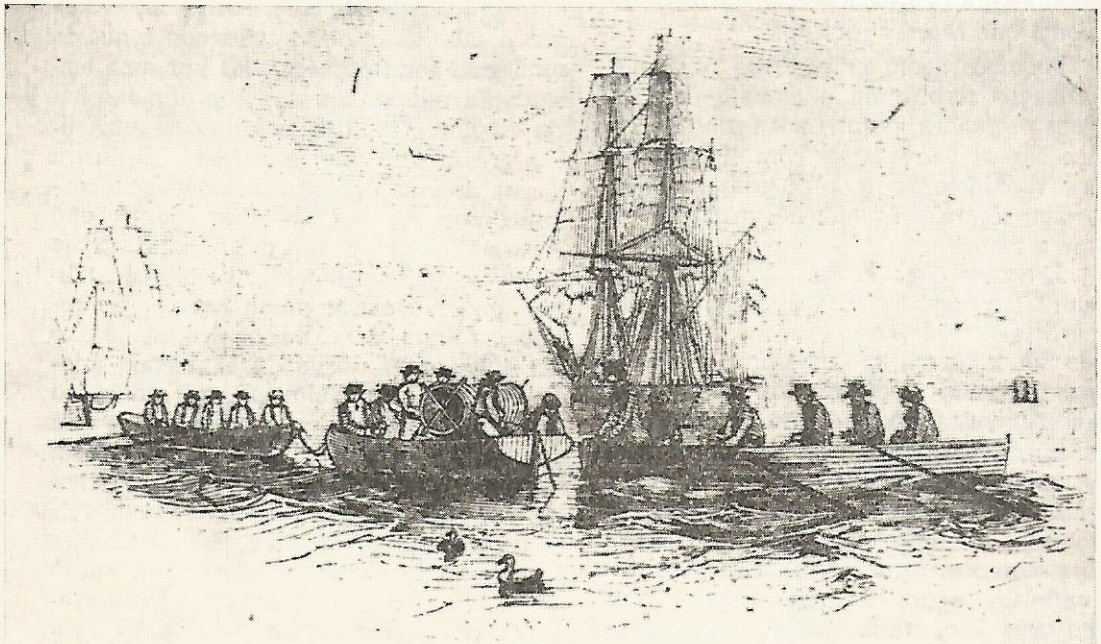
Houve, naquela época, algumas tentativas de substituir o fio de vela por outro de ferro ou cobre, mas esta linha metálica não era flexível e, se formasse cocas, quando o navio se movesse, partia-se imediatamente. Lembremos também que, naquele tempo, não se podia fazer cabos de quaisquer comprimentos, de modo que se uniam pedaços pequenos, o que os enfraqueciam mais ainda.

À medida que se chegava à metade do século, a situação era: em profundidades moderadas, tais como sobre a plataforma continental, a sonda direcional de Massey mostrou ser geralmente adequada, desde que o tubo de ar fosse reforçado e que as sondagens fossem executadas por uma embarcação miúda. Em águas profundas havia escolha. Os britânicos usavam uma linha grossa com peso e a figura 23 ilustra a cena de uma operação de sondagem realizada por James Clark Ross no Oceano Austral durante a expedição antártica de 1839-43.[26] O sarilho é imenso, pois a linha grossa ocupava muito espaço. Os resultados eram, às vezes, equívocos, já que era difícil dizer quando a chumbada atingia o fundo, especialmente em sedimento macio. A alternativa era usar um fio de vela muito fino e perder o peso, mas, neste caso, não havia confirmação de que o fundo havia sido alcançado e, mesmo, o fio da vela estava sujeito à curvatura pelas correntes profundas, de modo que a razão de variação da corrida do fio era retardada ou acelerada por outros fatores que não a chegada do peso ao fundo. Mas em água profunda a técnica americana era, em geral, mais adiantada do que a britânica.

E assim a situação permaneceria por alguns anos se não tivesse aparecido a "Grande Tecnologia Vitoriana", como ficou conhecida. Para servir a esta tecnologia, que consistia em se lançar cabos telegráficos através da terra e do mar no mundo conhecido, tornou-se absolutamente essencial realizar sondagens profundas precisas.

O surgimento do cabo submarino

A telegrafia tornou-se viável praticamente em 1836 e rapidamente foram construídas linhas terrestres. Em 1840, Wheatstone foi o primeiro a sugerir ao Governo Britânico que um cabo poderia ser passado através do Canal da Mancha, ligando os sistemas francês e inglês. A primeira tentativa foi feita em 1850, com uma ligação cheia de sucesso estabelecida em 1851. Dentro de poucos anos, um cabo transatlântico era projetado e seu lançamento começou em 1857 e terminou em 1858. Em 1860, uma rede de cabos, através da plataforma continental, ligava a Bretanha e a Europa às suas ilhas ao largo.



Deep Soundings; or, no Bottom with 600 fathoms. Page 381.

CHAPTER XIII.

Clear the Pack — Cross the Line of No Variation. — Position of Magnetic Pole. — Enter Antarctic Circle. — Meteorological Abstract for February. — Deep Soundings. — Between Bellinghausen and Weddell's Tracks reach Latitude 71° 30′ S. — Gale at Pack Edge. — Perilous Situation for several Days. — The great Comet. — Recross Antarctic Circle. — Search for Bouvet Island. — Various Accounts of its Position. — Last Iceberg seen. — Circle of Mean Temperature of the Southern Ocean. — Meteorological Abstract for March. — Anchor in Simon's Bay. — Touch at St. Helena and Ascension Islands. — No Soundings with four thousand six hundred Fathoms, the greatest Depth yet reached. — Arrive at Rio. — Sail for England. — Cross the Line of No Dip. — Atmospheric Pressure in the Southern Hemisphere. — Arrive in England.

Fig. 23 — Sondagem em água profunda; Ross, 1840.

O conceito de um sistema telegráfico ligando o mundo era revolucionário. Pela primeira vez, os embaixadores e os governadores coloniais perderam sua autoridade. Todas as grandes decisões deveriam ser aprovadas pelos chefes dos governos. Os mestres dos navios mercantes tinham que consultar seus armadores antes de comprar e vender as cargas, pois agora os escritórios sabiam os preços do mercado nas pontas dos dedos. As notícias do estrangeiro podiam ser publicadas nos jornais assim que aconteciam, em vez de muitos meses depois. Em escala menor, o início da previsão do tempo tornou-se possível e, sem dúvida, ajudou a salvar vidas no mar, especialmente em embarcações costeiras e pesqueiras.

Ao observarmos o progresso técnico que tornou possível a telegrafia submarina, notamos que houve três fatores predominantes. O primeiro foi a capacidade de se fabricar cabos de acordo com especificações exatas tanto no que se referia à qualidade elétrica do núcleo condutor e do isolante como quanto à resistência mecânica da armadura exterior. O segundo avanço foi o de desenvolvimento de máquina a vapor. Isto foi essencial tanto para manter o navio lançador de cabos no rumo e velocidade escolhidos, enquanto o cabo estava sendo lançado, como para alimentar os guinchos e outros equipamentos de convés. O terceiro fator foi, naturalmente, a necessidade de um levantamento preciso do fundo do mar sobre o qual o cabo deveria ser estendido. Esse levantamento era absolutamente essencial porque o cabo tinha de repousar exatamente no fundo do mar, e não ficar suspenso sobre terreno acidentado. Se fosse deixada muita folga haveria desperdício de um cabo muito caro. Rochas afiadas e correntes fortes danificariam a armadura e o melhor era evitá-las. Finalmente, era preciso conhecer a temperatura e a profundidade exatas do fundo do mar, porque a pressão e a temperatura afetam a condutividade elétrica do núcleo, e do isolamento de guta-percha, e esses parâmetros tinham que ser levados em conta durante a confecção do cabo.[27]

Os homens que estavam envolvidos nesse trabalho não eram marinheiros. Eram eletricistas, engenheiros e inventores. Pela primeira vez, eles foram para o mar e observaram os problemas pessoalmente. Procurando soluções, inevitavelmente, introduziram novos métodos e materiais.

A sonda de peso descartável

Devemos a dois americanos a primeira sonda de peso descartável. O primeiro é Matthew Maury, do Observatório Nacional de Washington. Ele estava determinado a obter uma técnica de sondagem confiável para o mar profundo. O segundo era seu assistente, um jovem oficial da Marinha, chamado John Brooke. Em 1852, Brooke mostrou a Maury seu projeto para um tubo coletor lastrado com uma bala de canhão que podia ser descartada no fundo do mar, ficando apenas o tubo para ser içado.[28] A figura 24 mostra o modelo dessa sonda. Um tubo de metal leve, saliente alguns centímetros abaixo de barra coletora, em cuja extremidade superior encontra-se um gato do qual pende um tirante que

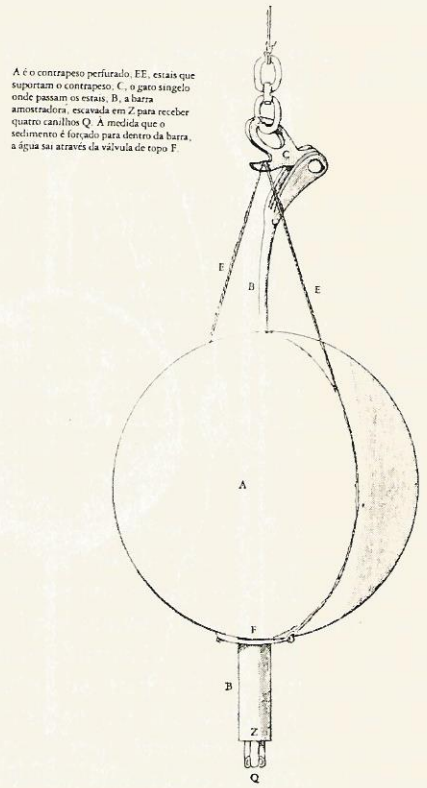


Fig. 24 — Forma original da sonda de Brooke.

Fonte: Maury — *Explanations and sailing directions*, 1858.

suporta a bola de ferro ou bala de canhão. Os canilhos, em forma de pescoço de ganso, inseridos na base de tubo coletor, destinam-se a reter algum sedimento quando o tubo é içado, depois da operação de sondagem. Assim que a sonda atinge o fundo, o gato abre, soltando o tirante e o peso, de modo que o tubo coletor é prontamente içado por um fio de vela ou outro cabo fino. A sonda de Brooke tornou-se famosa e de uma forma ou de outra era usada por navios de várias nações.

Brooke projetou a sonda (figura 24) com um só gato. O fabricante de instrumentos que construiu a primeira sugeriu que com dois gatos seria melhor e a figura 25 mostra esse modelo, do qual foram feitas algumas. Mas, a não ser que os gatos estivessem cuidadosamente ajustados, não se abriam ao mesmo tempo e o tirante não caía, de modo que a versão com um só gato provou ser a mais popular.

A sonda de Brooke foi geralmente bem recebida. Não coletava muito sedimento nos canilhos, mas foram adaptados diferentes tipos de válvulas e sempre que o tubo encontrava um sedimento fino e homogêneo trabalhava muito bem. Mas não coletava nada se o fundo fosse de grandes cascalhos ou rochas. O USS *Arctic*, naturalmente, recebeu-a e foi o navio que fez as primeiras sondagens para o cabo submarino do Atlântico em 1856. O *Arctic*, sob o comando do Capitão Barryman, navegou de ida e volta no Atlântico, sondando em ambas as direções.

Entretanto, quando Maury viu a carta que tinha sido preparada, não ficou contente, pois as sondagens de Barryman, nos dois sentidos, não coincidiam. O problema parecia ser, em parte, devido a erro de determinação da posição. Convenhamos, não se justifica a obtenção de medida precisa de profundidade se não se souber exatamente onde fica essa profundidade.

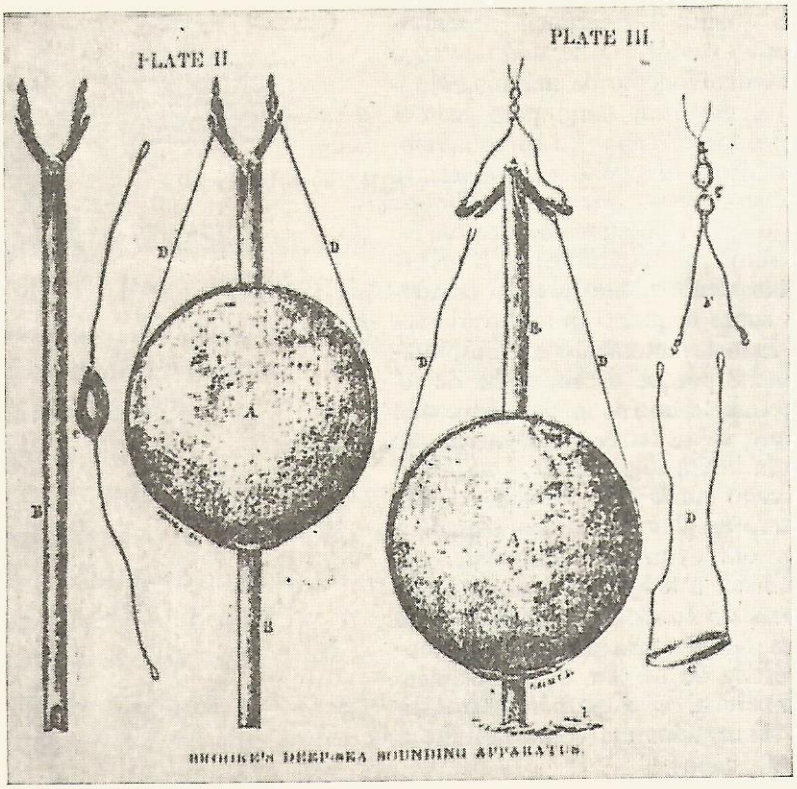


Fig. 25 — Versão de dois braços da sonda de Brooke. A é um contrapeso; B, o tubo amostrador, via anel C. A gravura II mostra a sonda descendo. A III, o ato de soltura do contrapeso, antes do içamento.

O resultado disso foi que a Marinha Britânica mandou, no verão seguinte, o Tenente Joseph Dayman levantar de novo a derrota. Dayman levou também sondas de Brooke, mas teve vários dispositivos novos acrescentados a elas por Massey, que as construiu para a expedição. A figura 26 mostra a sonda de Dayman à esquerda, e duas sondas de Brooke convencionais, à direita. As sondas de Dayman eram mais resistentes, com barra e tirantes metálicos e pesos cilíndricos que faziam o aparelho afundar mais rápido. Dayman tomou o maior cuidado para localizar a posição de cada sondagem na sua carta e produziu um perfil que diferia de ambos os traçados por Barryman.[29]

Esse cruzeiro de sondagem de Dayman marca, em muitos aspectos, a transição entre os velhos métodos e os novos, que se tornariam comuns à medida que o número de cabos se multiplicava. Seu navio, o HMS *Cyclops,* era um vapor de rodas. Havia grande relutância na Marinha em empregar máquinas a vapor. Eram reconhecidamente úteis como rebocadores e barcos costeiros, mas não eram bem-vindos na Armada. O consumo de carvão era muito grande e as estações carvoeiras poucas e muito distantes entre si. As rodas enormes eram vulneráveis sob ataque e limitava o número de canhões que podiam ser montados. Entretanto, para trabalhos de sondagens, elas eram melhor aceitas. O *Cyclops* velejou de uma estação de sondagem para outra. Então, usou o vapor para permanecer na estação com a ajuda de uma bóia de Burt, sobre o ponto onde a linha de sondagem fora arriada. Uma máquina auxiliar a vapor acionava o tambor do sarilho, apressando a recuperação da sonda.

A aparelhagem Dayman conjugava métodos velhos e novos. Ele levou a linha de baleia preferida nos velhos tempos e também uma quantidade de linha de seda fabricada na França, que era usada na Marinha Francesa. Além das sondas de Brooke, levou 20 sondas direcionais de Massey e uma francesa Lecoentre para testes. Ele tinha também seis bóias de Burt grandes e conjuntos de mordentes. Seu método envolveu cronometragem da linha de sondagem a cada 100 braças corridas. As bóias de Burt eram essenciais porque, sendo obrigado a manter o sarilho da linha de sondagem no convés, de modo a que a máquina a vapor pudesse colhê-la, não havia possibilidade de usar um bote para sondagens. As sondas direcionais de Massey eram fixadas aos tubos amostradores, mas Dayman percebeu que sua aferição dependia da espessura do cabo usado. Algumas vezes, seus resultados conflitavam com a profundidade medida pelo comprimento de linha corrida.

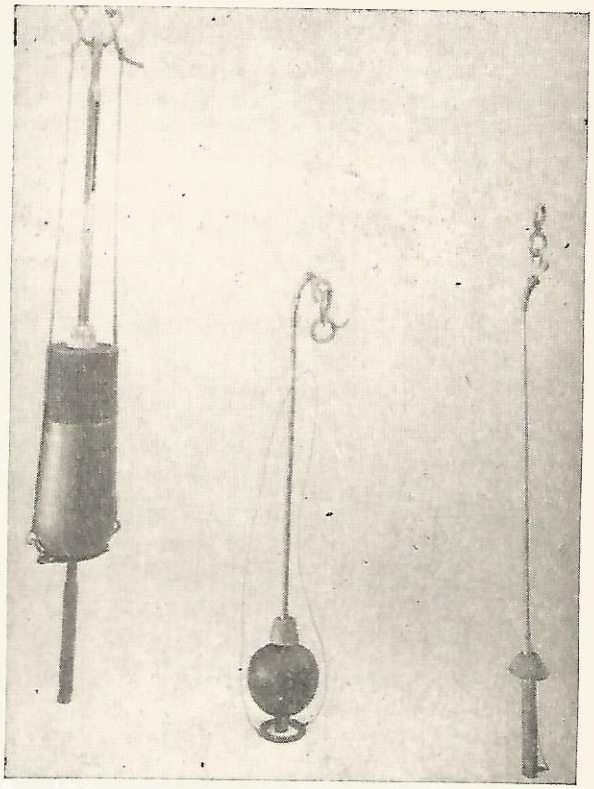


Fig. 26 — À esquerda, versão de Dayman da sonda de Brooke. À direita, duas sondas de Brooke.

Ao memsmo tempo em que Dayman estava trabalhando no Atlântico, outros capitães sondavam no Mediterrâneo, fazendo levantamentos para os locais dos cabos, como ilustrado na carta e trechos mostrados na figura 27. O trabalho deles estendeu-se até ao Mar Negro, onde vários cabos foram lançados durante a Guerra da Criméia. Dois desses capitães fizeram alterações na sonda de Brooke e no método de uso. Uma sonda menor foi construída por Carmelo Bonnice, o ferreiro de bordo do HMS *Spitfire,* comandado pelo Capitão

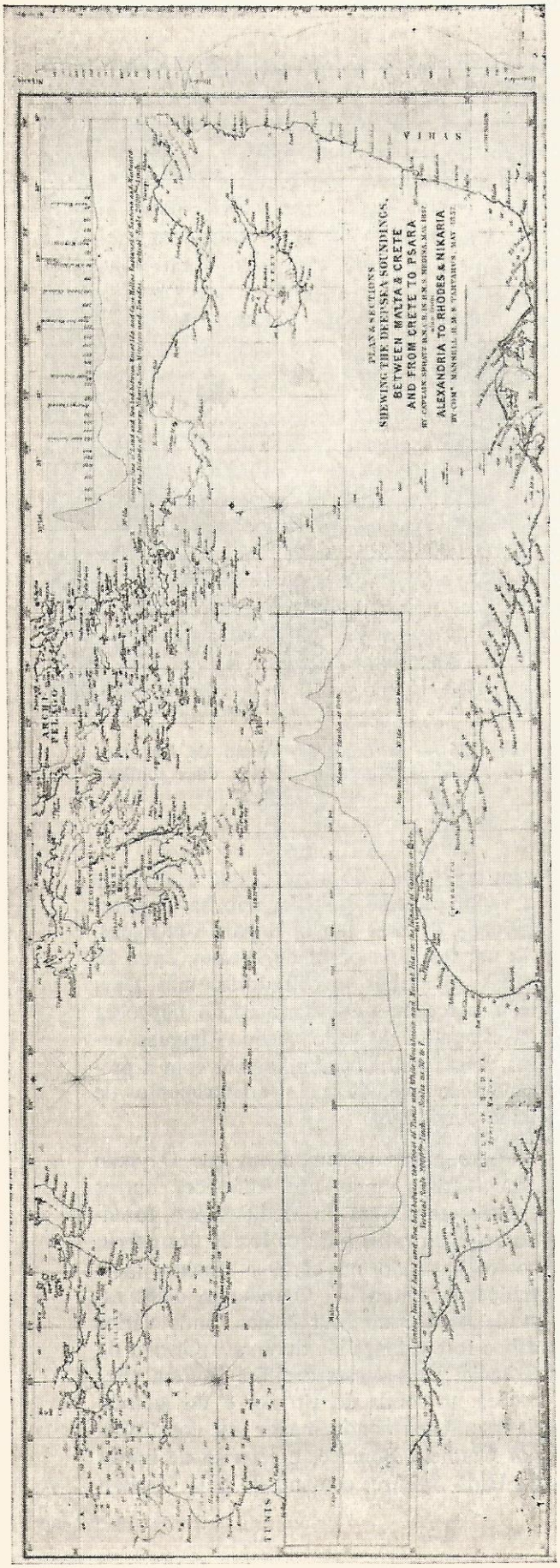


Fig. 27 — Carta e perfis através do Mediterrâneo Oriental, 1857.

Spratt, ilustrada na figura 28. Spratt preferiu um peso de 10 ou 12 libras, preso a uma linha de seda. A seda tinha uma gravidade específica próxima à da água do mar, de maneira que não importava quanta linha entrasse mar adentro, pois era sempre menos pesada do que a chumbada. As garras removíveis de Bonnici podiam ser usadas com um tubo amostrador ou sozinhas, em águas muito profundas, levadas para baixo por um peso maior.[30]

Spratt desenvolveu um sistema complicado de obter sondagens em águas profundas. Ele recomendava que se fizessem três operações em cada local. Primeira, a corrente submarina era verificada. A seguir era feita uma sondagem com uma linha grossa soltando-se bastante linha para ter certeza de obter amostra do sedimento. Por último, uma verificação precisa de profundidade era obtida com uma linha fina, a qual, quando parecia haver atingido o fundo, era checada medindo-se a tensão com uma balança romana. Esse exercício, muitas vezes, acabava partindo a linha, mas isso pouco importava, pois a amostra de sedimento já havia sido obtida.

Em 1857, o Capitão-de-Fragata Mansell estava também sondando no Mediterrâneo. Como não estava obtendo bons resultados com a sonda de Brooke nem com as garras de Bonnici, que experimentou, ele projetou a sonda mostrada na figura 29.[31] Essa sonda descartável, batizada com o nome de Francis Skead, mestre do seu navio, o HMS *Tartarus,* e, na verdade, uma versão da de Bonnici com um só braço. Não recolhia muito sedimento e nunca se tornou popular, mas serve para mostrar que nenhuma sonda era eficaz em todas as profundidades nem para todo tipo de sedimento. Freqüentemente, os melhores resultados eram obtidos fabricando-se algum aparelho a bordo para suprir uma necessidade específica.

Estender um cabo através do Atlântico significava atravessar águas muito profundas. Se o cabo partisse, o reparo era custoso e difícil, especialmente nos meses tormentosos de inverno. Talvez fosse pre-

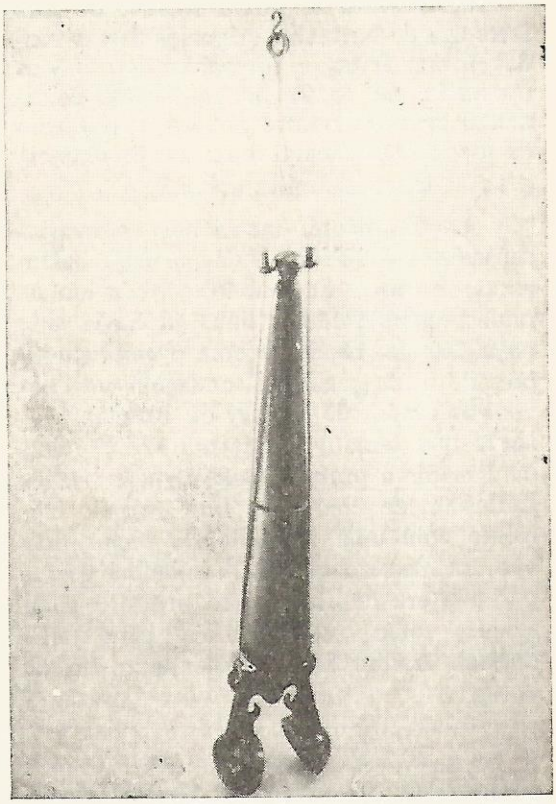


Fig. 30 — Sonda "buldogue".

vela se partia antes da medida ser feita. Fazia-se necessário alguma forma de amortecimento ou mola para compensar o movimento abrupto do navio. Este equipamento, mostrado na figura 31, foi chamado de "acumulador". Consistia em dois discos de madeira através dos quais passava um certo número de tiras elásticas. A linha de sondagem era presa às placas, permitindo-se uma certa quantidade de folga. Quando o navio balançava, o elástico se esticava, de modo que a linha era esticada, mas nunca retesava. A primeira vez que ouvimos falar de emprego de acumulador foi no HMS *Hydra,* em 1868, [33] embora a ilustração mostre seu uso no HMS *Porcupine,* no ano seguinte.

A sonda do *Hydra* era também uma modificação da de Brooke, mas, como mostrado na figura 32, o tubo amostrador foi bastante aumentado e ela marca, juntamente com a garra "buldogue", a divisão das sondas em duas classes de amostradores e testemunhadores, dependendo da natureza do sedimento em pauta. Nenhum destes tipos podia amostrar fundos rochosos e, nestes casos, era necessária uma draga rebocada no fundo do mar, um trabalho verdadeiramente demorado.

O desenvolvimento da máquina de sondar

Chegamos agora a um salto verdadeiramente grande nas técnicas de sondagem: o aparecimento dos cabos metálicos. Já era evidente que os levantamentos inadequados para colocação de cabos resultavam em avarias, enquanto que o custo de recuperação e reparos dos cabos eram maiores que os prejuízos quando ele estava fora do serviço. O Governo Britânico nacionalizou a rede terrestre de cabos em 1869 e inundou de capital o mercado, muito do qual foi imediatamente reinvestido em novos cabos transoceânicos. Até então, os levantamentos eram quase todos efetuados pela Marinha Britânica, pois a maioria das companhias

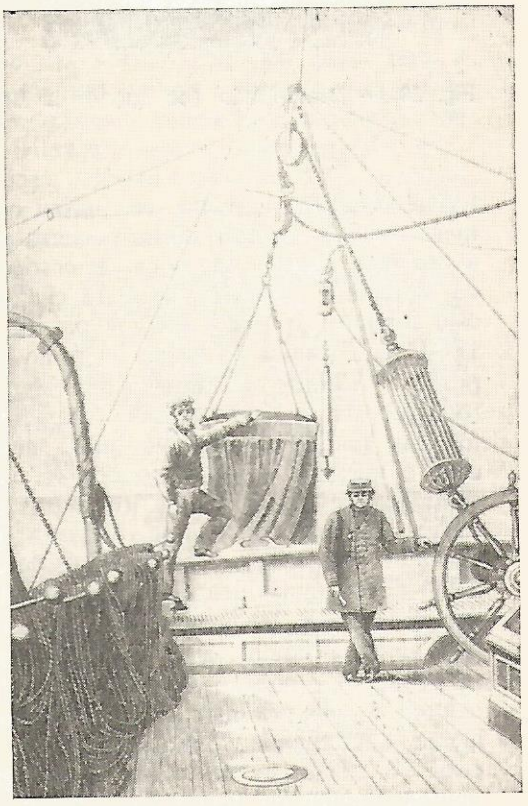


Fig. 31 — Aparelho de laborar de popa do HMS *Porcupine* mostrando a draga (esquerda), uma sonda Stellwagen (centro) e o acumulador (direita)

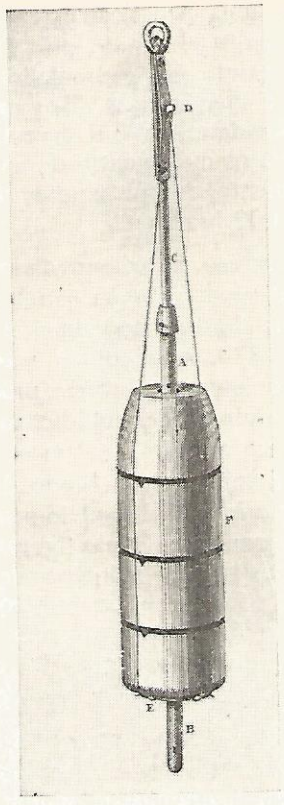


Fig. 32 — Sonda Hydra. A-B é o tubo amostrador oco; C, uma barra sólida; D, a mola libertadora, e E, um anel de ferro que segura os pesos descartáveis F.

de cabos era inglesa. A demanda era, agora, muito grande e a Marinha abdicou em favor das companhias que se dedicavam à construção de navios cuja finalidade específica era sondar e estender os cabos. Foi nesse momento que apareceram diversas técnicas novas. O uso do fio metálico foi a mais importante e abriu o caminho para a invenção da máquina de sondar. Levou, também, à construção de sondas registradoras elétricas e de outras novidades, muitas das quais nunca foram utilizadas no mar ou sequer saíram das pranchetas.

Foi anteriormente explicado como, durante os primeiros anos do século 19, a sondagem com um cabo metálico fracassara, porque o próprio fio era emendado ou quando a chumbada atingia o fundo. Agora, com a grande experiência dos fabricantes em preparar grandes extensões de fios para cabos e cabos de arame para a indústria, era possível fazer-se cordas de piano, de aço temperado altamente elástico, com comprimentos de 100 braças, que podiam ser emendados por meio de junta macia e resistente. Os pontos fracos remanescentes ficavam, de fato, nas extremidades de cada emenda, onde tende a aparecer fraqueza mecânica.

A primeira pessoa a fazer com sucesso uma sondagem com fio metálico foi Sir William Thomson (1824-1907), mais tarde Lorde Kelvin. Ele era professor de Filosofia Natural da Universidade de Glasgow, dava assessoria e fazia investimentos em várias companhias telegráficas. Trabalhando em seu próprio iate a vapor, aprimorou diversos equipamentos de navegação; é muito conhecido por suas agulhas e bitáculas, bem como por diversos modelos e máquinas de sondar.

Em junho de 1872, Thomson experimentou sua primeira máquina, na Baía de Biscaia, onde a água tinha, pelo menos, 2.000 braças de profundidade.[34] A figura 33 mostra essa máquina simples: do tambor, o fio passava sobre uma polia engrenada a um contador de braças e daí para a água. O tambor possuía freio de fricção, sob a forma de um cabo provido de pesos que eram adicionados até quase contrabalançar o peso do fio e da chumbada dentro d'água num dado instante. Desse modo, quando a chumbada atingia o fundo do mar, o peso total era subitamente reduzido e o cabo de fricção freava o tambor, o fio parando de correr. O comprimento do cabo corrido era lido no mostrador do contador

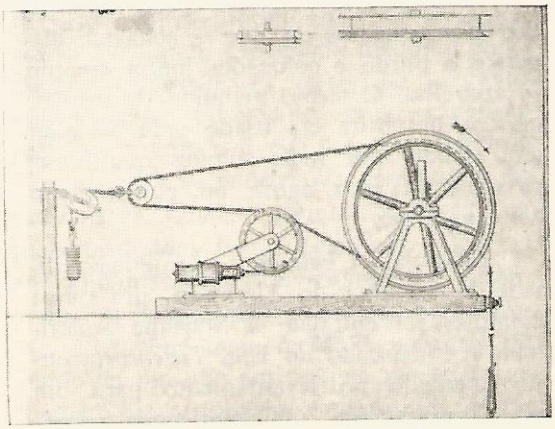


Fig. 33 — Máquina de sondar de Thomson, tal como fornecida ao *Blake*.

e se iniciava o içamento. Ao efetuar a primeira sondagem, Thomson percebeu que, no içamento, estava colocando uma terrível sobrecarga no tambor. Apesar do tambor ter se entortado, a operação foi terminada e o tubo coletor içado cheio de sedimento, para grande alívio.

Esta experiência resultou em que máquinas posteriores fossem equipadas com o tambor e uma roldana separada, que, sozinha, tinha de agüentar a carga. Esta roldana podia ser de construção muito robusta, sem afetar o trabalho da máquina, mas era essencial manter o tambor o mais leve possível, desde que ela tinha de ser travado pela ação do cabo de atrito no instante em que o amostrador ou chumbada atingisse o fundo. Se fosse muito pesado, ele tenderia a atuar como um volante e continuaria a girar depois do momento do impacto.

Depois deste teste, Thomson forneceu uma máquina para ser utilizada a bordo do HMS *Challenger,* na época prestes a partir para sua viagem de circunavegação de três anos. A tripulação, contudo, não foi capaz de tirar proveito dela e abandonou-a em favor do cabo convencional de cânhamo.

Logicamente, para ser empregado com eficiência, o cabo metálico exigia uma máquina desse tipo. Por sua vez, a máquina de sondar só se tornou viável devido ao uso do fio metálico, cujo volume era pequeno comparado com igual comprimento de um cabo convencional de cânhamo. O acumulador, o sarilho ou tambor elétrico e a linha de sondagem foram todos retirados dos vários lugares em que se achavam dispersos a bordo e colocados juntos em um só aparelho. O termo máquina de sondar, que na literatura era usado para designar uma sonda, por mais simples que fosse, passou a designar, agora, um equipamento desta natureza.

Embora o *Challenger* não tenha utilizado a máquina de Thomson, um outro exemplar foi entregue à Marinha Americana e embarcado no USS *Tuscarora,* então engajado no levantamento para um cabo transpacífico. Os americanos substituíram os pesos por uma estralheira que Thomson havia oferecido ao *Challenger* (a figura 33 mostra a máquina como montada pela Marinha Americana, revertendo ao primeiro leiaute escolhido por Thomson). Não empregando um acumulador, eles tinham que colher com as mãos para poder obter a velocidade variável necessária e levar em conta os movimentos do navio. Com tal equipamento, foram capazes de sondar perto de 5.000 braças.[35]

O progresso no desenvolvimento da máquina de sondar passou agora à América, pois que Sigsbee, trabalhando no USS *Blake,* em 1874, substituiu a máquina de Thomson por outra de projeto próprio, dotada de acumulador de mola helicoidal, que entrou em uso no ano seguinte.[36] A figura 34 mostra a instalação a bordo do *Blake.* A experiência com esse modelo resultou em outros melhoramentos e, nas figuras 35 e 36, desenhos mostram a máquina de sondar de Sigsbee na forma em que foi construída e fornecida a diversos navios dos Estados Unidos. O primeiro exemplar foi montado no *Blake,* a tempo para temporada de 1879.

A máquina estava agora com a forma que seria, em essência, o padrão para todas as futuras máquinas de sondar, isto é, um tambor de aço leve para armazenagem do cabo; um registrador para contar as revoluções do tambor; uma polia; um acumulador composto de molas espirais conectadas a uma cruzeta móvel por meio de correntes ou cabo de metal; uma catarina que permitia colher o cabo enquanto o navio se deslocava para vante; tensiômetros de molas que eram presos ao cabo do freio para mostrar, a cada instante, a resistência, à medida que o cabo e a chumbada estavam sendo arriados. A máquina toda podia ser facilmente desmontada e guardada em uma caixa para armazenamento ou transporte.

Para prevenir que o cabo metálico encocasse quando o amostrador atingisse o fundo era comum colocar-se um pedaço de cabo de cânhamo imediatamente acima da chumbada. Sigsbee e seus colegas também aprimoraram o tubo coletor, com modelos sendo introduzidos de acordo com a natureza do fundo a ser amostrado e também do volume de sedimento que era necessário em caso de se fazerem análises.

Nos anos subseqüentes a máquina de sondar apareceu nos navios de muitas Marinhas. A forma do equipamento dependia

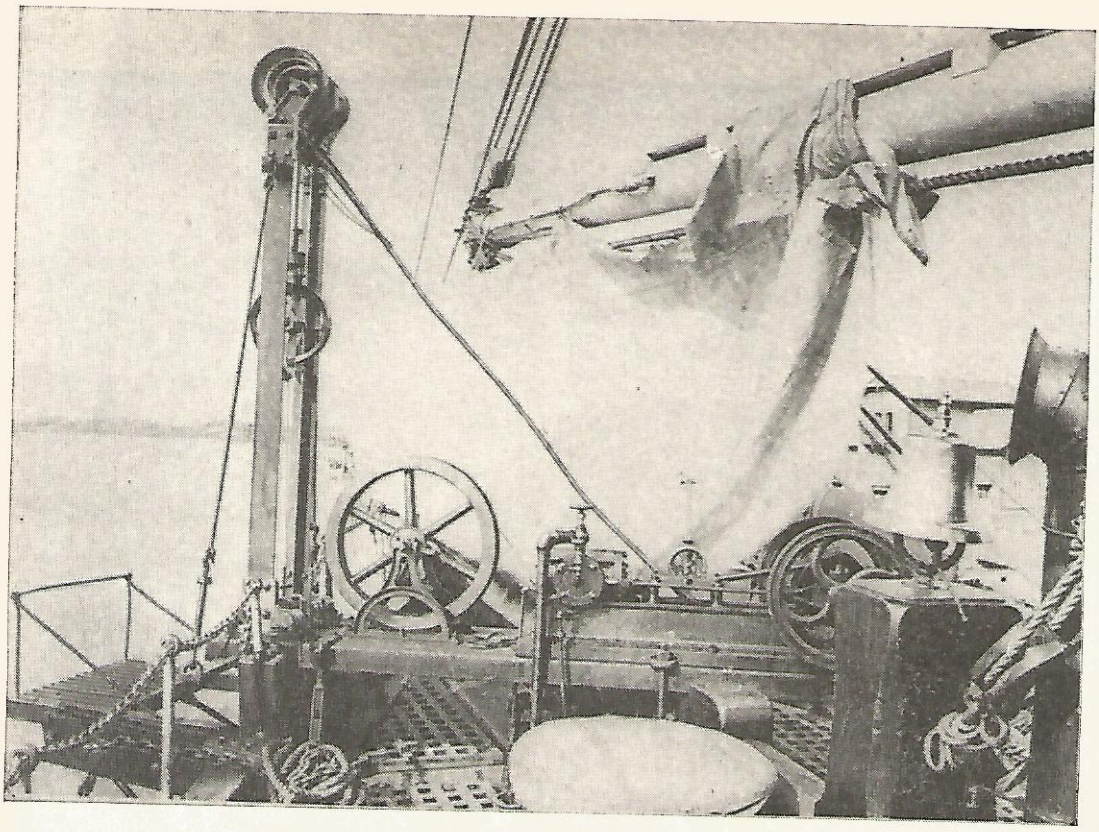


Fig. 34 — Primeira máquina de sondar de Sigsbee, instalada no *Blake*.

do tipo do navio onde ia ser colocada, mas os componentes básicos permaneciam os mesmos. Com os guinchos a vapor era possível içar a linha à medida que o navio se deslocava para o próximo ponto, e o atrito do cabo na água era desprezível, em comparação com o cabo de cânhamo. Assim, o tempo despendido na sondagem era reduzido grandemente e isto permitiu aos navios navegar em condições do tempo que eram ruins para os outros métodos. Em águas muito rasas era mesmo possível sondar sem parar o navio desde que se levasse em conta a inclinação do cabo na água.[37]

O Príncipe Alberto, de Mônaco, que efetuou uma série de expedições oceanográficas em seus navios especialmente construídos para esse fim, durante a última parte do século 19, introduziu o uso de cabo de arame com nove cordões depois de 1894,[38] descobrindo que este era mais confiável do que o cabo simples, tipo corda de piano, mas, em outras partes, o cabo singelo continuou em uso até o século atual.

O ponto alto da máquina de sondar é, talvez, aquela construída por Francis Lucas, um engenheiro telegráfico que participou da primeira expedição, em 1856, de lançamento de um cabo transatlântico. Seu primeiro projeto foi patenteado em 1887.[39] Diversos modelos foram construídos, mas a figura 37 mostra a pequena máquina compacta que permaneceu em serviço até muito recentemente, finalmente sendo superada pelo quase universal uso dos ecobatímetros (exceto onde se necessitava de amostra do sedimento). Com a máquina de Lucas, as mais profundas fossas oceânicas puderam ser atingidas. Para levantamentos gerais, virtualmente qualquer chumbada podia servir, desde que fosse recolhida amostra do fundo do mar. Se um volume maior de sedimento era necessário, então o cabo podia levar qualquer um dos vários tipos de amostradores e testemunhadores, dos quais alguns modelos são mostrados na figura 38,

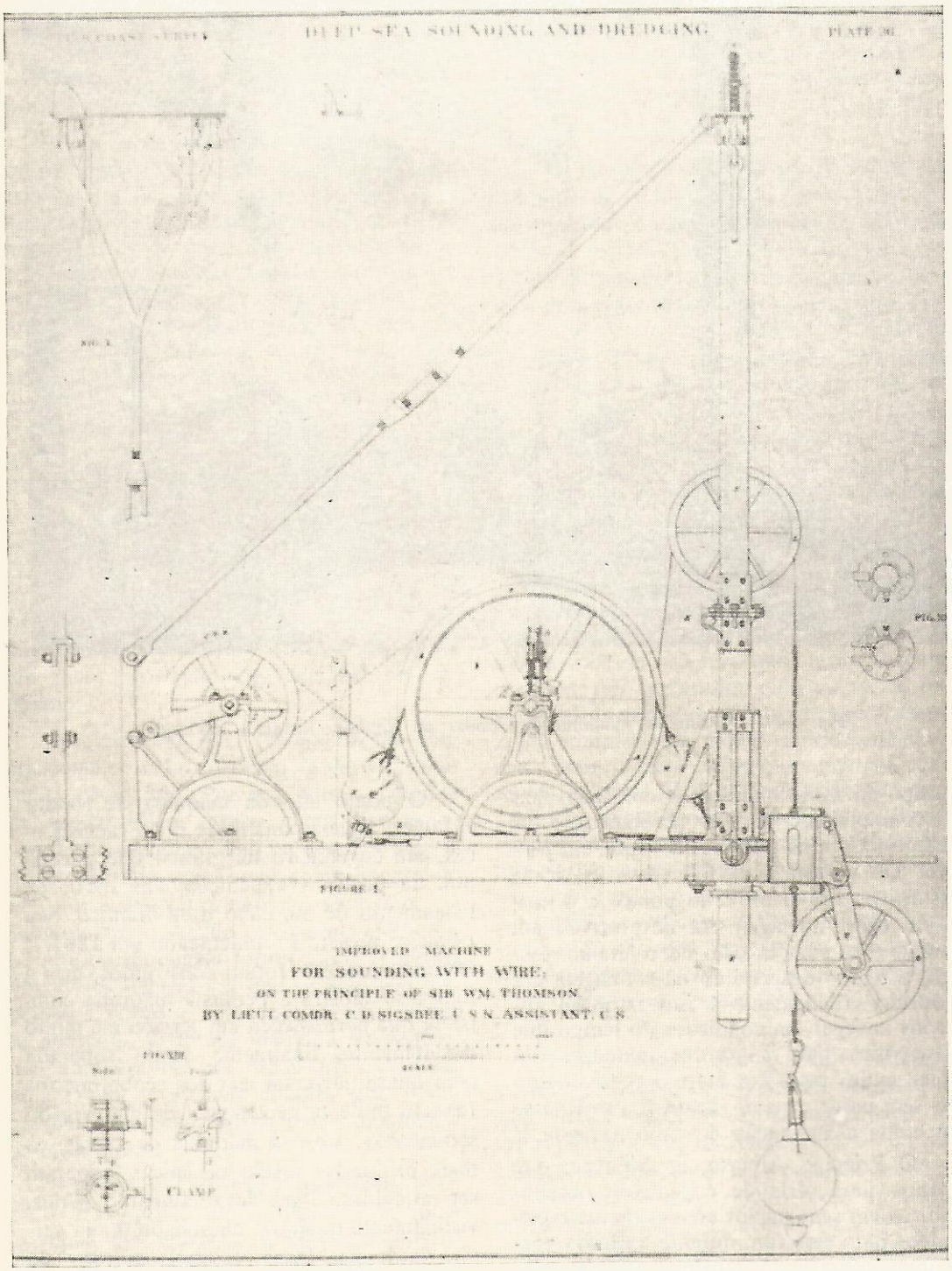


Fig. 35 — Máquina de sondar de Sigsbee, aperfeiçoada.

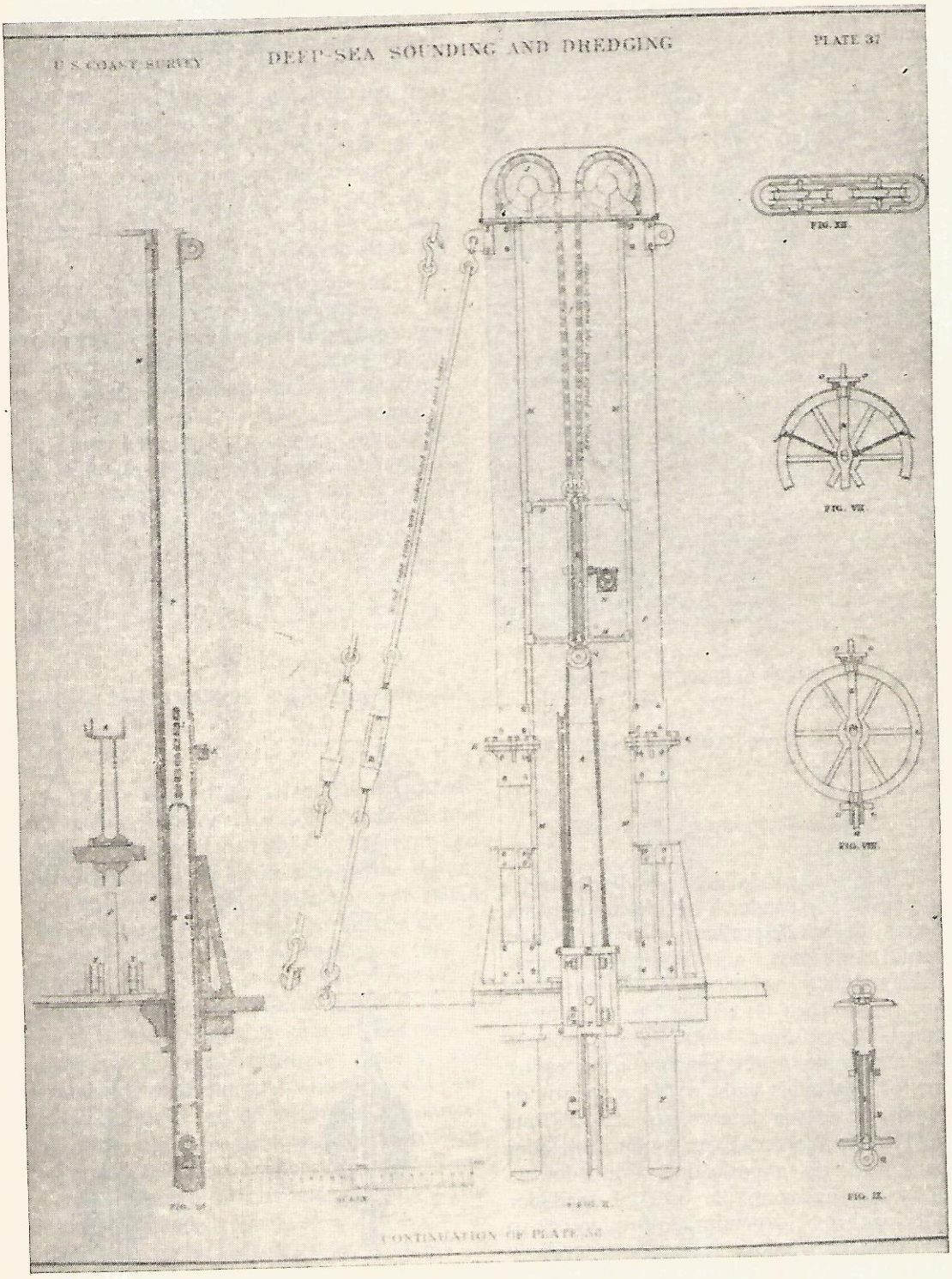


Fig. 36 — Máquina de sondar de Sigsbee, aperfeiçoada.

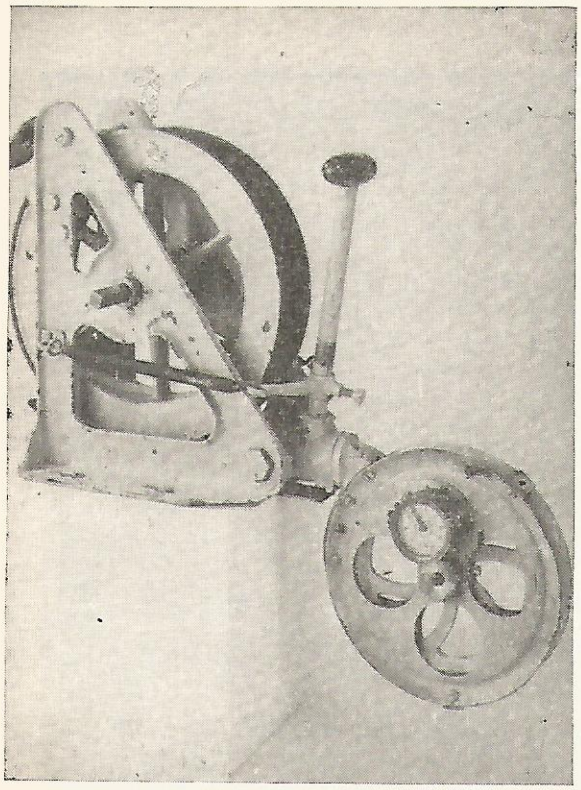


Fig. 37 — Máquina de sondar de Lucas.

selecionados de acordo com a natureza do fundo.

Sondas direcionais e de pressão

Afora a sonda de peso descartável e a máquina de sondar havia duas outras maneiras de se determinar a profundidade, conforme vimos, nos primeiros tempos. Primeiramente, vejamos a sonda direcional que, no começo do século 19, havia quase atingido sua forma ótima: foram submetidas a diversos melhoramentos patenteados, muitos dos quais vinham dos membros da família Massey e de seus parentes, a firma de Thomas Walker. Esses foram projetados para melhorar a posição do sondador na linha de sondagem. Se este tal sondador direcional fosse dependurado fora do centro do equilíbrio, todo o instrumento tendia a girar e, claro, o registro ficava impreciso. O risco podia ser diminuído pendurando-se o registrador num braço de alavanca ou, melhor ainda, pendurando-o dentro de uma pequena armação colocada na linha a alguma distância da chumbada, como mostrado na figura 39. Alternativamente, um par de sondadores direcionais podia ser fixado à chumbada. Brooke, famoso inventor da sonda de peso descartável, patenteou um direcional desta forma, na América, em 1860, [40] e havia outros deste tipo na Inglaterra e na América. Mas foi o modelo autocontido que mostrou ser o melhor e tal tipo, feito por Massey e outras firmas sob licença, sobreviveu até os primeiros anos deste século.

Em segundo lugar, podemos considerar o desenvolvimento do manômetro de pressão como sondador. Esses podem ser divididos em duas classes: a primeira inclui equipamentos nos quais uma câmara-de-ar é comprimida pela pressão da água e, de algum modo, faz registrar esta compressão. A segunda classe incorporava algumas modificações aos medidores de pressão comuns em engenharia, que apareceram por volta de 1860.

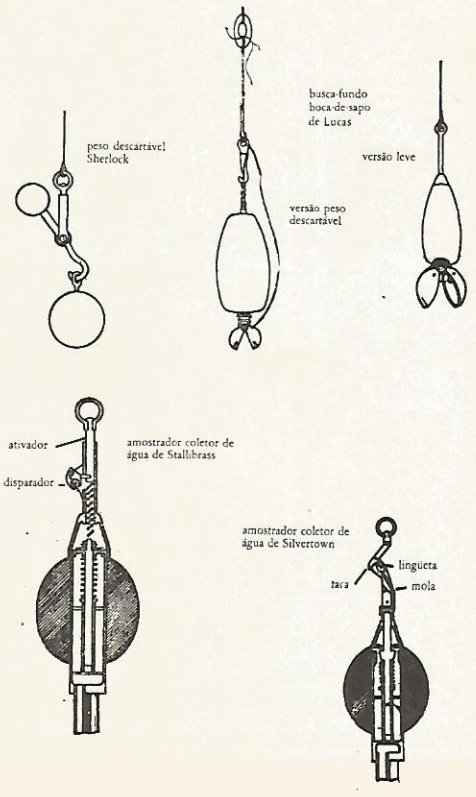


Fig. 38 — Alguns pesos descartáveis, busca-fundo e amostradores-testemunhadores, utilizados com as máquinas de sondar de Lucas.

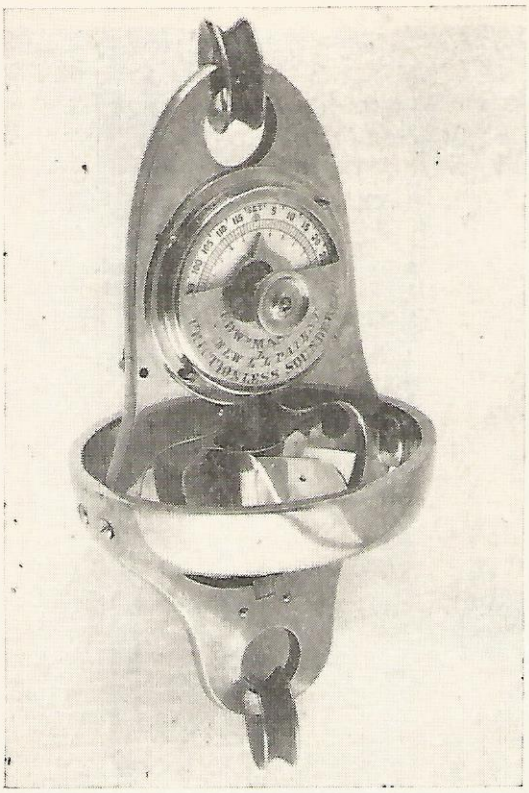


Fig. 39 — Sondador patente sem atrito de Massey.

Uma das primeiras sondas de pressão a ganhar popularidade foi inventada por John Ericsson, em 1835.[41] Ericsson era um maquinista de navio e trabalhou durante algum tempo na Inglaterra, onde havia projetado um hélice. Mas a Marinha estava concentrada na idéia de vapores à roda e quando seus projetos foram rejeitados Ericsson mudou-se para a América. A figura 40 mostra uma de suas sondas e, pelo desenho da patente mostrado junto ao instrumento, vê-se que sua construção era simples. Um tubo oco de metal fundido ampara o tubo de vidro principal aberto no topo na forma de um pequeno cano curvo. Uma pequena abertura no compartimento da escala graduada conecta-se à câmara principal. Ao ser arriada no mar, o ar dentro dessa câmara é comprimido até que a água que está entrando atinge o topo do cano recurvado. Aí, ela desce pelo tubo graduado, lá permanecendo de forma que o nível pode ser lido quando a sonda é trazida de volta ao convés. A água pode ser escoada, depois, por uma torneira na base do tubo.

Essa sonda foi fabricada comercialmente e era usada largamente em navegação pelos navios. Por meio de alteração do formato do tubo de vidro foi possível aumentar a escala de modo que servisse para águas mais profundas. Sir William Thomson disse que ela era popular em 1878, época em que se dedicou ao invento de outro tipo de sonda de pressão para ser usada com suas próprias máquinas de sondar. A primeira sonda de pressão de Thomson usava um novo modo de registro. O interior do tubo de vidro foi recoberto com um produto químico que mudava de cor quando molhado pela água do mar. Era sua intenção que esta sonda fornecesse um meio de verificação daquela fornecida pelo cabo metálico ao se fazer sondagens com o navio em movimento.[42] A figura 41 mostra uma de suas pequenas máquinas de sondar juntamente com um conjunto de tubos sonda-

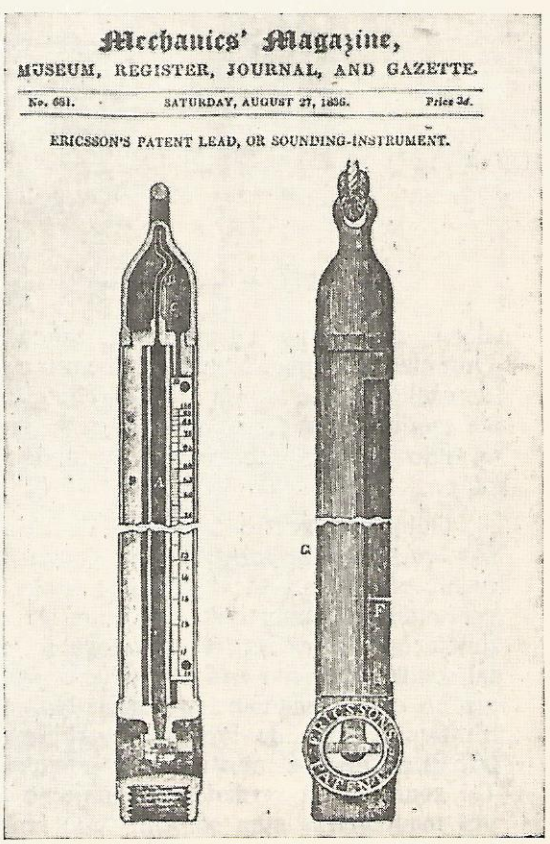

Mechanics' Magazine,
MUSEUM, REGISTER, JOURNAL, AND GAZETTE.
No. 681. SATURDAY, AUGUST 27, 1836. Price 3d.
ERICSSON'S PATENT LEAD, OR SOUNDING-INSTRUMENT.

Fig. 40 — Sonda de pressão de Ericsson.

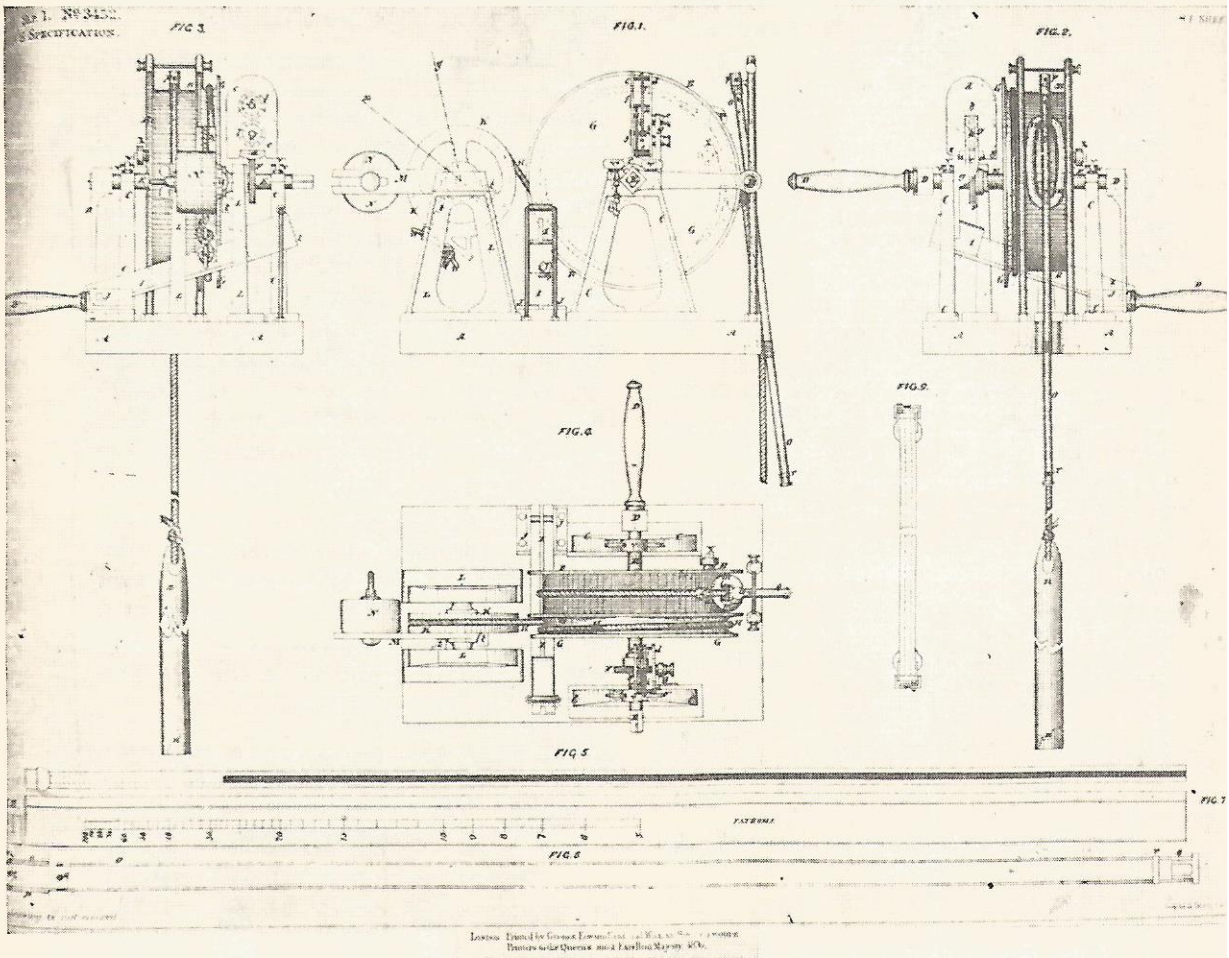


Fig. 41 — Máquina de sondar e sonda de pressão de Thomson.

dores, fixados um de cada vez, acima da chumbada de ferro. Note-se também o cabo de cânhamo que separa o fio da chumbada de modo que o fio não se dobre e parta quando a chumbada chegar ao fundo do mar.

Outro manômetro de pressão de Thomson que também foi fabricado comercialmente era o chamado "indicador triplo de profundidade", mostrado na figura 42. A ilustração mostra os três componentes de tal sonda. À direita está o invólucro protetor no qual o manômetro descia. No centro fica a caixa de bronze que cobre os frágeis elementos mostrados à esquerda. Tal sonda é, na verdade, um conjunto de três manômetros num só. Um tubo muito longo foi dispensado porque ela possui três tubos curtos de diferentes diâmetros. Cada manômetro consiste de um tubo de vidro ligado por um estreito pescoço a um tubo de bronze, curvado em U. Os tubos de bronze são recobertos com fina camada de gaze de algodão. Conforme explicado por Thomson, [43] a água pode ser forçada através desse tecido pela pressão, mas, quando molhada, a gaze é virtualmente à prova de ar e, assim, o ar dentro do tubo é comprimido pela entrada da água. As bases dos tubos de vidro estão cobertas por forro de borracha colocado dentro do invólucro de bronze. Em águas rasas, o tubo de menor diâmetro fornecerá a melhor leitura, enquanto que, em águas mais fundas, ele pode ficar completamente cheio, de modo que os tubos mais largos fornecerão a leitura. As três escalas eram calibradas para 20-50 metros, 50-107 metros e 107-230 metros, respectivamente.

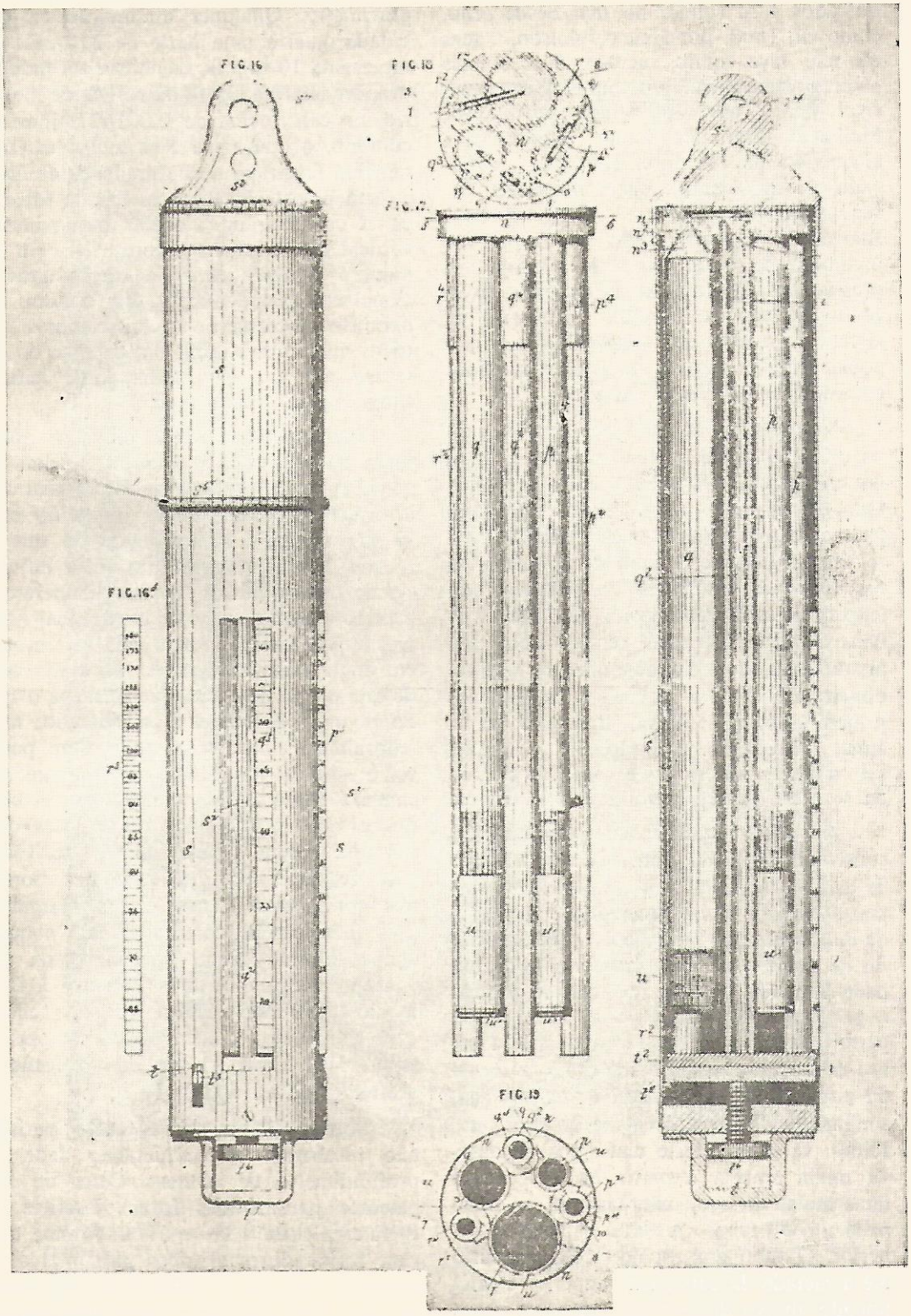


Fig. 42 — Manômetro de profundidade triplo de Thomson.
Fonte: GB Patent.

Os manômetros de pressão foram modificados para sondar no mar desde cedo, como em 1860, por Henry Johnson, [44] mas ele não teve muito sucesso. Suas sondas empregavam água com material compressível e isto não era nunca satisfatório. Melhores resultados foram obtidos pela adaptação de um tubo Bourdon, empregado no manômetro Bucknill-Casella, desenvolvido entre 1870 e 1875. [45] O tubo Bourdon era transportado dentro de um invólucro de metal cheio de glicerina. A pressão da água atuava na glicerina exercendo pressão sobre uma membrana de glicerina no topo do instrumento e o dial podia ser lido através de painel de vidro colocado no invólucro externo.

Veremos agora um novo tipo de sonda que, por causa de seu inventor ter sido um importante engenheiro, foi experimentado em diversas ocasiões. Era muito interessante a sua concepção, embora tivesse falhado devido à falta de conhecimentos sobre as condições do substrato do leito do mar. Durante o ano de 1870, William Siemens fez duas versões deste seu instrumento, que ele denominou "profundímetro". [46] Foi o primeiro instrumento projetado para medir a profundidade da água, através da variação da gravidade, sob a quilha do navio e sem necessidade de se arriar qualquer coisa dentro d'água.

A versão aperfeiçoada (figura 43) construída em 1875 consistia em um tubo de aço fechado em cada extremidade, suspenso em um cardã, imediatamente acima de seu centro de gravidade, para impedi-lo de atuar como um pêndulo. A extremidade superior do tubo era aberta quando o profundímetro ia ser usado, de modo a permitir a ação da pressão atmosférica sobre o sistema. A parte inferior era fechada por uma placa corrugada fina, de aço, similar àquelas usadas em barômetros aneróides. O centro deste diafragma repousava numa cruzeta a partir da qual saíam duas molas de aço, externamente ao comprimento do tubo e presas à capuchana superior. O tubo era enchido com mercúrio até a metade da capuchana superior e tamponado abaixo desse nível, na parte superior do tubo, com uma placa contendo pequeno orifício de modo a prevenir o bombeamento.

O profundímetro era, com efeito, um gravímetro. Qualquer diminuição da gravidade igual a uma parte de 370 mil, que representa 10 braças, resultaria em redução proporcional na altura da coluna de mercúrio, no caso, cerca de 0,00162 milímetro; contudo, o diafragma e as molas externas também reagiriam a esta mudança de nível, e Siemens calculava que as leis da Mecânica o capacitariam a medir o movimento vertical do diafragma e convertê-lo em um número representativo da tração gravitacional em qualquer lugar. Ele colocou um parafuso micrométrico com contatos elétricos abaixo do diafragma; o passo do parafuso era tal, que podia fazer leituras equivalentes a uma braça.

Siemens estava certo ao supor que a força da gravidade, como era medida no convés por seu profundímetro, variava com a distância da quilha ao fundo do mar, já que a água é menos densa do que as rochas. Mas tal instrumento sofre influência de muitos outros fatores: temperatura, pressão atmosférica e latitude na qual o navio estiver operando têm que ser levados em conta. Siemens também se dava conta de que o tipo de rocha que formava o fundo do mar deveria ser considerado, mas, naturalmente, isso não era sempre possível quando as rochas estavam cobertas por camada espessa de sedimentos. Siemens nunca obteve resultados consistentes com seu profundímetro. Ele ignorava as variações regionais da gravidade nas bordas dos continentes e nas placas marginais, pois não eram compreendidas naquela época. Mesmo sendo engenhoso na sua concepção, esse instrumento estava à frente da capacidade técnica daquele tempo, e os gravímetros nunca foram capazes de separar as variações devidas somente à profundidade da água.

Muitas das invenções desse período não receberam a consideração dada ao profundímetro de Siemens. Cerca de 100 patentes para sondas foram inscritas na Inglaterra entre 1850 e 1900. Muitas usavam registradores elétricos para marcar o momento em que a sonda batia no fundo do mar. Isso podia ser feito colocando-se certos líquidos condutores, como o mercúrio, dentro da sonda e fixando-se contatos elétricos no topo e na base. Quando

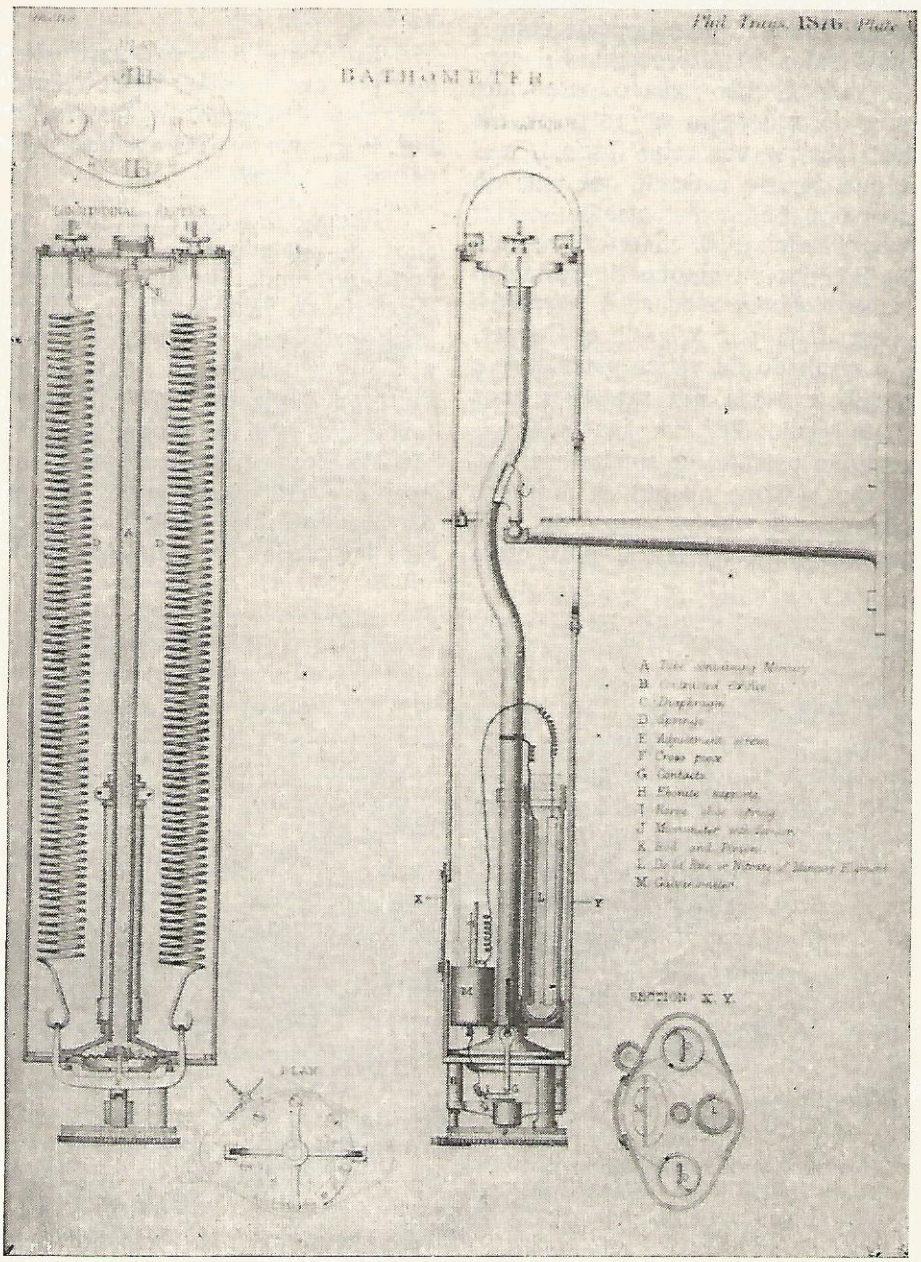


Fig. 43 — Profundímetro de Siemens. A é o tubo contendo mercúrio; B, o orifício contrátil; C, o diafragma; D são molas; E, o parafuso de ajuste; F, a cruzeta; G, os contatos; H, os suportes de ebonite; I, a mola tipo ferradura; J, o manômetro com vernier; K, engrenagem e pinhão; L, o elemento de mercúrio ou nitrato de La Rue; M, o galvanômetro.

a sonda virasse de lado no fundo do mar, o contato era feito e uma campainha ou cigarra soava no convés. O contato também podia ser feito com um êmbolo dentro da sonda, ativado pelo impacto com o fundo. Mas todos esses dispositivos dependiam do sinal elétrico levado para cima pela linha de sondagem e provou-se ser impossível fabricar um cabo flexível, mas robusto, que durasse mais do que uma ou duas excursões. Foram patenteadas sondas de pressão baseadas na compressibilidade de vários líquidos ou mesmo de borracha. Muito poucas valiam a pena. A figura 44 ilustra uma, feita por Wigzell e Cooper, que era o resultado de várias patentes [47] e foi fabricada e usada nos primeiros anos do presente século. Por fim, inacreditavelmente, existem patentes de sondas sem fio. Parecem tão bizarras quanto os desenhos de Hooke de três séculos antes. De fato, elas nunca foram construídas, pois eram pura fantasia e não teriam tido mais sucesso que aquelas suas avós do século 17.

O intercâmbio de tecnologia

Em suma, devemos fazer três perguntas: por que a ênfase desse capítulo ficou restrita à sondagem?; o que foi conseguido?, e o que as companhias telegráficas deram de volta?

Tornou-se aparente nos primeiros anos do estendimento de cabos que um perfil do fundo do mar aceitável para a Diretoria de Hidrografia da Marinha era inadequado para o sucesso de uma operação de lançamento de cabos. Mesmo uma linha de sondagens curta não mostrava a topografia geral do fundo, ao passo que o método dos navios que estendiam os cabos, que era ziguezaguear ao longo das derrotas sugeridas, indicava o contorno da área levantada. As condições da tempera-

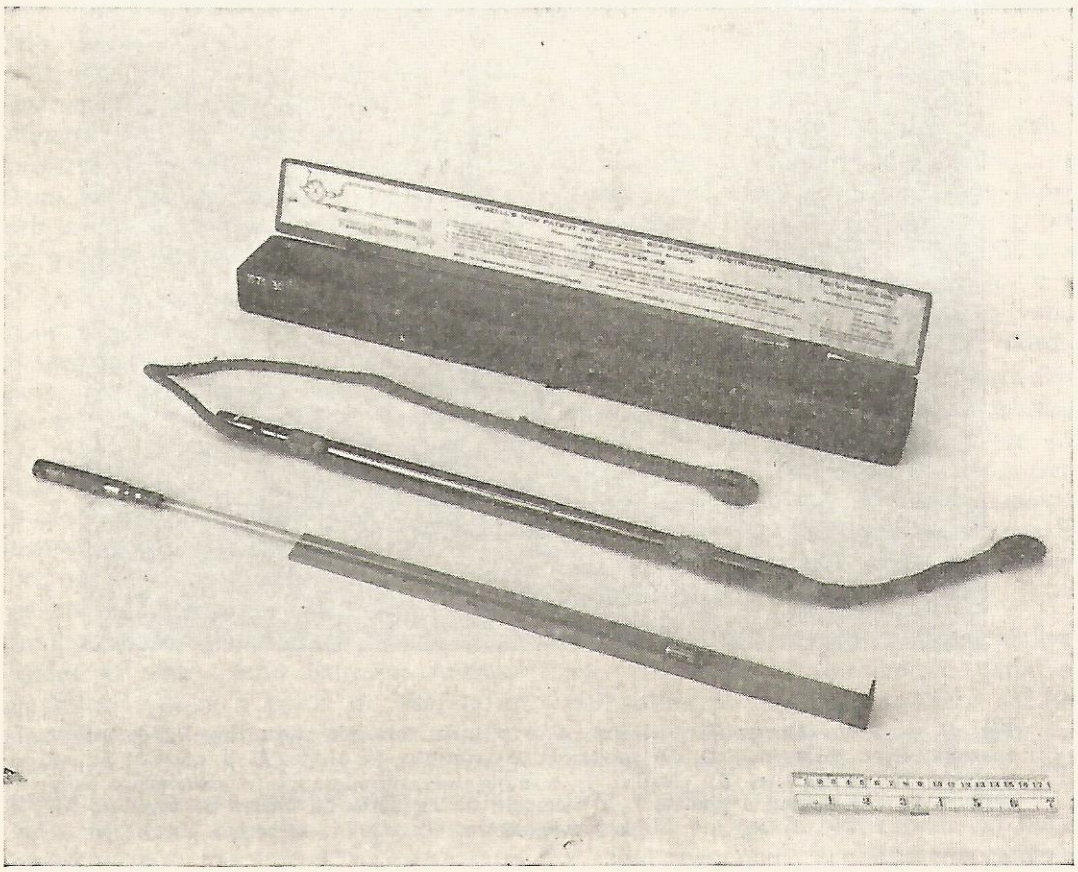


Fig. 44 — Sonda tipo tubo de pressão de Cooper & Wigzell.

tura e qualidade da água, por sua vez, não afetavam adversamente o funcionamento de um cabo, pois elas eram consideradas quando de sua confecção. Com efeito, ao longo do seu percurso, um cabo poderia ficar em águas de 20° C ou mais, talvez em água quase doce, perto do estuário de um grande rio. Poderia depois cair pelo flanco do talude continental para jazer em águas abissais quase congeladas, para subir, de novo, no lado oposto da bacia oceânica. A tecnologia disponível para construção de termômetros e garrafas era suficiente para estimar as temperaturas gerais, que era o quanto bastava. Em todo caso, os termômetros e garrafas estavam sendo gradualmente aperfeiçoados pelos zoólogos engajados nos problemas que envolviam diferenças súbitas na qualidade da água, mas que não requeriam medidas de profundidade tão precisas. Seus trabalhos formam a base do capítulo seguinte.

Quanto aos resultados de meio século de levantamento de mar profundo, eles podem ser prontamente observados inspecionando-se as cartas hidrográficas publicadas na Inglaterra, nos Estados Unidos, na França e em outros países europeus. Os navios reparadores de cabos, trabalhando dentro de áreas limitadas durante grandes períodos, contribuíram com muitos detalhes excelentes sobre a profundidade e a distribuição dos tipos de sedimento que preencheram as linhas de sondagem isoladas que agora existem nas cartas paralelas aos cabos embaixo. Apesar das companhias de cabos passarem o menor tempo possível sondando, elas, ocasionalmente, ofereciam acomodações a bordo para cientistas e muita informação útil foi obtida e tornada pública. A maquinaria inventada para sondagens rápidas e confiáveis constitui-se um novo conceito, devido às idéias e materiais desenvolvidos pelas indústrias de telégrafos e cabos. Muitos desses aparelhos tornaram-se de uso comum entre os navios das Marinhas Mercante e de Guerra de muitos países. Com respeito às contribuições das companhias de cabos, devemos ter em mente que a jovem ciência oceanográfica foi ajudada pelo desenvolvimento da tecnologia dos cabos com a ciência marinha devido à quantidade de esforço humano devotado a essas investigações, as quais nunca poderiam ser conseguidas sem o estímulo comercial.

Foi mencionado acima que não se conseguia a localização exata das sondagens feitas fora da vista de terra durante os meados do século, e as sondagens para os primeiros cabos transatlânticos sofriam desse defeito. Só depois de estenderem cabos ligando os maiores portos do mundo isso foi possível, por meio de sinais transmitidos para estabelecer sua longitude exata. Assim, cartas mais precisas puderam ser preparadas e as sondagens subseqüentes mais bem localizadas.

A única época em que o trabalho de sondagem no Atlântico Norte podia ser executado satisfatória e economicamente era entre maio e agosto. Os navios reparadores, no entanto, tinham que trabalhar sempre que necessário e, assim, aumentar o limite de tempo de observação durante todo o ano, o que foi útil ao olhar-se para os parâmetros que mudam com as estações: temperatura, qualidade da água e correntes.

A temperatura podia ser medida também, porquanto é um fator que governa a resistência de ambos, o condutor e o isolante. A partir das medidas da resistência de cada comprimento de cabo podia ser calculada a média de temperatura ao longo daquele comprimento. Um cabo sujeito a tais medições regulares era, portanto, com efeito, um termômetro registrando permanentemente durante o tempo em que permanecesse em funcionamento. Quando ele cessava de funcionar e era puxado para cima para conserto ou substituição, chegava à superfície trazendo indicações das condições físicas no fundo: podia estar polido pelo suave movimento de areia fina, amassado pelo impacto de pedras maiores ou ter estado enterrado sob a ação de fluxos turbulentos.

Onde o meio ambiente físico era calmo, um cabo era freqüentemente colonizado por organismos marinhos e isso era também uma fonte de informação, pois sabia-se a data em que o cabo fora estendido e quando começaram todos esses processos, permitindo o cálculo das médias comparativas.

Finalmente, lançar um cabo envolvia deixá-lo correr sob constante tensão. A maneira como esta tensão variava à medida que o navio avançava ao longo de seu rumo fornecia boa indicação de aspereza do fundo do mar. Solo irregular, séries de cristas ou ondas de areia não eram registrados pelas sondagens cujas posições eram mais separadas entre si que o comprimento de tais acidentes regulares, mas sua existência era refletida na variação da tensão do cabo e no comprimento que tinha de correr para cada milha percorrida.

TERMÔMETROS E GARRAFAS OCEANOGRÁFICAS (1825-1914)

Medição de temperatura em mar aberto

No capítulo I desta história chamou-se a atenção para alguns dos problemas encontrados durante as medidas de temperatura nos mares árticos. Veremos agora as tentativas de medição em águas temperadas, durante a primeira metade do século 19.

O termômetro Six foi usado no mar pela primeira vez durante o cruzeiro russo que circunavegou o globo em 1803-4. Horner, o cientista de bordo, queria saber se a água profunda se movia embaixo dos mares tropicais como contracorrente, equilibrando o fluxo observado na superfície. Ele levou também um recipiente de madeira com válvula, para trazer para cima amostra subsuperficial, mas os resultados que obteve com o aparelho não coincidiram com os dos termômetros Six e não havia meios de saber qual era o certo.

Bem, se vamos coletar água abaixo da superfície para medirmos a temperatura, devemos isolá-la, pois a água da superfície é quase sempre mais quente, exceto, como já vimos, nos mares polares. Levava-se muito tempo para içar os amostradores, por isso seu conteúdo podia se modificar consideravelmente ao subir à superfície.

Em 1816 foi feita uma experiência interessante pelo Capitão Wauchope, da Marinha Real.[48] Trabalhando nos mares tropicais, ao largo da costa oeste da África, Wauchope desceu um amostrador isolado da mais engenhosa construção. Uma tentativa de sua reconstrução está mostrada na figura 45. Wauchope usou cinco latas, colocando-as uma dentro da outra. As quatro interiores eram separadas para a água fluir entre elas quando o aparelho fosse arriado. Entre a quarta e quinta existia uma camada de sebo, enquanto que por fora de todo o conjunto havia uma grossa caixa de madeira. As tampas fechavam ao serem içadas, de modo que a água em circulação ficava presa entre as latas interiores. Wauchope acreditava que a própria água serviria como isolante e neste ponto estava certo. Deve ter sido, no entanto, um caso de sorte as tampas permanecerem fechadas ao serem içadas. Ele desceu o aparelho com cerca de 2.600 metros de linha muito grossa. Cem homens levaram uma hora e vinte minutos para içá-la, o que explica por que essas experiências eram feitas poucas vezes. Fica também ilustrado, vivamente, o grau de atrito entre a linha e a água.

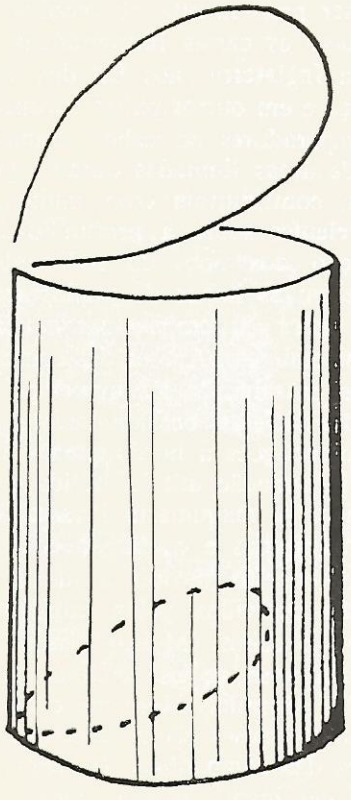


Fig. 45 — Rascunho da garrafa de Wauchope.

Fonte: Memoires of Wernerian Society for Natural History.

O grau de tal atrito pode ser demonstrado da seguinte forma: uma braça de cabo com duas polegadas de circunferência, tal como era usado para trabalhos em mar profundo, corresponde, mais ou menos, a 1,8 metro por 5 centímetros de circunferência, sendo sua área de cerca de 900 centímetros quadrados, dependendo do número de fios e do tipo do trançado. Portanto, 1.000 braças, aproximadamente 1.800 metros, possuem bem mais de 92 metros quadrados em contato com e atritando contra a água.

Uma segunda circunavegação russa no Navio *Rurick,* entre 1815 e 1818, também fez uso do termômetro Six e encontrou problemas ao empregá-lo. Quando foi planejada uma terceira viagem no *Predpriatie,* que partiu em 1823, o cientista Lenz decidiu construir um amostrador que fechasse com segurança e que também fosse isolado durante o tempo necessário ao içamento.[49] Sua ilustração, figura 46, mostra o amostrador em seção; a escala, à direita, está graduada em pés de Paris.

O corpo do amostrador tinha 43 centímetros de altura. O cilindro era feito de uma folha grossa de metal e as placas das extremidades e as válvulas cânicas, de bronze fundido. Um termômetro comum, feito de vidro mais grosso do que o normal, estava preso à haste central, ligando as duas válvulas. Acima do cilindro aparece o complexo mecanismo que Lenz projetou para manter as válvulas seguramente fechadas enquanto o amostrador estava sendo içado.

Normalmente, o fluxo de água era considerado suficiente para abrir e fechar as válvulas, conforme o amostrador estivesse sendo arriado ou içado. Entretanto, Lenz esperava descer esse amostrador em águas muito profundas e ele temia que seu desempenho pudesse, de alguma forma, ser afetado pela pressão. O ideal seria que as válvulas não tivessem peso. Mas isso significava contrabalanceá-las com esferas ocas, logicamente impraticável em profundidade. O sistema de alavancas e de pesos mostrado aqui era uma alternativa. As esferas "B" foram enchidas com chumbo e equilibravam exatamente o peso das válvulas na água do mar. Mas, assim que o aparelho emergia da água ao lado do navio, esses pesos de chumbo caíam e as válvulas abriam, deixando escapar a amostra. Deveria haver, portanto, peso adicional, mas um que só atuasse quando o amostra-

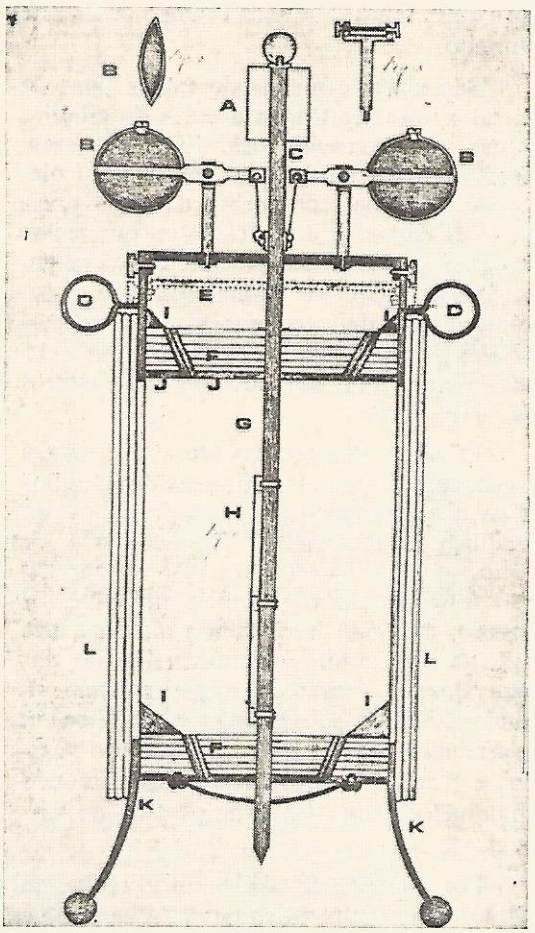


Fig. 46 — Garrafa oceanográfica isolada de Lenz. A é o reservatório oco na base central destinado a equilibrar as esferas B, b quando o coletor emerge; B, B são esferas cheias de chumbo; B2 mostra a seção de uma delas; C, C é o sistema de alavancas conectando as esferas e a barra central; D, D são dois olhais para içamento, fixados ao cilindro; E é uma cruzeta, na verdade, em ângulo reto ao plano do papel, que envolve a armação das alavancas; F, F são as válvulas cônicas das extremidades; G é a barra que as une; H, um termômetro preso à barra G; I, I são braçadeiras de bronze fixando as sedes da válvula às paredes do cilindro; J, J são as válvulas de bronze fundido e as sedes delas; K, K são dois dos três pés; L, L é a parede lateral do cilindro, mostrando diversas camadas de material, esquematicamente, que também cobrem as válvulas F, F.

dor estivesse acima da superfície do mar. Lenz conseguiu isso colocando a lata aberta "A" bem em cima da haste, sobre o sistema de alavanca. A água que enchia a lata não exercia nenhum efeito até que o sistema de alavanca saísse fora da água, mas aí o seu peso adicional mantinha as válvulas fechadas contra a ação dos pesos de chumbo.

São vistas camadas de folhas finas de metal e lona acaltroada à volta do cilindro e nas suas extremidades. Elas não eram apertadas, de modo que havia um isolamento adicional, na forma da água presa entre as camadas. Lenz calculou que o isolamento duraria o tempo que se levava para içar o aparelho. Tinha estimado o seguinte: com dois homens virando as manivelas do guincho, o aparelho subia a 15 centímetros por segundo ou 540 metros em uma hora.

O relato dessas duas tentativas para a construção de garrafas térmicas dá uma boa idéia das dificuldades que não podiam ser facilmente contornadas. A quantidade de tempo que se levava para içar o aparelho e o fato de que o aparelho tinha de ser pesado, pois não havia ainda material leve isolante, atrasaram o desenvolvimento das experiências. Materiais orgânicos não tinham utilidade sob pressão e por isso os aparelhos eram feitos de metais muito pesados e ficavam ainda mais pesados quando chumbados para assegurar descida na vertical.

Por que não foi dado mais crédito ao termômetro auto-registrador? Vimos que Parry tinha dúvidas sobre sua eficiência no Ártico, mas seriam os problemas tão grandes assim nos mares temperados e tropicais? Olhemos mais de perto para esse termômetro e para sua construção durante a primeira metade do século 19.

Lendo o que foi escrito durante esse período, constatamos que havia, na verdade, vários defeitos, alguns devido somente ao descuido por parte dos fabricantes de instrumentos. Mas o instrumento tinha dois pontos fracos inerentes. Em qualquer termômetro contendo dois líquidos, o álcool tende a molhar o vidro e com o tempo passa através do setor do mercúrio, deslocando-o em relação à escala. A segunda falha está na construção dos índices. Six, como mencionei antes, construiu índices compridos, com finas caudas de vidro para mantê-los dentro do tubo. Quando o comprimento total do termômetro foi reduzido, eles ficaram muito longos e frágeis, e assim foram substituídos por índices mais curtos espiralados, com cabelo ou cerda, colocados paralelamente ao próprio índice. Dentro do álcool a cerda perde sua elasticidade e fica solta dentro do tubo. Qualquer manuseio brusco ocasiona um desvio e queda, dando uma leitura falsa. Certa vez, durante os primeiros anos do século, tornou-se prática comum misturar creosoto ao álcool para conservar a qualidade da cerda durante mais tempo, mas parece que não adiantou muito, pois esse defeito foi reclamado durante muitos anos. Outra grande dificuldade encontrada no uso do termômetro em águas profundas, na verdade em qualquer distância abaixo da superfície, era sua distorção sob pressão. O termômetro Six podia, conforme mencionado acima, ser alterado tão-somente pela pressão dos dedos do bulbo.

Apesar dessa evidência, os trabalhadores ingleses relutavam em admitir que o termômetro Six fosse menos do que perfeito. Edward Sabine, que tinha estado com Ross na expedição ao Ártico de 1818, encontrava-se num outro cruzeiro científico pelo Atlântico durante 1822; enquanto no Mar do Caribe, aproveitou a oportunidade para arriar dois termômetros Six na mesma linha, um deles dentro de recipiente de ferro estanque.[50] Essa primeira experiência falhou porque o recipiente voltou cheio de água e claramente não havia sido devidamente selado, mas ele tentou de novo mais tarde e relatou que ambos os termômetros voltaram mostrando a mesma leitura. Ele tomou isso como prova de que o termômetro Six era de confiança em profundidade e referiu-se à temperatura relatada por Wauchope na sua experiência com um amostrador isolado (descrito anteriormente neste capítulo) como sendo comparável e, assim, confirmatória. Os dois homens naturalmente estavam trabalhando em lados opostos do Atlântico; assim, devemos aceitar suas medições com reserva e, portanto, não podemos criticar objetivamente os resultados de Sabine, a não ser para dizer que, talvez, ambos os termômetros estavam reagindo a uma outra causa.

Os cientistas franceses que estavam igualmente trabalhando nas águas profun-

das dos mares tropicais nunca favoreceram o termômetro Six e preferiam usar os termômetros de transbordamento do tipo inventado pelo seu compatriota Walferdin. [51] Entretanto, ambos estes termômetros e o de Six já tinham sido colocados em câmaras de pressão estanques desde os anos 1830. Pelos resultados publicados, analisados mais tarde por Prestwich, [52] podemos ver que essa proteção nem sempre era efetiva.

O melhor exemplo desses casos encontra-se nos livros e artigos de George Aimé, [53] que trabalhou por conta própria no Mediterrâneo no começo de 1840.

A figura 47 mostra, à esquerda, o aparelho completo, que consiste de dispositivo destalingador e inversor ativado por um mensageiro solto do navio. O mensageiro choca-se com o êmbolo, liberando o termômetro de transbordamento dentro de sua câmara selada. Este cai sobre uma linha curta e a ação de inversão interrompe o funcionamento do termômetro à medida que ele é içado, assim registrando efetivamente a temperatura da água ao nível no qual a câmara foi invertida. O desenho à direita da ilustração é uma secção de câmara de pressão mostrando o termômetro ali acondicionado.

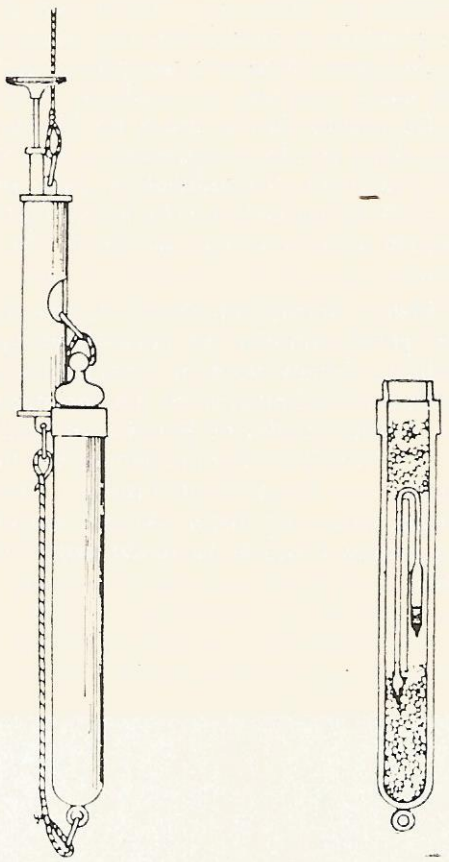


Fig. 47 — Termômetro de Aimé na sua câmara resistente à pressão.

Todas essas medidas eram feitas como parte de observações científicas gerais realizadas de tempos em tempos em longos cruzeiros de pesquisa. Entretanto, pela metade do século, os zoólogos marinhos estavam começando a fazer dragagens intensivamente, realizando medições repetidas a profundidades muito pouco espaçadas e em pequenas áreas, de modo a ver como a temperatura e a salinidade estavam relacionadas aos vários conjuntos de fauna trazidos para cima pela draga e rede.

Aperfeiçoamento do termômetro para a zoologia marinha

As dragagens em águas rasas vinham sendo executadas desde o século 18; Marsigli incluiu-as nos seus trabalhos ao largo da costa da Provença e muitos outros naturalistas haviam feito trabalhos similares. Mas, em águas profundas, a Marinha tinha sido chamada a ajudar e foi somente com o advento do vapor que se tornou possível manejar as pesadas engrenagens. Um número considerável de navios da Marinha Inglesa encontrava-se disponível e estacionado em locais do globo onde os comerciantes ingleses pudessem necessitar de proteção, e alguns desses navios foram colocados em trabalhos de levantamento e receberam tarefas de dragagem como parte de seu serviço. Dessa forma, o naturalista Edward Forbes veio a trabalhar no Mediterrâneo, pela metade do século.

Forbes tinha a idéia de que os peixes e outras criaturas marinhas não podiam ser encontrados em qualquer grande profundidade dentro do mar, pois ele pensava que o frio, a escuridão e as grandes pressões eram completamente inimigos da vida. Ele morreu em 1854, muito cedo para ser sua teoria refutada por um dramático incidente que aconteceu logo depois. Em 1857, um cabo telegráfico que havia sido içado do fundo do mar do Mediterrâneo para reparos encontrava-se encrustado com criaturas,

habitantes do fundo, que haviam, sem dúvida, atingido a maturidade no fundo do mar. A figura 48 mostra um pedaço similar de cabo, recolhido do fundo do Atlântico. Da mesma forma que o do Mediterrâneo, tinha estado mergulhado a mais de 2.000 metros de profundidade e, pelo menos, no Mediterrâneo a vida naquela profundidade existia, apesar da água fria e escura.

Essa e outras descobertas iguais serviram para estimular os zoologistas que também se deparavam com o problemas de relacionar os sedimentos do mar profundo trazidos pelas sondas de Brooke, os quais, sob o microscópio, compunham-se de minúsculas conchas e invertebrados. Essas criaturas viviam no fundo do mar ou em águas médias e caíam no fundo depois de mortas?

Os engenheiros dos cabos telegráficos estavam preparados para aceitar temperaturas médias ou aproximadas do fundo do mar, mas os zoólogos queriam mais. Eles procuravam por aquelas pequenas diferenças que distinguem uma massa de água e sua fauna daquela adjacente. Já vimos que o termômetro Six não era capaz de fornecer essas medições precisas, nem podiam elas ser obtidas por meio de garrafa isolada, do jeito como era construída naquela época. No entanto, restavam quatro alternativas com as quais podia-se atacar o problema.

Essas eram: primeiro, a construção de um termômetro bimetálico; segundo, proteger realmente o termômetro Six da pressão; terceiro, construir uma nova versão de termômetro com líquido em vidro, e quarto, introduzir uma tecnologia nova,

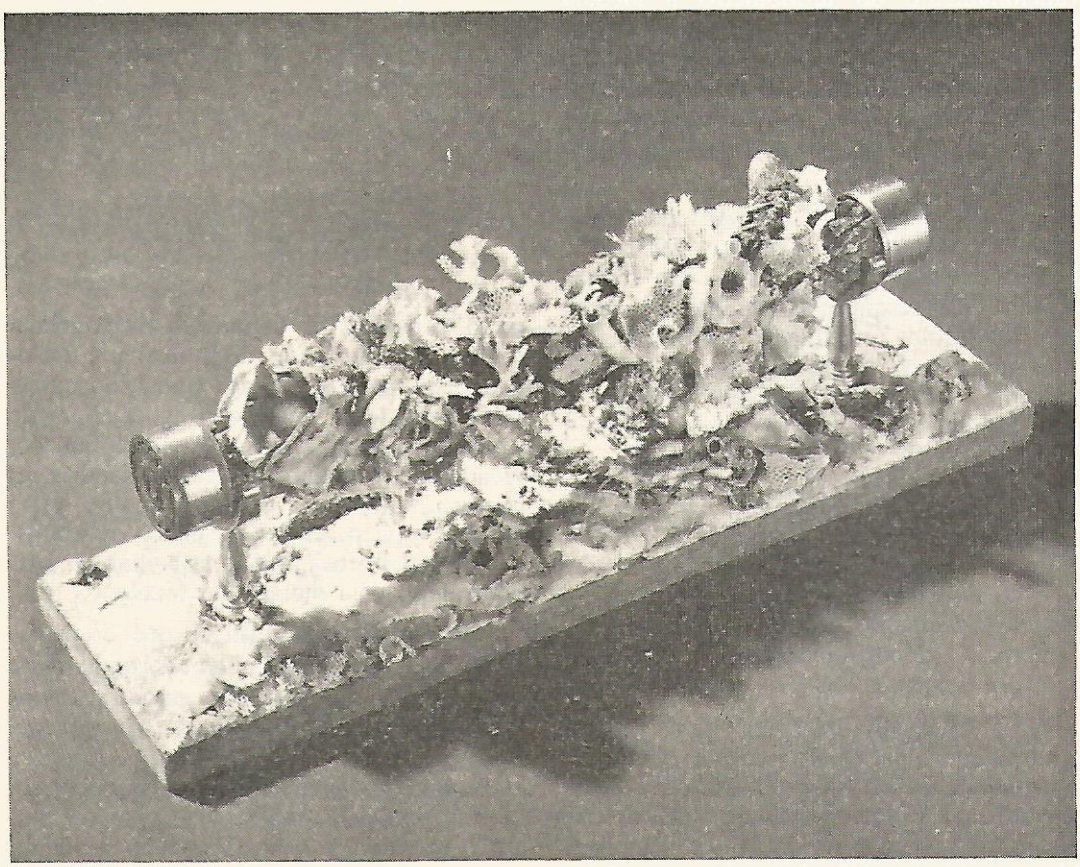


Fig. 48 — Um pedaço de cabo telegráfico, mostrando corais e moluscos agregados.

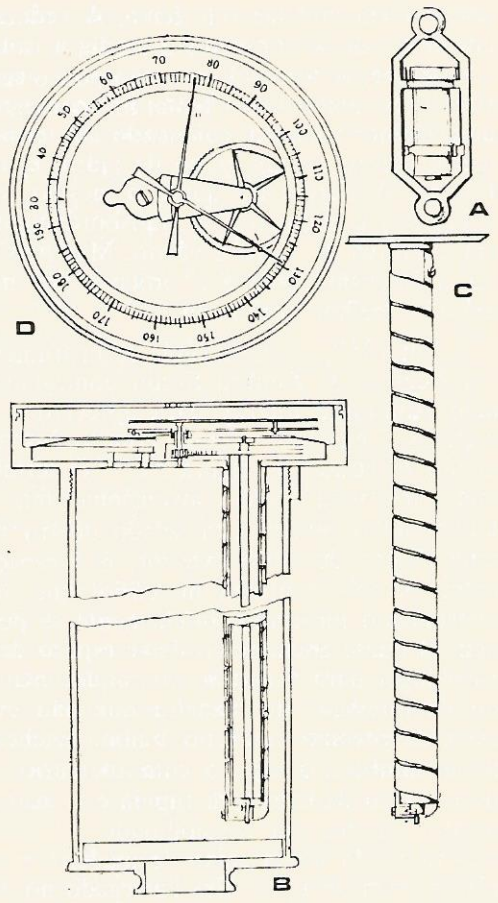


Fig. 49 — Termômetro bimetálico de Saxton.

neste caso a eletricidade, como um meio de medir a temperatura. Durante a segunda metade do século 19, todas essas possibilidades foram tentadas, com vários graus de sucesso.

O termômetro bimetálico

Parecia que os termômetros bimetálicos ofereciam mais vantagens do que os instrumentos com líquidos em vidro, pois acreditava-se que o elemento metálico não era suscetível à pressão. A figura 49 mostra a modificação do termômetro metálico de Breguet, que foi feito para a US Coast Survey por Joseph Saxton, por volta de 1848.[54] O elemento era uma tira de solda de prata e platina, em espiral, com um núcleo interno de ouro. A espiral girava com a mudança de temperatura e por meio de um conjunto de engrenagens movia um ponteiro, o qual, por sua vez, movia um indicador que permanecia marcando o extremo da temperatura alcançada. Todas as partes de bronze e prata eram folheadas a ouro e o instrumento saía muito caro. A figura 50 mostra o termômetro dentro do invólucro e da armação na qual era presa a linha. O invólucro é perfurado para permitir à água fluir em volta do elemento. O termômetro Saxton não se mostrou ideal, pois, na verdade, era afetado pela pressão e não podia ser produzida uma tabela de compensação que servisse para todos os instrumentos ou para todas as profundidades. Ele foi testado na Corrente do Golfo e numa das expedições árticas dos Estados Unidos, em 1855, mas finalmente rejeitado.

Apesar dos defeitos do termômetro americano, ou talvez por causa deles, Henry Johnson projetou uma outra versão que ofereceu à Marinha Real para testes, em 1861.[55] Assumindo que Saxton errara ao fazer um elemento espiralado, o termômetro de Johnson, mostrado na figura 50, pos-

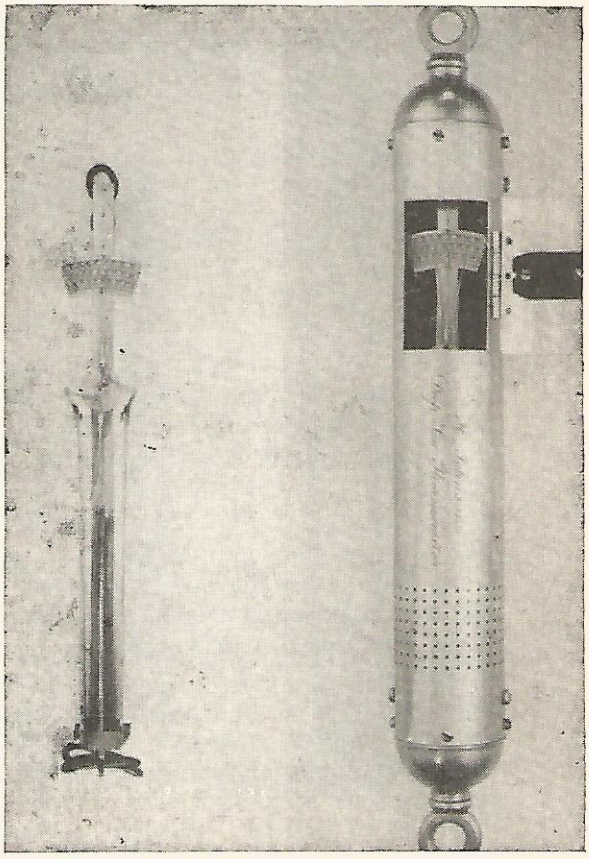


Fig. 50 — Termômetro bimetálico de Johnson.

suía uma lâmina plana de bronze e aço. Um sistema de alavanca movia o ponteiro, o qual, por sua vez, deslocava dois braços de modo que ambos os extremos de temperatura podiam ser registrados. Todo este sistema era montado em tiras elásticas dentro de robusta embalagem de cobre mostrada à direita da ilustração. Sua altura total é de cerca de 20 centímetros, de forma que cada grau ocupa somente 3 ou 4 milímetros na escala transversal, enquanto que o dial de Saxton permitia 9 milímetros por grau. O termômetro de Johnson, entretanto, nunca ofereceu a precisão que era necessária e, de fato, mostrou-se muito errôneo ao ser usado. Ele apareceu no catálogo de Negretti & Zambra até 1885, mas nunca foi aceito totalmente.

O termômetro Six protegido contra a pressão

Vimos que o termômetro Six não podia ser simplesmente protegido por meio de selagem em invólucro de ferro. A vedação era difícil de se conseguir e tendia a isolar o termômetro, tornando-o muito pouco sensível. Os americanos tentaram conseguir uma melhor vedação, colocando um termômetro dentro de um globo de vidro, e, na França, Walferdin fez quase o mesmo, selando seu termômetro de transbordamento em cilindros de vidro a vácuo. Mas persistia a insensibilidade e a procura por um método melhor continuou.

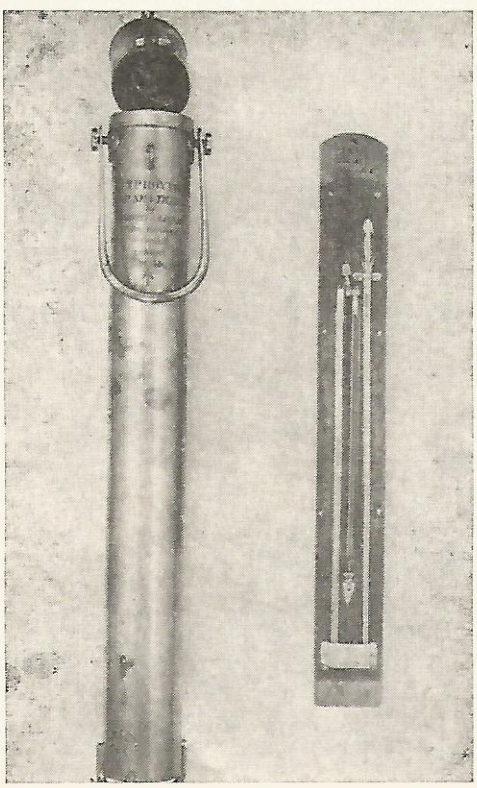


Fig. 51 — Termômetro protegido contra a pressão Negretti & Zambra. À esquerda vê-se um invólucro de cobre Jamieson.

Em 1857, os fabricantes de instrumentos Negretti & Zambra foram contratados pelo Almirante Fitzroy para apreciarem a matéria e eles apareceram com o instrumento mostrado na figura 51.[56] O termômetro tem uma forma convencional, mas o longo bulbo central está selado dentro de uma lâmina de vidro exterior, e o espaço entre os dois continha mercúrio, que, no instrumento mostrado, infelizmente se perdeu. O quase enchimento desse espaço deixava lugar para expansão por aquecimento ou compressão, de maneira que não era exercida pressão extra no bulbo. Enchendo-se também o espaço com mercúrio, a transmissão de calor era rápida e o instrumento retinha sua sensibilidade. O tubo está montado numa caixa de madeira e as placas eram de zinco. Era carregado no invólucro de cobre, com válvulas, mostrado à esquerda, uma modalidade que tinha sido inventada por Robert Jamieson, em 1820.[57] Cerca de 50 termômetros desse tipo foram feitos e fornecidos aos navios em comissões de levantamento, mas eles eram muito frágeis e continuavam sofrendo do defeito de deslocar os índices e por isso não foram geralmente adotados.

Chegamos agora à era dos famosos cruzeiros zoológicos dos HMS *Lightning* e HMS *Porcupine,* que começaram em 1868. Esses navios tinham sido equipados com os termômetros Six comuns desprotegidos, feitos pela firma Casella. A figura 52 mostra um desses termômetros desmontado; ele difere em vários aspectos do instrumento de Negretti, mostrado na figura 51. O tamanho total é consideravelmente menor e o tubo está montado numa placa de ebonite. A ebonite, uma borracha vulcanizada dura, é impermeável à água e não encolhe ou enruga no mar. Fazendo o tubo menor, significou, naturalmente, que o comprimento foi diminuído e que cada grau foi comprimido na escala. Isso era inevitável porque o nú-

cleo do tubo tinha que ser feito suficientemente largo para conter os índices. A diminuição da escala não importava realmente, pois ela podia ser ajustada para as temperaturas de qualquer oceano a ser medido.

Com esse termômetro, entretanto, o *Lightning* fez um cruzeiro com sucesso no Nordeste do Atlântico.[58] Os naturalistas descobriram que a água profunda não tinha uma temperatura uniforme de 4° C conforme se supunha. Ao invés, grandes massas de água de temperaturas diferentes moviam-se vagarosamente, cada uma contribuindo para um grande sistema de circulação oceânica e cada uma caracterizada por uma fauna distinta. Havia tanto interesse, que a Marinha concordou em ceder um navio melhor equipado para continuar com o programa durante os verões de 1869 e 1870. Mas o termômetro não se igualava à tarefa e os naturalistas solicitaram ajuda ao Dr. Miller, da Royal Society, pedindo que intercedesse para obterem algo melhor. Miller, por sua vez, foi ao fabricante de instrumentos Casella e ambos produziram o famoso termômetro Miller-Casella.[59]

Existe uma faceta curiosa nesse trabalho porque Miller alegava que desconhecia o termômetro anterior de Negretti, embora o instrumento Miller-Casella empregasse exatamente o mesmo princípio. A figura 52 mostra o termômetro, feito nas mesmas dimensões que o Casella da figura 51, mas modificado em aparência. O tubo, agora, tinha a forma simples de um U, com um bulbo curto robusto. A lâmina externa, que aliviava a pressão no bulbo, está quase cheia de álcool. A escala é menor e cada grau ocupa de 1 a 1,5 milímetro. As graduações são irregulares porque o núcleo do tubo não podia ainda ser corretamente gravado. O tubo era montado num suporte de ebonite e num invólucro vazado de cobre, parecido com os empregados anteriormente, que protegia o termômetro enquanto estava pendurado na linha de sondagem.

Casella tomou muito cuidado com esse termômetro. Ele construiu uma câmara especial de teste na sua oficina, mas esse tipo de teste nunca podia igualar-se realmente às condições no mar profundo. Quando os materiais são comprimidos num espaço pequeno, eles se aquecem, ao passo que em mar aberto o calor é constantemente dissipado. Tentativas para reproduzir as condições de mar profundo infernizaram os fabricantes de instrumentos durante muitos anos. Não obstante, o termômetro Miller-Casella provavelmente representa o instrumento de Six mais próximo da perfeição e nessa forma trabalhou no HMS *Challenger* e em muitas outras grandes expedições dos anos 1870, sendo, finalmente, sobrepujado pelo termômetro de inversão. No entanto, antes de tratarmos desse evento, vamos examinar os progressos na construção de garrafas, desde que também foi igualmente importante para a pesquisa zoológica; era claro que pequenas variações da salinidade eram cruciais para se distinguirem as massas de água.

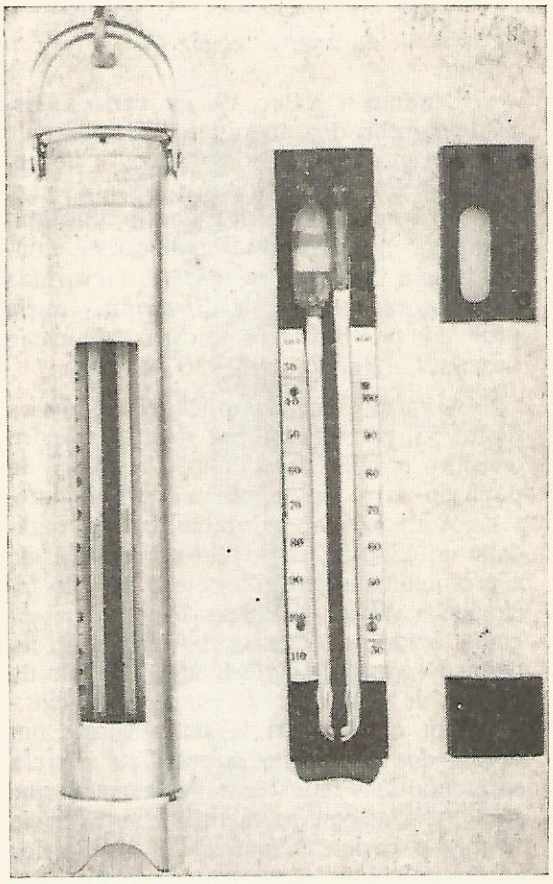


Fig. 52 — Termômetro Miller-Casela, à esquerda, completo e no seu estojo de cobre, pronto para uso; à direita, está desmontado, para mostrar o tubo.

Progressos no projeto de garrafas durante o século 19

Durante o século 19, um certo número de garrafas oceanográficas foi construído para levantamentos hidrográficos e de engenharia. Elas nunca foram projetadas para uso em águas profundas e pouco contribuíram para modelos posteriores. Existe, contudo, uma de interesse, que foi construída e empregada na metade do século: aquela projetada por Biot para o cruzeiro do navio francês *La Bonite,* em 1836.[60]

A garrafa oceanográfica, mostrada na figura 53, consistia de um robusto cilindro de vidro provido de êmbolo. Da proa e da popa do navio saíam cabos que eram presos aos arganéis de cobre em cada extremidade do cilindro. A garrafa era arriada até a profundidade desejada com o êmbolo fechando a válvula de admissão. Era, em seguida, içada pelo outro cabo; esta ação invertendo a garrafa e afastando o êmbolo da válvula de admissão. A água fluía no cilindro sem qualquer risco de mistura com aquela dos níveis superiores. Esta garrafa apresenta duas inovações: nas garrafas que eram arriadas com as válvulas abertas havia sempre o perigo de que alguma água dos níveis superiores fosse carregada para baixo, presa e misturada com aquela de baixo e, ainda, que mistura posterior ocorresse durante a subida. O projeto de Biot assegurava que a garrafa operasse somente na profundidade estipulada e que a ação de reversão prevenia qualquer abertura posterior da válvula. Foi um projeto que, de um modo ou de outro, se tornou muito popular mais tarde, após o começo do século 20.

A garrafa modelo Almirantado, fornecida ao *Lightning* e ao *Porcupine,* figura 54, em contraste, não possuía nenhuma característica interessante. Era simplesmente um tubo de cobre, com cerca de 60 centímetros de comprimento e 5 centímetros de diâmetro. Havia uma válvula cônica em cada extremidade e dependia de manuseio suave para manter as válvulas fechadas. O cilindro era coberto de uma camada de verniz internamente para evitar contaminação da amostra. Os defeitos desta garrafa foram reconhecidos pelos cientistas [61] e parece que não foi mais usada em viagens subseqüentes.

Foi Sigsbee que, trabalhando no vapor americano *Blake,* encontrou um método de fechar seguramente uma garrafa desse tipo, independente dos trancos a que fosse submetida no içamento.[62] Sua garrafa foi inicialmente projetada em 1875 e melhorada diversas vezes até 1877, quando foi desenhada e incluída no livro de Sigsbee. A figura 55 mostra os detalhes técnicos: era

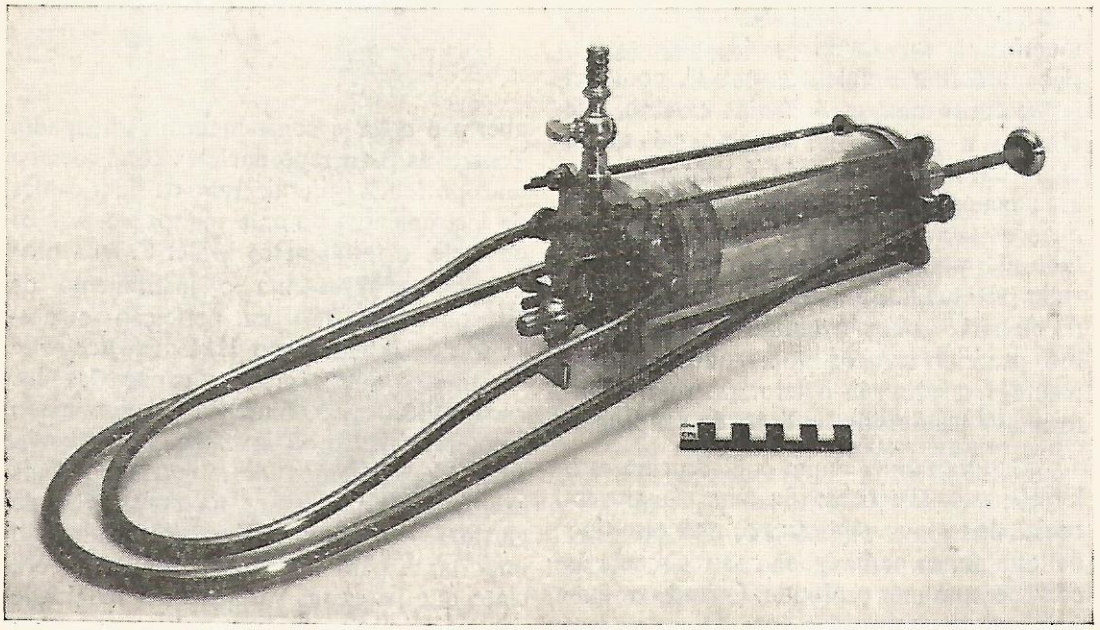


Fig. 53 — Garrafa oceanográfica de Biot.

um pequeno instrumento com cerca de 36 centímetros de comprimento, 4,5 centímetros de diâmetro e feita de cobre, a não ser por uns pequenos anéis de prata alemã, que não eram corroídos pela água do mar. Existe uma válvula cônica em cada extremidade que se abre durante a descida. O hélice, mostrado na parte superior da armação, gira livremente na descida. No içamento, gira ao contrário e seu eixo aloja-se na válvula superior, fechando-a e, através do eixo central, a válvula inferior também. À medida que as válvulas se fecham totalmente, o hélice chega ao fim de seu passeio e desliza para fora da guia para uma posição em que gira livre. Assim, qualquer que seja a direção da garrafa, suas válvulas permanecem fechadas. O mecanismo da garrafa, contudo, levava certo tempo para completar a operação e durante esse período a garrafa tinha de ser içada suavemente. Na figura 56, vemos uma garrafa deste tipo que sobreviveu.

Podemos considerar a garrafa de Sigsbee como o último representante dos amostradores simples de válvulas inventados cerca de 200 anos antes por Robert Hooke. Outros projetos já estavam aparecendo em cena: dois deles associados ao cruzeiro do HMS *Challenger;* refiro-me às garrafas deslizantes e de válvula de passagem. Mas, antes de apresentar o importante cruzeiro daquele navio, que ocorreu em 1872 e 1876, vamos nos voltar para a Escandinávia e para as origens das garrafas deslizantes.

O conceito das garrafas oceanográficas deslizantes

Os requisitos para uma amostra de água por volta de 1860 eram dois: primeiro, a amostra devia vir de um nível preciso, conhecido, não contaminado por ar ou pela água acima; segundo, não devia haver fuga de gás ou de água quando a amostra fosse trazida para cima.

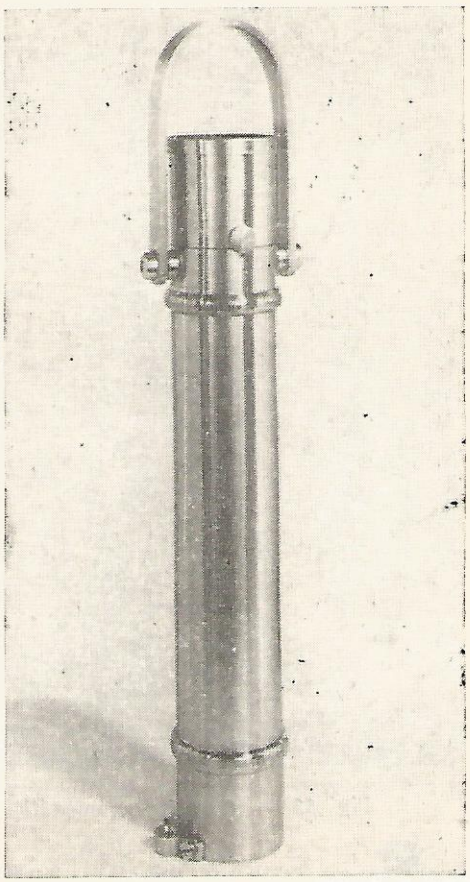


Fig. 54 — Garrafa oceanográfica padrão do Almirantado.

Já vimos que as simples válvulas planas, embora pudessem fechar a níveis predeterminados, tendiam a reabrir durante a subida. Quando possuíam mecanismo de vedação segura, a forma da garrafa era tão complexa que ar ou água podiam ser aprisionados dentro dela e transportados para baixo e, também, tinham de ser içadas alguns metros antes que o fechamento completo ocorresse. Quando as camadas de água eram muito próximas, tal como em estuários ou mares rasos, resultava amostra misturada, imprópria para análise. O que se queria, portanto, era uma garrafa de forma muito simples, com fechamento instantâneo e seguro. Isto foi conseguido por Fre-

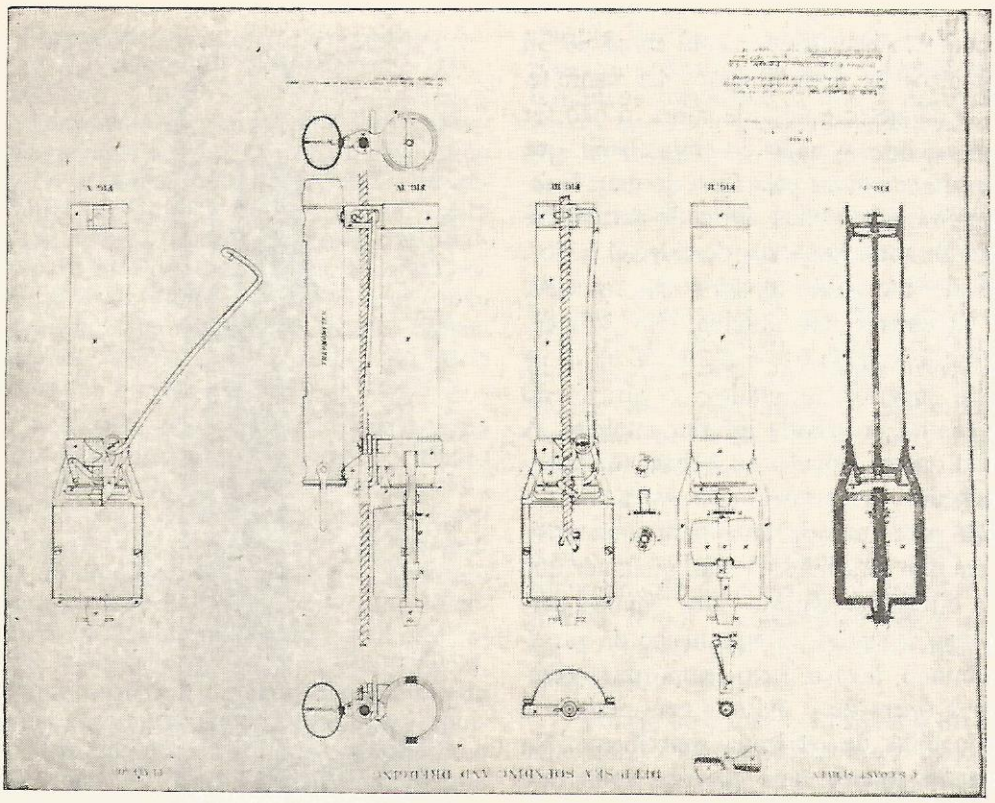


Fig. 55 — Garrafa oceanográfica de Sigsbee, com seus detalhes técnicos.

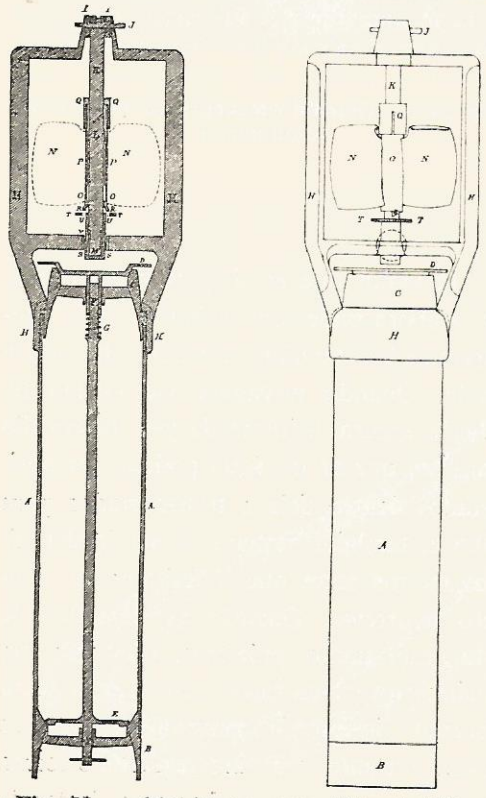


Fig. 56 — Garrafa oceanográfica de Sigsbee, que sobreviveu.

derick Ekman, trabalhando no Mar Báltico, durante o final de 1860.[63]

Frederick Ekman (1830-1890) era um professor de Química da Universidade de Uppsala, na Suécia. Tanto quanto sei, é a ele que se deve o conceito de uma garrafa deslizante na qual um cilindro aberto em uma extremidade deslizava sobre guias montadas em placas que formavam as extremidades superiores e inferiores do invólucro. Sua primeira garrafa data de 1869, era de ferro, com 40 centímetros de altura e coletava meio litro de água. Seu funcionamento pode ser compreendido com a ajuda do desenho superior da figura 57. À medida que a garrafa era arriada, o cilindro era mantido na metade superior da armação pelo empuxo da água contra dois flanges. Quando a garrafa atingia o nível a ser amostrado e parava de se mover, o cilindro caía naturalmente, parando ao encontro da placa-base, onde ele se encaixava em uma ranhura untada com sebo ou graxa compondo um selo estanque à água. O tope do cilindro se encaixava numa placa ranhurada.

De volta ao convés, a água podia ser drenada via uma pequena torneira em sua base. O fechamento era instantâneo, mas demandava uma descida muito suave ou o cilindro cairia prematuramente. Por esta razão, Ekman incluiu um gancho para segurar o cilindro até que a garrafa estivesse bastante dentro d'água e, neste aspecto, conforme mostrado na parte inferior da figura 57, ela foi apresentada em diversas exposições durante 1870. Um modelo mais robusto foi também construído, para ser utilizado em profundidades oceânicas. O selo de graxa foi substituído por um anel de borracha e pés foram colocados na parte inferior para proteger a garrafa, caso ela batesse com força no fundo do mar. Ekman também fez experiências com um mecanismo de fechamento a hélice em 1880.[64] Esse mecanismo necessitava percorrer uma distância de cerca de 21 metros para completar a ação de fechamento e, portanto, não era apropriado às águas rasas do Báltico.

A garrafa de cilindro deslizante de Ekman apresentava-se em dois modelos: um deveria, no fim, tornar-se a renomada garrafa isolada de Nansen-Petterson, mas o modelo não-isolado foi adotado por Meyer

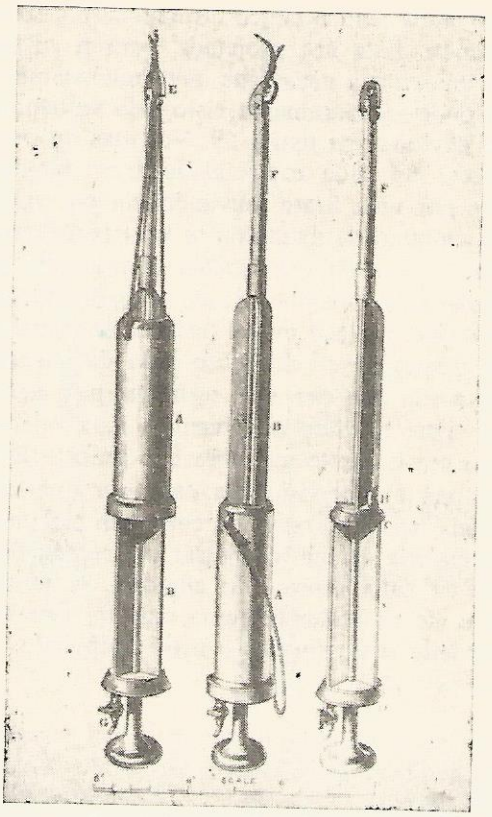


Fig. 58 — Garrafa Slip usada no *Challenger*.

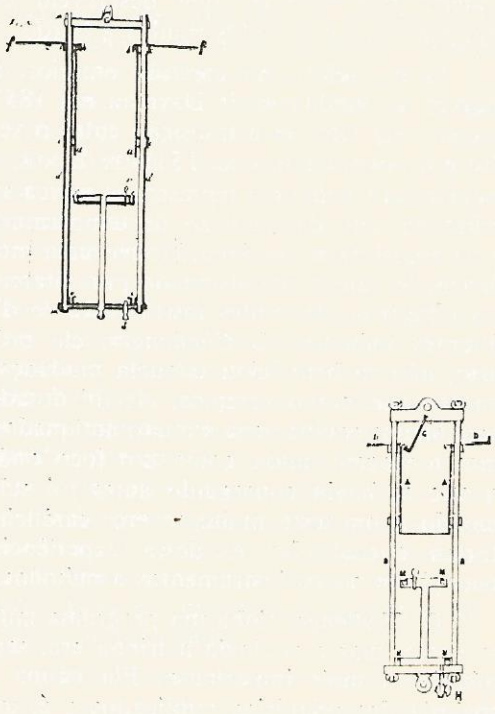


Fig. 57 — Garrafas oceanográficas não isoladas de Flekman.

na expedição alemã no Mar do Norte e foi, também, modificado para utilização no *Challenger*. A garrafa deslizante, mostrada na figura 58, era um instrumento muito robusto de cobre. Foi projetada para coletar amostras de água e possuía um pé que podia ser coberto com sebo, confirmando, portanto, que ela havia atingido o fundo do mar. O cilindro era libertado quando ela atingia o fundo: à medida que a tensão desaparecia da linha, o gancho era aliviado, libertando o cilindro que estava preso a ele por um pequeno arganéu. Estes dois estágios são mostrados na figura; o desenho da direita mostra a construção do interior da garrafa. Seus quatro flanges fornecem a rigidez e asseguram que não haja vazamentos sempre que a garrafa esteja na água. De volta ao convés, a amostra de água era drenada pela pequena torneira na placa-base.

A outra inovação levada pelo *Challenger* era a garrafa de válvula de passagem

projetada pelo químico do navio, John Buchanan. Esta era projetada para a coleta de amostras à meia-água. Seu funcionamento pode ser claramente visto pela seqüência de desenhos na figura 59. Válvulas de passagem em cada extremidade eram acionadas por uma haste movimentada por ação do empuxo da água contra uma placa móvel. A garrafa era arriada aberta, depois içada e novamente arriada e içada. Desta maneira, a placa móvel fechava as válvulas de passagem e rebatia ao lado da garrafa de modo que esta não se movia pela ação da água durante o içamento. Esta operação era bastante manhosa e o próprio Buchanan a supervisionava cada vez que era usada no *Challenger*. Os cones em cada extremidade deviam assegurar um rápido fluxo de água através do cilindro, de modo que ele se fechasse numa amostra que na verdade representasse o nível estipulado.

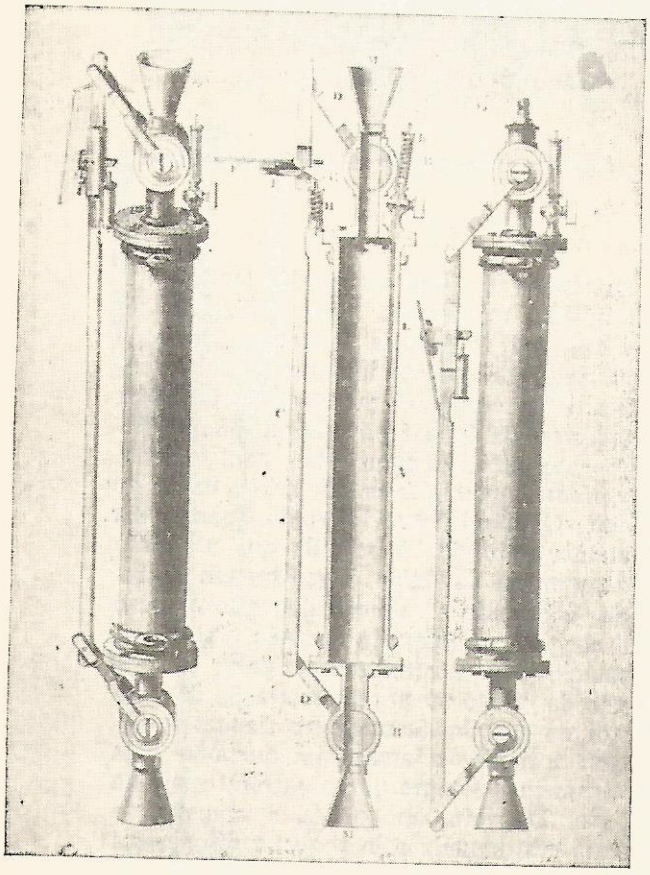


Fig. 59 — A garrafa tipo válvula de passagem, em seção, fechada e aberta.

O cruzeiro do HMS Challenger, *1872-76*

Até agora já verificamos as origens de todos os equipamentos que foram usados no cruzeiro do *Challenger*. Trata-se de um cruzeiro que recebeu muita atenção recentemente, porque o seu centenário foi comemorado por um Congresso da História da Oceanografia [65] e por várias exposições na Inglaterra. O navio visitou todos os grandes oceanos, com exceção do Ártico. Algumas centenas de estações foram efetuadas, onde medições oceanográficas foram realizadas. Muitos milhares de amostras foram coletadas: água, sedimentos, flora e fauna marinha e mesmo material antropológico, plantas e animais terrestres. Isto porque as instruções dadas à expedição eram muito amplas, já que o navio devia visitar locais do mundo ainda pobremente conhecidos. A Meteorologia, Geomagnetismo e Etnografia faziam parte do programa tanto quanto a Oceanografia. O volume de dados e de material levou muitos anos para ser digerido. Os relatórios publicados vieram parte após parte ao longo dos anos seguintes e era tal a velocidade do progresso naquele tempo, que muitos trabalhos posteriores foram incorporados no *Narrative,* aqueles três volumes que descrevem os equipamentos e métodos usados a bordo.[66]

Já me referi, no capítulo anterior, à viagem de sondagem de Dayman em 1857 e como ela marcou a transição entre o velho e o novo. Creio que, 15 anos depois, a viagem do *Challenger* representou marca similar na arte de medição de temperatura e de amostragem de água. Houve uma mudança de rumos impulsionada por diferentes objetivos, diferentes instrumentos e diferentes métodos. O *Challenger,* ele próprio, não se beneficiou daquela mudança: na verdade, como veremos, ele foi dotado com alguns equipamentos muito antiquados, mas a viagem atuou como um foco onde o que se havia conseguido antes foi submetido a um teste muito severo, carências foram encontradas e, desta experiência, emergiram novos instrumentos e métodos.

O *Challenger* tinha um programa muito vasto, mas a zoologia marinha era, sem dúvida, a mais importante. Ela ocupa a maioria dos relatórios publicados e é, talvez, o único tópico que não foi sobrepujado por progressos posteriores, antes daqueles relatórios aparecerem. Os resultados

da Oceanografia Física foram, de algum modo, obscurecidos, pois são discutidos nos volumes da *Narrative* que apareceram em 1885 e muito do que aconteceu depois que o *Challenger* voltou foi acrescentado à História, de forma que, a não ser que se leia com muito cuidado, é possível ter uma idéia exagerada dos resultados naquele campo.

É certo que o *Challenger* não levou com ele os mais modernos instrumentos disponíveis. Isso foi uma decisão política. O navio ficaria longe de sua base de origem durante vários anos, de modo que foi decidido levar somente instrumentos conhecidos. O cabo de cânhamo foi escolhido em vez do fio metálico, ainda na sua infância. O fio não era fácil de conseguir; e foi considerado bobagem arriscar instrumentos valiosos numa linha cuja qualidade era ainda grandemente desconhecida. O cânhamo era facilmente conseguido na maioria dos portos e, mesmo ocupando um grande espaço nos porões e nos conveses, provou ser, de fato, confiável mesmo nas sondagens mais profundas.

Podemos criticar os métodos do *Challenger* em outros aspectos. As estações de observações estavam afastadas muitas centenas de quilômetros. Não havia meios de comparar um conjunto de resultados com o próximo e, se eram cometidos quaisquer erros, eles não apareciam logo. Nem o navio podia voltar para checar os achados anteriores; simplesmente não havia tempo disponível. No que concerne ao propósito da viagem, a idéia de um cruzeiro pelo mundo surgiu parcialmente do sucesso do trabalho do *Lightning* e do *Porcupine*, que estiveram restritos ao Atlântico Nordeste e ao Mediterrâneo. Entretanto, o legítimo desejo científico de avançar campo afora foi cerceado pelo Governo Britânico, que queria manter a sua própria vontade entre as várias expedições que estavam sendo efetuadas por outros governos. Na minha opinião, eles foram responsáveis ao encorajar o *Challenger* a assumir programa superambicioso. O resultado foi uma inundação de informação tão grande, que levou muitos anos para ser impressa e quando o foi já estava ultrapassada.

Em resumo, eram os seguintes os aparelhos que foram, na verdade, embarcados para a viagem: para sondagens em águas rasas, a velha sonda Stellwagem, primeiramente desenvolvida na América, em 1842,

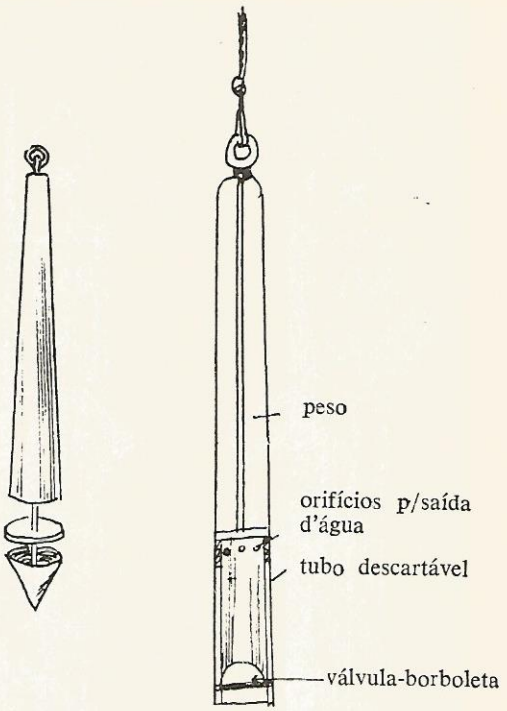


Fig. 60 — Chumbadas cônica e tubular. À esquerda, chumbada cônica; à direita, vista seccionada da chumbada tubular.

usada para sedimentos soltos. Em argila macia, foi preferido o tubo de chumbo, um testemunhador leve equipado com uma válvula-borboleta; essas duas sondas são mostradas na figura 60. A sonda Hydra foi usada em águas profundas (mostrada antes na figura 32), mas, logo depois que o *Challenger* saiu, foi inventada a sonda Baillie, figura 61, uma peça de equipamento muito mais pesada, e foram enviados ao navio alguns exemplares capazes de atingir as maiores profundidades encontradas por ele.

Todas as amostras de água foram coletadas com a garrafa deslizante, em águas profundas, e com a garrafa de válvula de passagem, em águas intermediárias. Todas as medidas de temperatura citadas nos relatórios foram feitas com termômetros Miller-Casella. Na verdade, foram experimentados dois outros termômetros. O termômetro elétrico de Siemens descrito a seguir, figura 67, foi levado pelo navio no começo, mas não encontrou preferência. Um acontecimento mais importante foi o envio ao navio, em 1874, do recém-inventado termômetro de inversão Negretti & Zambra, figura 63, adiante também explicado. Ele

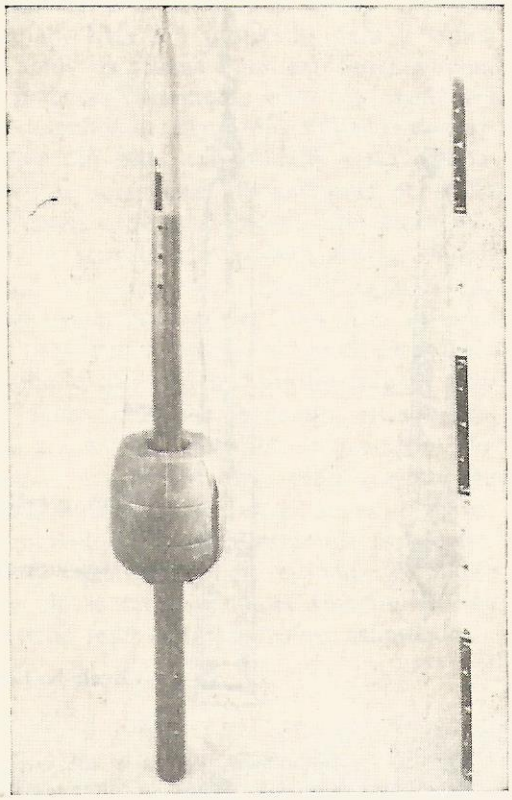


Fig. 61 — Sonda Baillie.

foi experimentado em várias ocasiões, mas houve problemas iniciais com a armação inversora e os resultados obtidos por esse termômetro não foram incluídos nos perfis da temperatura publicados. A figura 62 mostra o arranjo para sondagem profunda. Pode-se ver na linha o acumulador, a garrafa de válvula de passagem, vários termômetros Miller-Casella e uma sonda Baillie. A única região onde os cientistas reconheceram que estavam com sérios problemas foi na Antártida, onde, como era de esperar, os termômetros Miller-Casella, mesmo usados em série, conforme demonstrado, eram incapazes de traçar o perfil da temperatura por causa da complexidade da estrutura da água.

O que aconteceu quando o *Challenger* voltou? O químico Buchanan continuou a aperfeiçoar a garrafa de válvula de passagem e alguns outros instrumentos, piezômetros e uma sonda, com a qual ele tinha feito experiências a bordo do *Challenger*. Ele participara de vários cruzeiros em navios de cabos telegráficos e juntou-se também ao Príncipe Alberto de Mônaco, em numerosas expedições. Como resultado, modificou a garrafa de válvula de passagem para a forma mostrada na figura 63, operada por mensageiro e já equipada com um termômetro de inversão. Essa garrafa foi usada até o século 20; foi levada nas expedições inglesas e escocesas ao Antártico, durante a primeira década. O termômetro de inversão foi uma adição muito bem-vinda à aparelhagem do oceanógrafo, pois veio numa época em que o termômetro Miller-Casella, tendo sido reexperimentado depois da viagem do *Challenger*, mostrou-se um instrumento muito impreciso.[67] De fato, a escala vinha sendo lida num grau muito maior de precisão do que o que o termômetro podia registrar.

O termômetro de inversão Negretti & Zambra

A invenção de um novo modelo de termômetro de líquido em vidro foi a terceira

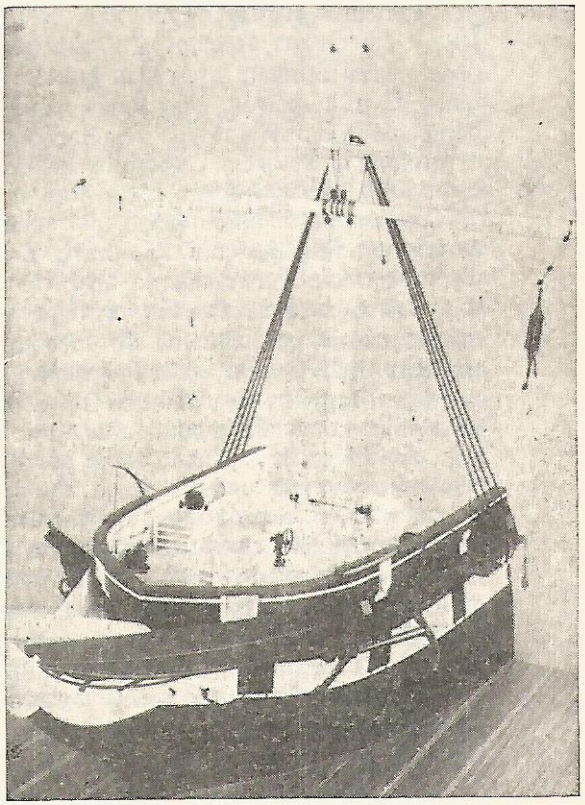


Fig. 62 — Modelo da seção de proa do HMS *Challenger* mostrando o equipamento de sondagem armado, pronto para utilização.

alternativa mencionada antes, na procura de meios mais precisos de medir a temperatura. O termômetro de inversão patenteado por Negretti & Zambra,[68] apesar de novidade para os oceanógrafos, tinha suas origens em termômetros similares fabricados para outros usos. São mostrados duas formas no desenho da patente, figura 62A, uma consistindo em um tubo na forma de U e a outra em um tubo reto. Ambos dependiam de pequeno estrangulador ou gargalo na base do tubo, de forma que, quando o termômetro invertia, a coluna de mercúrio quebrava no gargalo e corria para o lado oposto do tubo, sendo lida numa escala invertida. Dessa forma era registrada a temperatura no momento da inversão. Ele continha um só líquido, mercúrio, e, como não precisava de índices, o tubo podia ser feito com calibre muito fino e um grau ocupava um centímetro ou mais na escala. Assim sendo, ele fornecia uma leitura muito precisa. E já que o calibre era tão fino, a escala podia ser gravada diretamente no vidro do próprio tubo. Foram propostas diversas

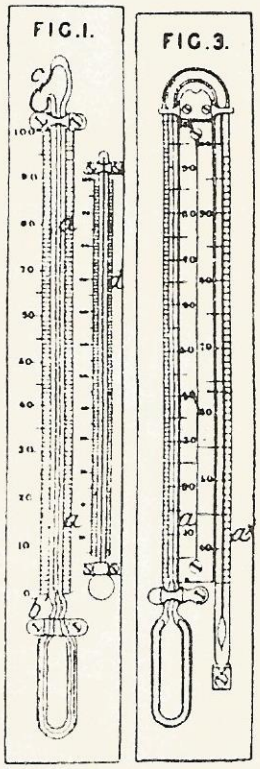


Fig 62-A — Desenho para patente do termômetro Negretti & Zambra reversível, 1874.

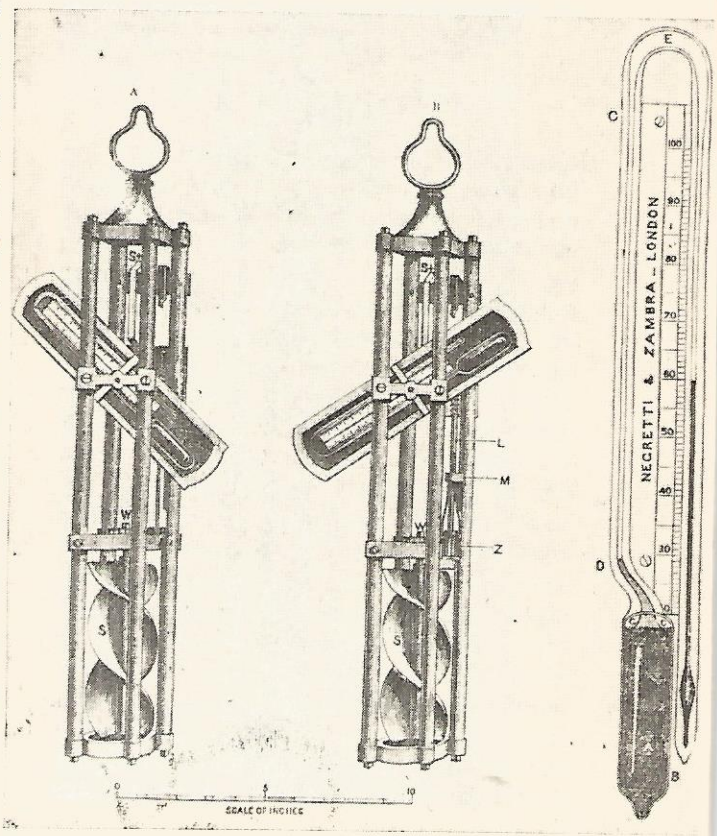


Fig. 63 — Armação reversível, do *Challenger*, girando o termômetro 360º.

maneiras de se inverter esse termômetro. Aquele em forma de U, usado no *Challenger* e na expedição do Ártico de 1875, tinha de ser girado 360º e a complexa estrutura mostrada na figura 63 é a que foi empregada. Entretanto, com o tubo reto, bastava um giro de 180º, e para isso um simples peso servia, em águas rasas, ao passo que para águas mais profundas o hidrógrafo italiano Magnaghi inventou uma armação ativada por hélice, figura 64, que se tornou muito popular. Para um giro mais rápido, em níveis rasos, era preferida a estrutura escocesa, figura 65, que podia ser operada por mensageiro.[69]

O termômetro era suficientemente pequeno para ser completamente alojado em um tubo de vidro e não havia perda de sensibilidade porque a porção inferior do tubo era cheia com mercúrio para conduzir calor rapidamente ao bulbo. Foram testadas várias formas de bulbo por diversos fabricantes, como mostrado na figura 66. O ter-

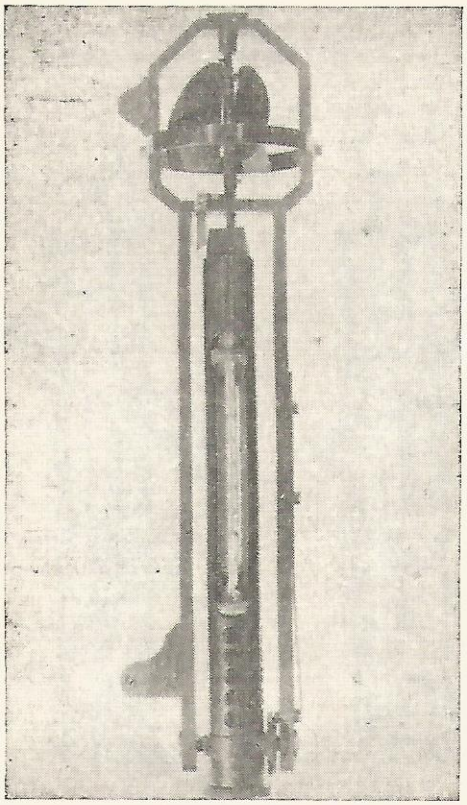


Fig. 64 — Armação reversível operada por hélice de Magnaghi.

mômetro de inversão logo substituiu os instrumentos Six e de uma forma ou outra o seu uso sobrevive até os dias atuais. Quando foi desenvolvida a garrafa de inversão, conforme será discutido no próximo item, tornou-se prática normal prender um ou dois desses termômetros no mesmo invólucro da garrafa, invertendo-se todo o conjunto.

A eletricidade como um meio de medir a temperatura: o termômetro diferencial de Siemens

A resistência elétrica de um condutor depende de sua temperatura; graças a essa lei física é possível medir a variação da resistência e, por conseguinte, a variação de temperatura. Em 1866, Werner e Wilhelm Siemens descreveram um aparelho projetado por eles para medir a temperatura das profundezas do mar baseado naquele princípio.[70] Três anos mais tarde foi proposto um modelo mais elaborado, testado no *Porcupine*, e modificado mais tarde, antes de ser oferecido ao *Challenger*, em 1872.[71]

O aparelho consistia em duas resistências bobinadas, uma mergulhada no mar, outra colocada dentro de um tanque no convés, e está ilustrado esquematicamente na figura 67. O circuito era fechado através de uma ponte de Wheatstone e balanceado regulando-se a temperatura da água no tanque do controle até ficar igual àquela à volta da resistência mergulhada no mar, embaixo. Um galvanômetro indicava quando a ponte estava balanceada e um termômetro de teste no tanque de controle registrava a temperatura. A fonte de energia, originalmente baterias, foi, nos últimos instrumentos, um gerador Siemens e havia um meio elaborado de adicionar refrigerante e misturá-lo completamente no tanque de controle. Com cuidado, era possível arriar a resistência e fazer leituras simultaneamente, obtendo-se, assim, um perfil detalhado da temperatura.

Esse dispositivo aparentemente avançado era, no entanto, difícil de se usar no

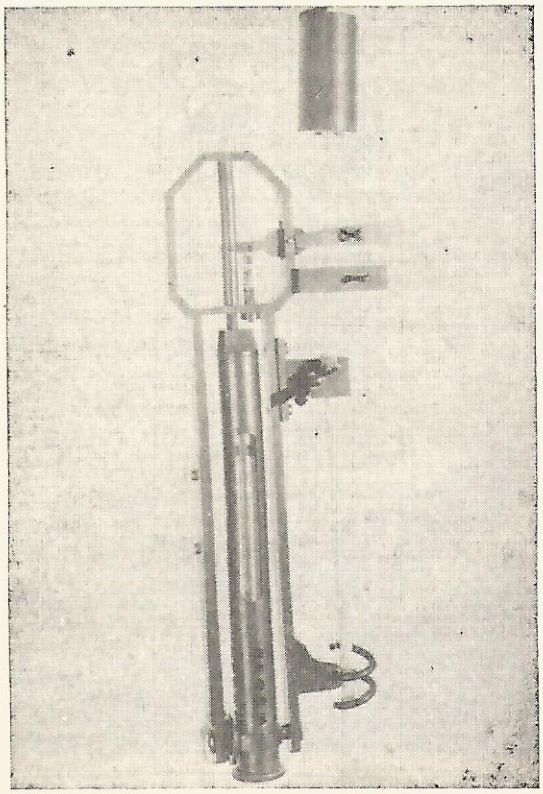


Fig. 65 — Armação reversível operada por mensageiro "Padrão Escocês".

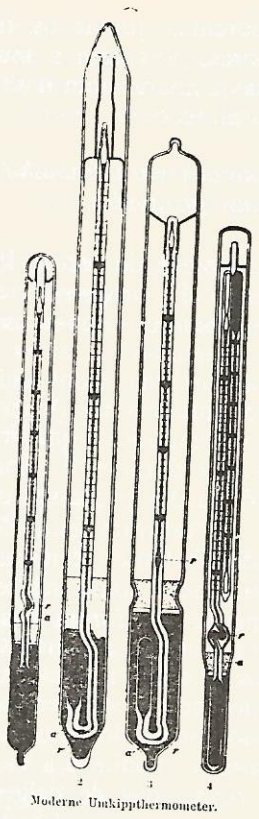


Fig. 66 — Exemplos de termômetros de inversão. Da esquerda para a direita: Negretti & Zambra, 1874; Knudsen, 1899; Chabaud, 1892, e Richter, 1900.

mar. A unidade sensora tinha que ser arriada num cabo condutor, o qual, conforme vimos anteriormente, estava sujeito a danos quando repetidamente descido e aduchado de volta. O jogo do navio tornava extremamente difícil ler o galvanômetro, e nas viagens longas era também difícil obter e armazenar o gelo necessário para esfriar a água do tanque de controle.

Em 1881, o termômetro Siemens foi experimentado pela US Coast Survey no Vapor *Blake* [72] e foi adquirida uma máquina de gelo para fornecer água gelada ao tanque. O termômetro diferencial tornou-se muito útil na obtenção de perfis de temperatura através da complexa estrutura da Corrente do Golfo, mas dava um trabalho muito grande, e o Capitão Bartlett descobriu que o cabo fornecido não durava muito, antes dos condutores serem danificados. Nesse período, o termômetro de inversão já tinha provado seu valor e o termômetro de Siemens foi abandonado.

Pescaria: o novo incentivo

O *Challenger* e os navios que fizeram cruzeiros similares à volta do globo, tal como o Navio alemão *Gazelle,* possuíam programas muito extensos. Usando equipamentos que haviam sido desenvilvidos pelas companhias telegráficas para sondagens e pelos zoologistas para amostragem de água e medidas de temperatura, eles levantaram os limites dos parâmetros oceânicos. Isto é, eles descobriram as enormes profundezas dos oceanos, a gama de sedimentos que cobria seu leito e os extremos de salinidade e temperatura que existiam. Mas, inevitavelmente, suas estações de observação ficavam distantes e se encontravam nos vários oceanos durante uma mesma estação do ano, de forma que seus relatórios referiam-se somente àquela época. Tornou-se evidente que uma observação mais demorada de uma região particular, estação após estação e ano após ano, seria de grande valor. Essa mudança de ênfase aconteceu

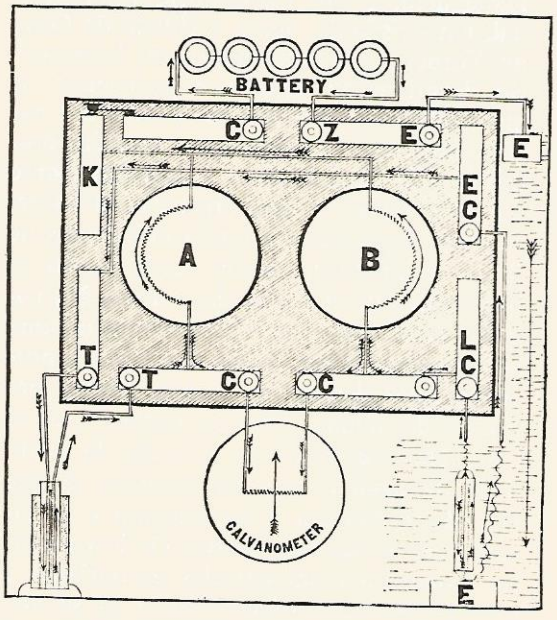


Fig. 67 — Diagrama esquemático do termômetro elétrico de Siemens. A bobina resistiva arriada ao mar é mostrada no fundo, à direita; a bobina colocada num tanque de controle sobre o convés é vista no fundo, à esquerda. O retângulo sombreado compreende a ponte de Wheatstone; no centro, embaixo, está o galvanômetro.

principalmente por causa do estímulo dado às pesquisas pela indústria pesqueira.

Essa necessidade não apareceu antes das últimas décadas do século 19. Naquele tempo, na Inglaterra, uma série de comissões havia escutado as evidências dos pescadores acerca do fracasso de algumas pescarias, notadamente a do arenque, e sobre os efeitos destrutivos de formas especiais de artefatos de pesca. No Mar do Norte, o acontecimento decisivo foi a introdução da traineira a vapor nos anos 1880. Elas eram mais eficientes do que as sumacas a vela, porque trabalhavam independente do vento ou marés. Presas em poderosos guindastes a vapor, as redes de arrasto raspavam o fundo, liquidando os peixes jovens e as suas ovas, impossibilitando a renovação do estoque nos anos subseqüentes. Ficou claro que fazer pesquisas no Mar do Norte, no Báltico e no Atlântico Norte, em base internacional, redundaria em maiores rendimentos econômicos e científicos. Depois de um começo informal, essa cooperação foi regularizada com o ICES — International Council for the Exploration of the Sea —, fundado em 1902.[73] O Conselho estabeleceu sua sede em Copenhague, na Dinamarca, e um Laboratório Internacional, em Cristiânia, agora a cidade de Oslo, na Noruega. Os funcionários do Laboratório deveriam aperfeiçoar e padronizar os instrumentos fornecidos aos navios das nações-membros. Estabeleceram também procedimentos para analisar a água do mar e outras variáveis e eles organizaram os resultados de maneira a serem publicados de forma compatível. Assim, cada nação se beneficiava do trabalho das outras. No começo, cada navio trabalhava dentro de uma área limitada. Eram feitas observações próximas umas das outras durante longos períodos de tempo, mesmo durante vários anos. Dava-se ênfase ao controle da qualidade da água e seus movimentos, já que eles determinavam o crescimento e os ciclos migratórios dos peixes. Os instrumentos essenciais eram garrafas apropriadas e correntômetros sensíveis. Então já se dispunha de termômetros adequados feitos por especialistas, principalmente na Alemanha (a figura 66, na parte de cima, mostra alguns dos tipos fabricados), por isso não nos deteremos aqui no seu desenvolvimento. Antes de focalizarmos os outros instrumentos que se originaram do Laboratório Internacional, devemos juntar os fios de trabalhos anteriores, pois com a mudança para a Escandinávia apareceram muitas novas fontes de inspiração.

Os novos materiais para trabalho em águas profundas

Na segunda metade do século 19 houve uma aceleração do progresso tecnológico em todos os campos. Agora havia no mercado diversos materiais isolantes novos; o primeiro foi a borracha. Conhecida desde a penetração européia na América do Sul tropical, sua composição química fora estudada na França durante o século 18. Em 1839, a maioria dos processos comuns de manufatura já estavam estabelecidos. Suas propriedades isolantes térmicas eram muito apreciadas, bem como sua elasticidade, que, como vimos, foram usadas no acumulador para minorar as tensões a que eram submetidos os cabos usados em águas profundas. Aquecendo-se a borracha com enxofre, processo conhecido como vulcanização, produzia-se a ebonite e a vulcanite, ambas marcas registradas de origem. Casella, já observamos, usava ebonite para apoiar os seus termômetros, enquanto que a garrafa deslizante de Ekman era selada com anéis de borracha.

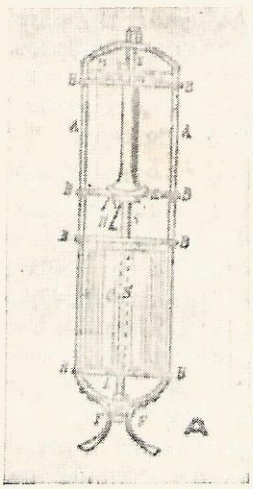
Um material vegetal similar, vindo da Ásia, a guta-percha, estava sendo fabricado pela metade do século e tornou-se o isolante convencional de milhares de quilômetros de cabos telegráficos. Ela também servia como isolante térmico — foi usada por Ekman com esse propósito —, mas faltava-lhe a elasticidade da borracha. A crescente indústria química preparou uma série de termoplásticos; a celulóide apareceu em 1862; a baquelite e outras resinas, logo depois.

Tais plásticos logo substituíram o osso, marfim e madeira em mil e um pequenos itens domésticos, de modo que suas qualidades se tornaram familiares e rapidamente apreciadas. Facilmente moldáveis, não-corrosivos, leves, eles se tornaram o material ideal para os instrumentos marinhos. Aos materiais orgânicos, nas oficinas dos fabricantes de instrumentos, juntaram-se novos metais e ligas, valorizados pela sua leveza e qualidades não-magnéticas e não-corrosivas. O bronze e o cobre, que depressa azinhavravam, foram substituídos pelo alumí-

nio, primeiramente descoberto em 1845 e produzido em alguma quantidade depois de 1880. O bronze fosforoso e outras ligas de bronze foram, também, aparecendo.

Uma nova partida de garrafas oceanográficas isoladas

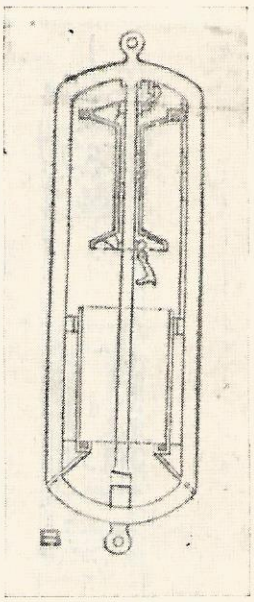
Antes da criação do ICES, duas garrafas oceanográficas isoladas estavam sendo desenvolvidas na Escandinávia. A garrafa deslizante que Frederick Ekman havia projetado foi construída primeiro, em 1877, e está mostrada na parte superior da figura 68. Seu cilindro era revestido com 25 milímetros de guta-percha. Deslizava em quatro ranhuras-guia e era selada por meio de anéis de borracha nas tampas superior e inferior. Depois do fechamento, um gancho mantinha o cilindro em posição contra os anéis. A parte inferior da figura 68 mostra um modelo posterior. A forma es-

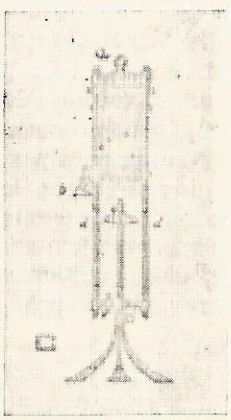


Primeiro projeto para uma garrafa oceanográfica, 1877. Não fornecida a escala.

AA são duas das quatro barras-guia; BB, prendedores horizontais; C é o cilindro; L, o pequeno orifício do cilindro inferior; FF, dois pés de aço; SSS, a barra central; M, um flange de bronze que mantém o cilindro na vertical durante a descida; P, a placa de borracha sob a tempa; f, a arruela de borracha da tampa inferior, e H, um gato retentor do cilindro depois do fechamento.

Um projeto similar àquele acima, utilizado para uma garrafa não isolada, 1880.





Segundo projeto para uma garrafa isolada, 1907. Não fornecida a escala.

a é a braçadeira (arganéu) no qual se prende o cabo; b, o gato retentor do cilindro depois que ele descer; c, o cilindro, e DD, duas das três barras-guia.

Fig. 68 — Garrafas isoladas de Ekman.

Fontes: A — Berlin: Fischerei Ausstellung, 1880.

B — F. L. Ekman. *Appareils exposés... au Congrés Géographique de Venise,* 1881.

C — Richard. *L'Océanographie,* 1907..

tava pouco alterada, mas agora existiam três ranhuras-guia e o gancho retentor do cilindro foi colocado na parte externa. O eixo-guia central era suficientemente comprido apenas para segurar a tampa superior.

A garrafa de Otto Pettersson, embora semelhante na forma e funcionamento, possuía isolamento completamente diferente.[74] Pettersson (1848-1941) era também um químico, lecionando em Uppsala e Estocolmo. Por volta de 1890, inventou a garrafa que tem o seu nome. A amostra de água era isolada por uma série de cilindros concêntricos de cobre, abraçados por espaçadores de ebonite. A garrafa é vista na figura 69. As placas das extremidades superior e inferior eram também isoladas por camadas de borracha aplicada sobre anéis de bronze leves. Pettersson teve muitos cuidados para que, em lugar nenhum de sua garrafa, as peças metálicas se tocassem, reduzindo assim a condutividade a um mínimo.

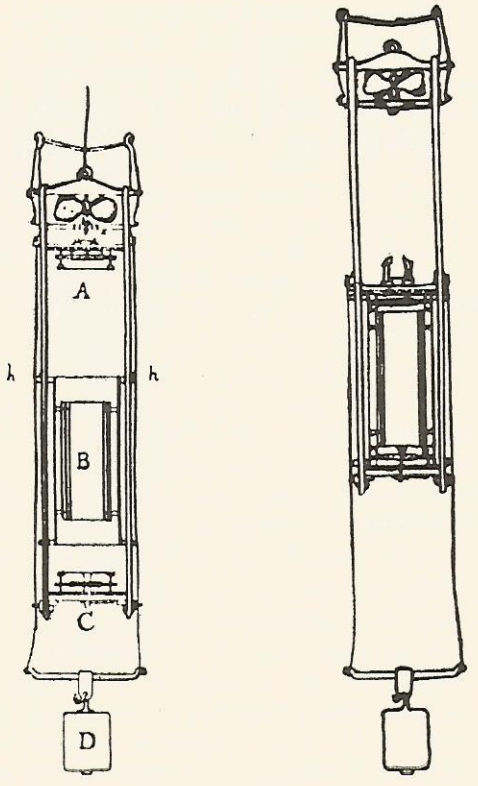


Fig. 69 — Garrafa isolada de Pettersson. A é a tampa superior; B, o corpo do cilindro; C, a tampa inferior; hh são fios pelos quais o peso força o fechamento da tampa superior, e D é o peso. À esquerda, a garrafa fechada.

Um mecanismo com hélice entrava em operação quando a garrafa era içada. Isto liberava uma trava, permitindo que o cilindro caísse apropriadamente, por ação do peso colocado embaixo. Quando no convés, colocava-se um termômetro dentro da garrafa, através de pequeno orifício na tampa superior. Um termômetro de laboratório, muito preciso, podia ser utilizado, já que ele não precisava fazer a temerosa viagem da garrafa mar adentro.

A construção cuidadosa desta garrafa é um fato memorável. Até então, os aparelhos precisavam ser robustos e pesados. Mas, mesmo a garrafa de Pettersson não satisfazia um dos mais exigentes cientistas marinhos que agora entrava em cena.

Fridjof Nansen (1861-1930) conseguiu eminência em três carreiras distintas. Famoso como explorador polar, cruzou a calota de gelo da Groenlândia em 1888 e então conduziu o Navio *Fram* na expedição norueguesa ao Pólo Norte de 1893-96. Depois disto, tornou-se professor de Zoologia da Universidade Real de Frederick e diretor do Laboratório Internacional de Cristiânia. Aqui ele supervisionou o projeto e a construção de muitos instrumentos. Sua carreira política começou quando se tornou o ministro para a Inglaterra quando a Noruega ficou independente em 1905. Depois de um ano, retornou à vida acadêmica, tornando-se professor de Oceanografia e fazendo viagens regulares de verão até estourar a guerra, em 1914. Depois disto, seus interesses se voltaram de novo para a política e ele é, muitas vezes, relembrado pelo seu trabalho com refugiados e com a criação do Passaporte de Nansen para pessoas apátridas. Sua casa, nos arredores de Oslo, é mantida como uma biblioteca e uma homenagem ao seu trabalho, mas, em recente visita a ela, descobri uma quantidade de seus instrumentos oceanográficos negligentemente colocados no sótão.

Nansen era um perfeccionista. Sob sua direção, os instrumentos atingiram os mais altos padrões de precisão. Cedo, ele aprimorou a garrafa de Pettersson,[75] como mostrado na figura 70, adicionando lingüetas para manter o cilindro embaixo e substituindo o lançamento de mensageiro para fechamento mais rápido em águas rasas. Decidiu que qualquer termômetro colocado na garrafa depois de sua volta ao convés, devido à sua massa de vidro e mercúrio,

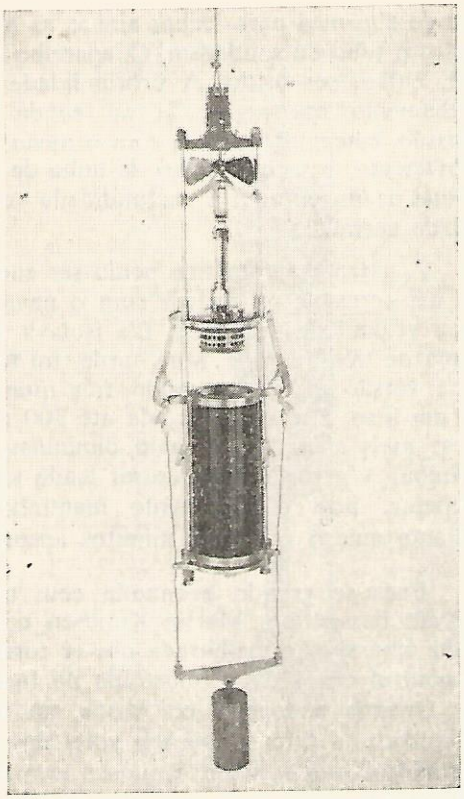


Fig. 70 — Garrafa isolada de Nansen-Pettersson.

alterava a temperatura do conteúdo, enquanto que o mero ato de deslizar o termômetro para o seu interior agitava a amostra e reduzia a insulação. Por isso, ele projetou o chamado termômetro de Nansen para águas profundas, que era transportado em um suporte acima da tampa superior. O bulbo estava dentro da amostra de água, mas o tubo era suficientemente longo para mostrar toda a escala acima da tampa. Podia, assim, ser lido sem ser tirado da garrafa. Este instrumento foi primeiramente utilizado no Michael Sars em 1900, sob a supervisão de Nansen.[76]

Quando Nansen se tornou diretor do Laboratório do ICES, um dos problemas que chamou sua atenção foi o do "aquecimento adiabático" que mascarava o comportamento de todas as garrafas isoladas. Quando qualquer substância compressível, fosse vidro, borracha, celulose ou mesmo água, era arriada no mar, ela se aquecia conforme a pressão aumentava. Inversamente, ao ser içada, expandia-se e esfriava. O efeito é pequeno, mas, dado os padrões de precisão de Nansen, era o suficiente para estragar a observação, a não ser que fosse feita uma correção. A borracha e a ebonite eram as mais sujeitas às variações adiabáticas, e Nansen dedicou-se à construção de uma garrafa que evitasse sua utilização tanto quanto possível.[77] O resultado foi a Grande Garrafa de Nansen, mostrada na figura 71. Esse desenho constitui nosso único registro, porque o instrumento original perdeu-se no mar em 1900 e não mais foram feitos outros exemplares. O isolamento era feito por tubos de vidro circundando o cilindro. Cerca de 80 desses tubos, prateados no interior para refletir o calor, eram arrumados em duas camadas, separadas por fina lâmina de ebonite.

A coleta de amostras de água com o navio em movimento

Se fosse possível fazer uma garrafa operar com o navio em movimento, poder-se-ia fazer muito mais coletas em menor espaço de tempo. Como a garrafa não estaria se movendo suavemente, não se poderia confiar ao mensageiro ou ao hélice o seu fechamento. A garrafa automática,

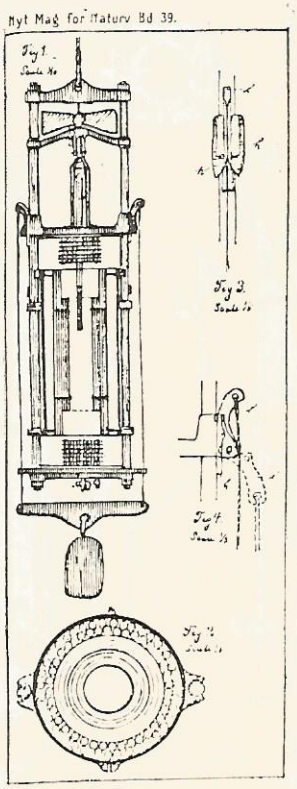


Fig. 71 — Grande garrafa oceanográfica isolada de Nansen.

mostrada na figura 72, indica como o problema foi contornado. Nansen e Vaun Ekman (filho do químico Frederick Ekman, cujas garrafas foram descritas acima) aperfeiçoaram seus projetos em 1904 e a garrafa foi usada regularmente daí em diante.[78]

A garrafa era muito esguia, contendo ao todo menos do que meio litro. Três jaquetas de celulóide rodeavam uma câmara interna, e um revestimento de 2 milímetros de ebonite cobria o exterior. As placas das extremidades eram recobertas e seladas com grossas capas de borracha. Levava um termômetro inteiramente dentro do cilindro e que não aparece no desenho. Ao longo da parte externa está uma sonda de pressão Rung.

A garrafa era arriada com as tampas abertas e a aleta parcialmente levantada. Conforme a garrafa entrava na água, essa aleta era forçada para cima contra o empuxo do peso pendurado embaixo. Quando sua descida parava, o peso puxava o sistema de alavanca para fechar ambas as tampas e o tubo de sondagem. O aparelho podia, então, ser içado. A profundidade de fechamento era registrada na sonda de pressão, essencial, porque, com o navio em movimento, o comprimento da linha de reboque usado excedia a profundidade vertical da garrafa.

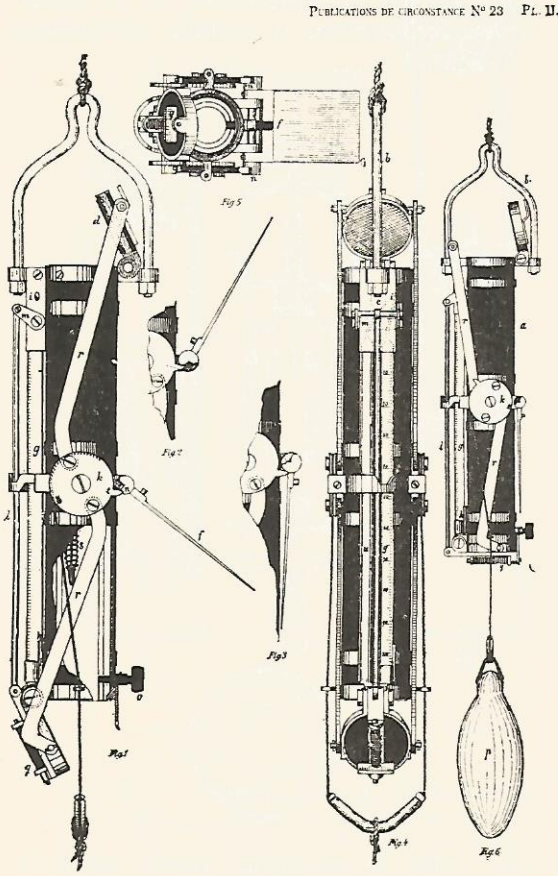


Fig. 72 — Garrafa isolada automática.

A garrafa automática podia ser enviada até cerca de 60 metros com o navio a uma velocidade de 7 nós. Ela isolava por cerca de três minutos. Mais tarde, foi feita uma versão maior, contendo três quartos de um litro. Podia ser arriada até 300 metros; mais além, se o navio diminuísse a marcha. A garrafa tinha de ser içada rapidamente, pois o isolamento mantinha-se durante quatro ou cinco minutos apenas.

Fazia-se grande economia com uma garrafa desse tipo. Martin Knudsen construiu uma versão melhorada que se tornou disponível em 1909,[79] mostrada na figura 73. Quando a garrafa era usada em alta velocidade, a água girava em volta das jaquetas isolantes e, assim, Knudsen teve que colocar travessões para que isso não acontecesse. Como a garrafa era rebocada na esteira turbulenta do navio, o fechamento também tinha que ser muito forte e seguro. A garrafa de alta velocidade de Knudsen tinha três potentes molas em espiral que mantinham as tampas abertas contra os trancos da linha de reboque, até que a garrafa fosse içada. Existiam duas sondas de tubo de pressão, uma calibrada para água profunda e a outra para água rasa. Com essa garrafa, Knudsen foi capaz de sondar até 80 metros, por todo o percurso, desde a Noruega até a Escócia, com o navio movendo-se a 8 nós. Somente sobre a profunda fossa ao largo da costa da Noruega é que ele teve que reduzir a marcha do navio para 2 nós, para que a garrafa pudesse descer até 250 metros. Como o isolamento só se mantinha durante dois minutos, a garrafa tinha que ser içada rapidamente.

Garrafas de válvula de passagem e de imersão

A garrafa de válvula de passagem não foi inteiramente abandonada. Nansen usou-a em várias ocasiões, para coletar amostras para análise de salinidade. A

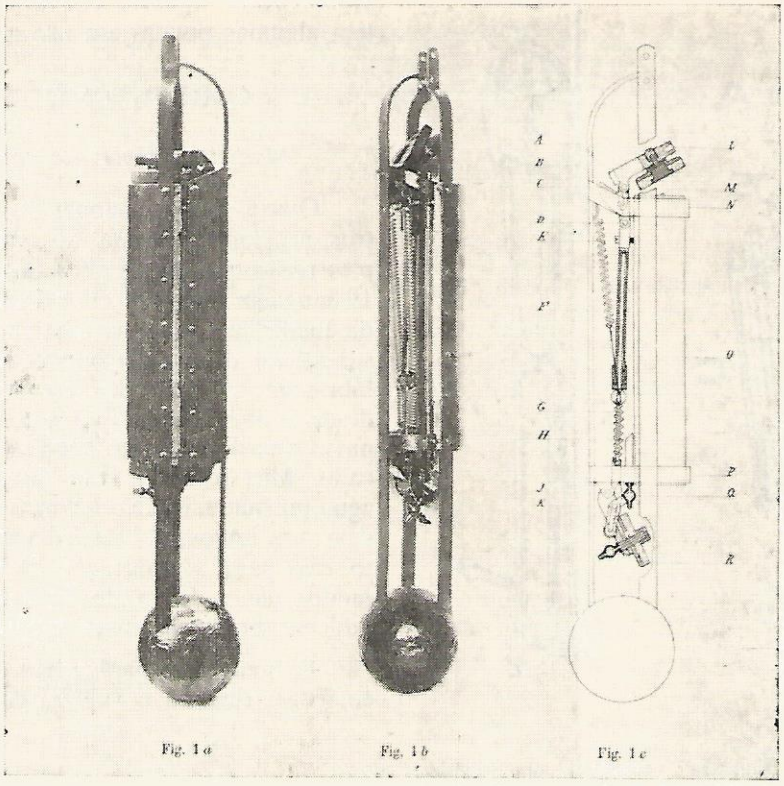


Fig. 73 — Garrafa de alta velocidade de Knudsen.

figura 74 mostra sua garrafa de dupla válvula de passagem que era operada por içamento.[80]

Uma outra garrafa de válvula de passagem, ativada por uma armação reversível, foi inventada por Jules Richard, que trabalhava para o Príncipe Alberto de Mônaco.[81] Os cruzeiros de Mônaco eram realizados a cada ano, desde 1885, e Richard projetou muitos dos aparelhos que eram usados. A figura 75 mostra sua garrafa leve, montada dentro de uma armação Magnaghi e possuindo um termômetro de inversão preso ao cilindro. Inicialmente, a garrafa funcionava por meio de hélice; depois, como mostra a ilustração, era largado um mensageiro de modo que um outro era liberado, conforme cada garrafa invertia, para disparar a seguinte mais abaixo na linha. Desse modo, uma série completa de amostras podia ser obtida com uma lingada.

A garrafa de inversão de Ekman originou-se do Laboratório de Cristiânia.[82] Em vez de válvulas de passagem, ela possuía placas nas extremidades, cobertas de borracha. Em 1904, o projeto terminou e



Fig. 74 — Garrafa de dupla válvula de passagem.

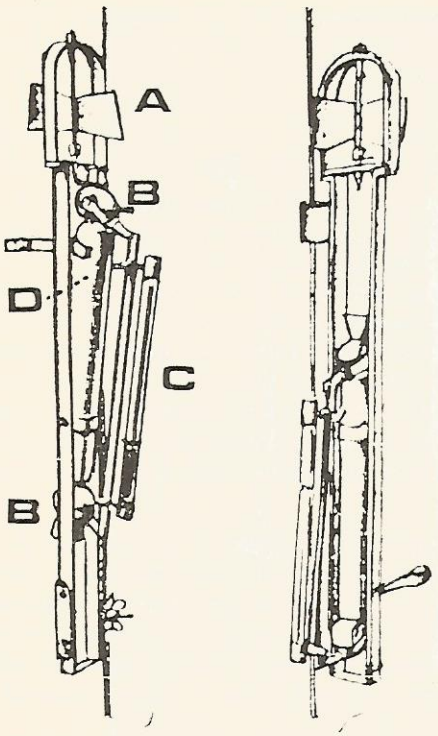


Fig. 75 — Garrafa reversível de válvula de passagem de Richard. A é a armação tipo Magnaghi; BB são as válvulas de passagem; C, o termômetro de inversão; D, a garrafa.

ela foi posta à venda em duas armações. Uma versão era para uso em águas intermediárias, na qual cada garrafa, ao inverter, liberava outro mensageiro, figura 76. A armação usada no final da linha mantinha a garrafa centralizada e permitia que um peso fosse colocado abaixo dela para manter toda a fiada embaixo.

O cilindro da garrafa de Ekman era feito de cobre estanhado. A água corria livremente através dele na descida. O mensageiro liberava uma lingüeta de mola e todo o cilindro, junto com seu termômetro, invertia de forma que as alavancas agora atuavam movendo rapidamente as tampas para baixo. Todo o equipamento pesava cerca de 5 quilos e coletava pouco mais de meio litro de água. O fabricante também colocou à venda uma versão operada por mensageiro e outra de maior capacidade. Ambas as garrafas de Nansen-Pettersson e a de Ekman eram tão maneiras nas operações e apresentavam resultados tão precisos e confiáveis, que elas continuaram em uso durante muitos anos, com pequenas modificações apenas. Provavelmente existem algumas poucas em uso ainda hoje.

CORRENTÔMETROS

Medição simples da corrente

Quase não mencionei os correntômetros no começo dessa história, pela simples razão que até os anos finais do século 19 ninguém havia encontrado uma maneira de medir as correntes abaixo da camada superficial do mar. Correntômetros foram fabricados e utilizados em rios e canais, desde o final do século 18; o odômetro do navio era, de fato, um correntômetro rebocado. Mas fora da vista de terra ou em água profunda, onde o navio não podia fundear, era impossível estabelecer-se um ponto fixo para a amarração do medidor, de modo que o fluxo de água através dele pudesse ser precisamente medido.

Existem dois parâmetros em qualquer corrente: direção e velocidade. A direção

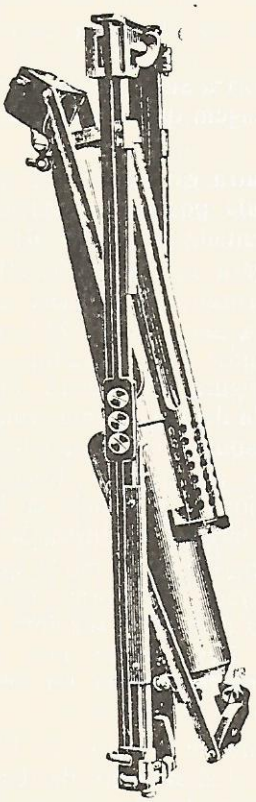


Fig. 76 — Garrafa reversível de Ekman. Armação para meia-água, com dois termômetros.

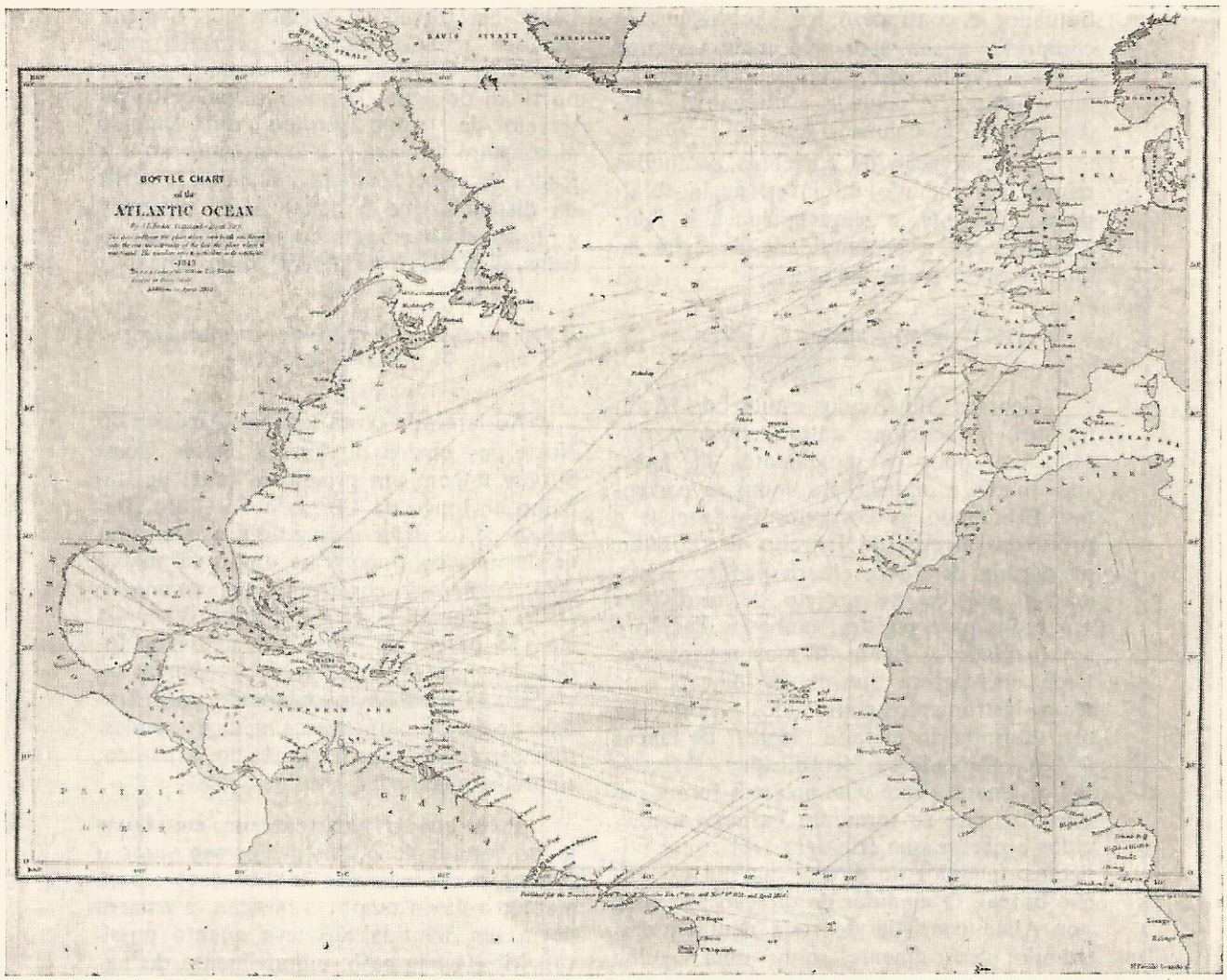


Fig. 77 — "Carta de garrafa" do Oceano Atlântico, 1856.

é a mais fácil de ser medida, isto sendo feito jogando-se pela borda, cada dia, um flutuador marcado com a data e a posição de lançamento. Muitas vezes encontrados, estes flutuadores eram devolvidos conforme solicitado e, assim, foi possível, durante anos, estabelecer-se o padrão geral de direção da corrente superficial. Os flutuadores, de certa forma, estavam à mercê dos ventos e das marés, e não era possível saber quanto tempo eles tinham levado atravessando os oceanos (alguns, de fato, eram apanhados no mar). Mas, eventualmente, cartas preparadas com o auxílio de garrafas, tal como a mostrada na figura 77, acima, que apareceu no *Nautical Magazine* em 1843, puderam ser publicadas. Tais cartas representavam graficamente a direção geral das correntes superficais através dos oceanos.

A velocidade, imediatamente abaixo da superfície, era medida algumas vezes através do lançamento de um flutuador acoplado a um contrapeso. O flutuador podia ser uma balsa, uma bóia ou um barril lastrado, de modo a mantê-lo apenas à flor d'água. O contrapeso podia ser um barril similar, cheio de lastro, ou um cone de lona ou drogue, lastrado. Assim era o odômetro de Bouguer, que podia ser adaptado para medir correntes (mostrado na parte superior da figura 7); foi levado por Phipps na sua viagem ao Ártico em 1773. Este método é logicamente restrito a pequena

profundidade porque, se o cabo ligando o flutuador e contrapeso for excessivamente comprido, a sua área será maior do que a deles. Neste caso, todo o conjunto se move com a velocidade e direção da média através da coluna d'água.

A observação de correntes profundas requer um método de investigação totalmente diferente, e naquela época o fator limitante era a profundidade da água na qual o navio podia ancorar.

Os correntômetros de Aimé

Georges Aimé, cujos estudos do Mediterrâneo já mencionei antes, estava interessado em todos os movimentos da água, suas marés e ondas, bem como as correntes. Estudando as correntes superficiais e profundas através do Estreito de Gibraltar na década de 1840, ele despendeu considerável esforço no projeto de medidores separados para registrar ambas a direção e a velocidade. A figura 78 mostra seus projetos, mas parece que nunca foi capaz de ter os instrumentos construídos e assim, diz ele, retornou ao método "inglês" de lançar à água flutuadores identificados.[83] Entretanto, uma vez que seus projetos foram publicados, eles se tornaram bastante conhecidos e parece que Irminger fabricou e utilizou o medidor de direção na sua expedição boreal. O medidor de direção proposto por Aimé consistia de roda dentada deslizando verticalmente sobre uma agulha magnética, ambas contidas num invólucro de cobre. Sob o invólucro, um leme alinhava o aparelho com o fluxo da corrente. O medidor era arriado por uma linha de seda trançada porque Aimé sabia que o cabo cochado tende a revolver à medida que as cochas se desfazem sob o efeito da pressão da água profunda. A uma profundidade selecionada soltava-se um mensageiro na linha. Ele colidia com um pino e forçava a roda dentada sobre a agulha da bússola. Quando içado, o ângulo entre a agulha e o leme mostrava a marcação magnética da corrente. Não era muito preciso, uma vez que a roda dentada permitia uma variação de 11°.

O medidor de velocidade proposto era oriundo das sondas direcionais então em uso para medir correntes superficiais em canais e rios. Ele possuía um hélice que podia passear numa barra rosqueada. O hélice era travado à medida que o medidor era arriado. Então, o primeiro mensageiro o liberava, permitindo que girasse no fluxo de água Depois de um certo intervalo de tempo medido, um segundo mensageiro travava-o e o instrumento era içado. A velocidade era calculada a partir da distância que o hélice havia passeado ao longo da barra, em comparação com tabelas empíricas previamente preparadas.

A medição de correntes profundas: o medidor Pillsbury

Ao largo da costa leste da América do Norte, os navios da United States Coast Survey tinham um programa anual de trabalho ao longo da Corrente do Golfo. Desejoso de localizar a posição e a intensidade de uma contracorrente que fluía abaixo dela, a Survey construiu uma escuna, o *Drift*, e em 1877 eles puderam fundeá-la em 139 braças de água. Ano após ano foram alcançadas águas mais profundas e, em 1883, o *Blake* foi adaptado para fundeio profundo para que as medições pudessem ser feitas bem no meio do Atlântico, além da plataforma continental.[84]

Para que o navio ancore em águas muito fundas (e o *Blake* algumas vezes o conseguiu em mais de 2.000 braças) e para manter o navio numa só posição, a amarra devia ser mantida tão tesa quanto possível. Mas, nesse caso, o movimento do navio, devido às ondas e ao tempo, coloca terrível tensão no cabo e nos seus pontos de amarração. Por isso, um acumulador muito grande foi montado e uma engrenagem especial instalada de forma a absorver a tensão do cabo e transferi-la para o mastro principal na forma de um empuxo para baixo.

O medidor usado foi o primeiro projetado pelo Capitão-Tenente Pillsbury, em 1876. Ele tinha sido, agora, construído e experimentado e durante os próximos anos foram feitas várias alterações nele.[85] A figura 79 mostra um exemplar que foi enviado à Inglaterra pelos americanos, alguns anos mais tarde, de forma que não é idêntico ao primeiro usado a bordo do *Blake*. A figura 80 ilustra como o correntômetro era arriado do navio ao longo de um estropo, preso ao cabo da âncora.

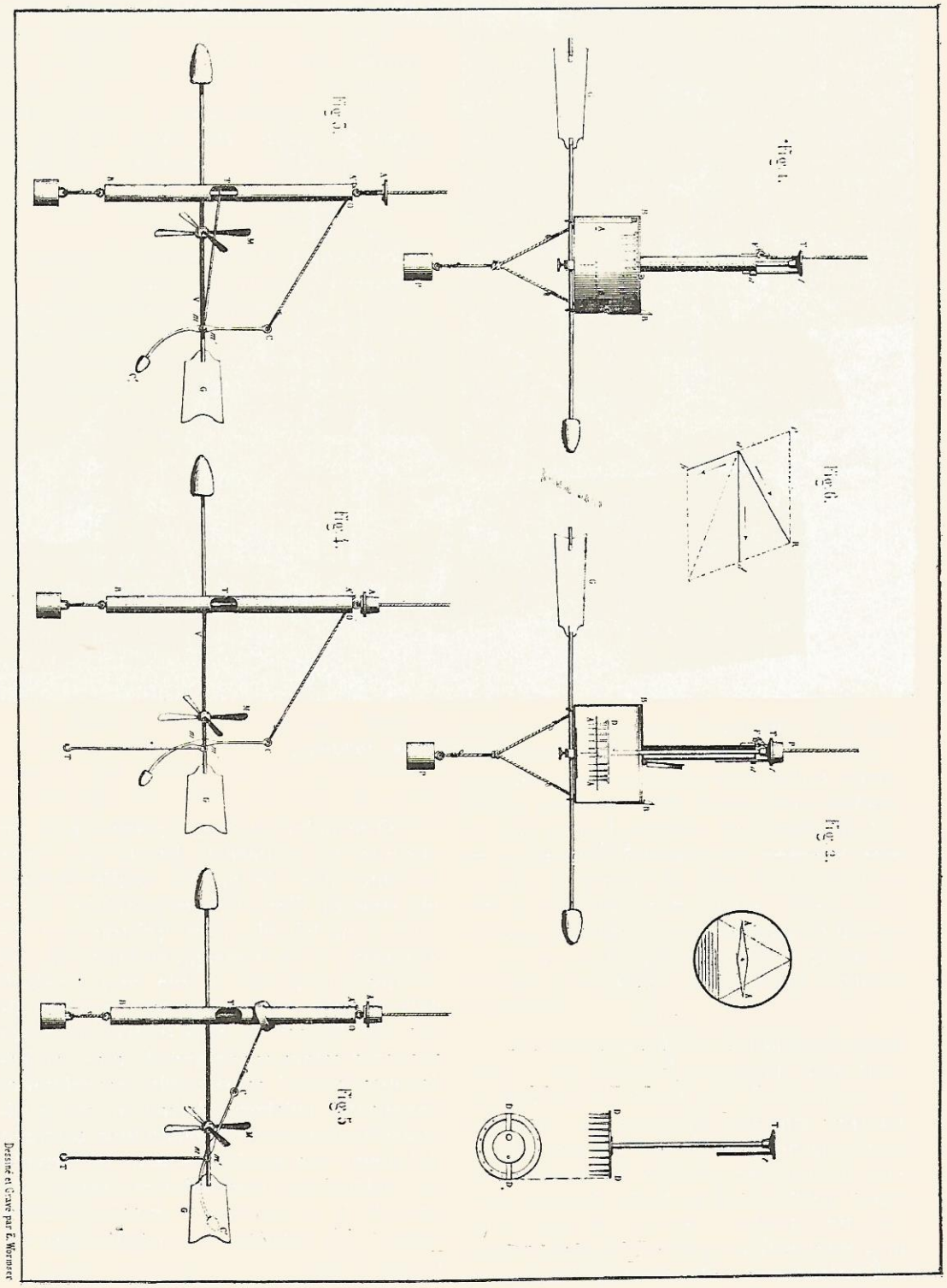


Fig. 78 — Medidores de velocidade e direção da corrente de Aimé.

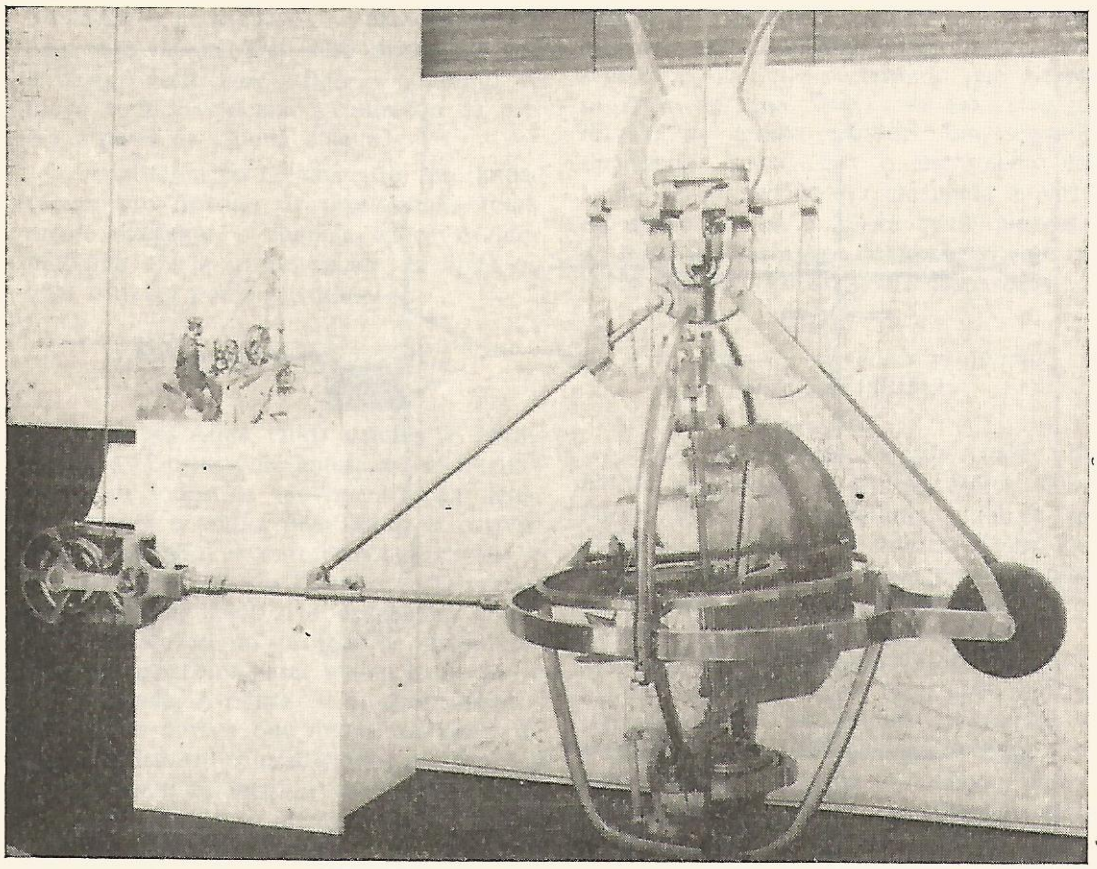


Fig. 79 — Correntômetro Pillsbury.

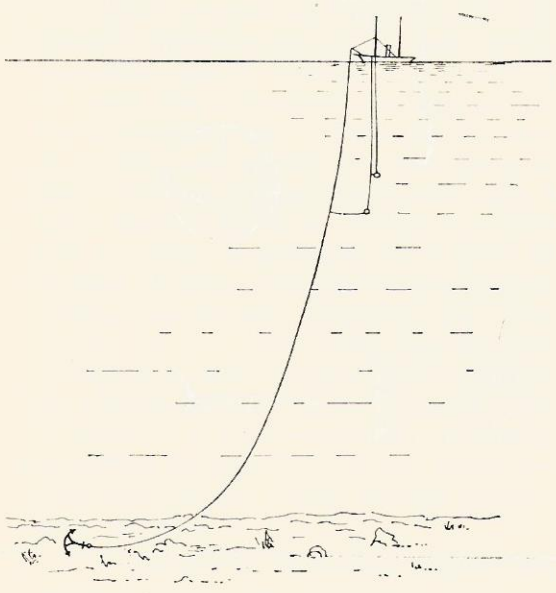


Fig. 80 — Âncora e estaiamento para o correntômetro Pillsbury.

O medidor era muito pesado, para ser mantido verticalmente dentro das fortes correntes que ele deveria medir. Possuía um leme de direção, para alinhá-lo com o fluxo; uma bússola, para registrar esse alinhamento, e um pequeno conjunto de aletas que giravam de acordo com a velocidade da água. Originalmente, o medidor tinha um dispositivo para trancar as aletas enquanto estava sendo arriado e ao ser içado, mas isto foi considerado insatisfatório; finalmente, Pillsbury deixou as aletas girarem o tempo todo, fazendo uma correção do tempo que ele levava para ser arriado ou içado. Como o medidor era geralmente operado a profundidades preestabelecidas durante 30 minutos, a correção não era muito crítica.

A agulha da bússola era travada quando o medidor era içado, ao passo que as revoluções das aletas registradas num mostrador, lido quando chegava ao convés.

O medidor aqui descrito foi usado pelo Almirantado em 1896 para medir a corrente através dos Estreitos de Dover e enviado em 1898 para medir a Corrente Equatorial. A Marinha não ficou muito satisfeita com ele, pois, apesar da sua construção robusta, tendia a balançar fora do prumo em águas de fluxo forte, e em tais casos falhava nos registros.

O correntômetro pendular de Nansen

Qualquer correntômetro que dependa do arranjo de cubas ou aletas para registrar a velocidade não merece confiança a velocidades baixas, pois a água tende a fluir através do aparelho sem girar as aletas preferencialmente em qualquer direção. Nansen, tentando como sempre melhorar os instrumentos até o limite de suas capacidades, precisava de um correntômetro para detetar oscilações vagarosas da água profunda devidas às marés, bem como ao fluxo permanente. Ele pretendia usar o medidor a partir de uma plataforma estável, tal como uma massa de gelo flutuante, ou colocando-o no fundo do mar. Seu medidor não tinha pás, porém dependia de uma placa de pressão, ou de um pêndulo com aleta, como sensor.[86]

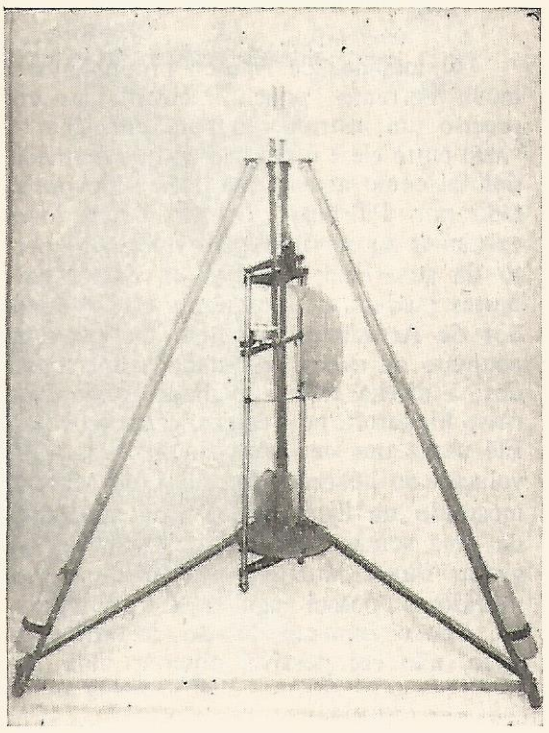


Fig. 81 — Correntômetro pendular de Nansen.

O pêndulo estava pendurado dentro de uma armação de cobre resistente. Era suspenso por cordão de linho e tornado praticamente sem peso por meio de uma bóia de pescador de vidro presa à armação. Sobre o ponto de suspensão ficava uma agulha magnética. Esse único sensor, o pêndulo sem peso, era feito para registrar a direção e a intensidade da corrente. Na parte de baixo da armação ficava um disco côncavo de cortiça, que era suspenso por meio de um mensageiro liberado do navio, de forma que atingisse a extremidade pontiaguda do pêndulo, enquanto que no mesmo instante travava a agulha magnética. A distância do pêndulo ao centro do disco de cortiça era, assim, a medida da velocidade da corrente, e a sua direção era indicada pela posição da agulha da bússola.

Esse primeiro projeto foi feito antes de Nansen juntar-se ao Laboratório Internacional e o medidor foi lá desenvolvido durante os próximos anos. A figura 81 mostra um exemplar, provavelmente datado de 1906, que difere alguma coisa da descrição dada acima. O pêndulo leve, que não mais possui um flutuador de vidro, é suspenso numa armação destinada a repousar no fundo do mar. Existe uma barbatana para girar a armação na direção do fluxo e há uma agulha para registrar essa direção. O disco é de fibra e coberto com cera e entalhado com fendas radiais e circulares. Soltando-se um mensageiro do navio, o prato levanta-se contra a ponta do pêndulo e ao mesmo tempo trava a agulha magnética.

Enviando-se vários mensageiros linha abaixo, era possível conseguir uma série de leituras, de forma que ficava claro se a corrente era suave ou oscilante. Nansen decidiu que até mesmo a presença próxima do navio, e o envio de mensageiros pela linha, poderia afetar os movimentos muito lentos que ele esperava detetar, por isso adaptou o equipamento para funcionar com mecanismo de relojoaria, de maneira que podia ser arriado até o fundo, posicionado por uma bóia de marcação de superfície e deixado a funcionar sozinho no fundo durante algum tempo.

O correntômetro de Ekman

O medidor de Nansen propunha-se a medir correntes pouco intensas, mas era preciso um instrumento para preencher o vazio entre ele e o modelo pesado de medidor tal como aquele que havia sido projetado por Pillsbury. Os medidores leves existentes só serviam para operações perto da superfície; a figura 82 ilustra dois desses medidores; à esquerda está o medidor de Arwidsson, que tem um pequeno conjunto de cubas engrenado a um contador; à direita está o medidor usado pelo russo Makaroff, no Bósforo, cerca de 1880. Ele usava um sino para sinalizar cada revolução do hélice. O medidor de Massey, mostrado na figura 83, é uma adaptação de uma sonda, que o torna capaz de registrar fluxos horizontais. Nenhum desses medidores possui agulha e, na verdade, com o aumento do uso de navios de ferro, não era possível obter-se uma leitura magnética de um medidor que era planejado para ser usado perto do casco do navio.

O Laboratório de Cristiânia dedicou-se a fazer um medidor de tal tipo e o resultado foi o correntômetro de Ekman, de fato um dos instrumentos de maior sucesso que saiu de suas oficinas. Foi testado a bordo do *Michael Sars,* em 1902, e posto à venda no ano seguinte.[87]

O medidor de Ekman, figura 84, fez uso considerável dos novos metais agora disponíveis. Uma barbatana feita de liga leve dirigia-o para dentro da corrente e seu hélice, de oito pás, era de alumínio. O eixo vertical girava sobre rolamentos. Quando o medidor estava arriado em posição, um mensageiro colocava-o em movimento. As rotações do hélice eram registradas por um conjunto de contadores, mas a direção da agulha era também constantemente registrada, de uma maneira muito

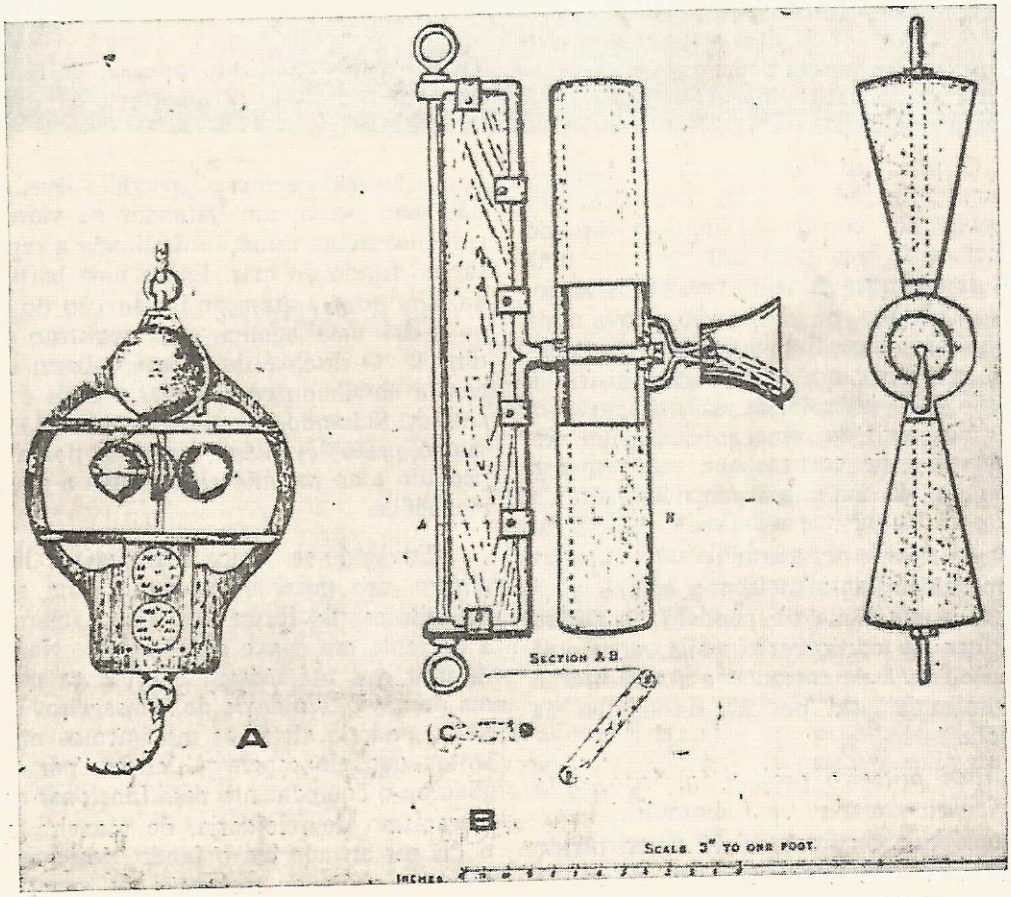


Fig. 82 — A, correntômetro de Arwidsson. B, correntômetro de Makaroff.

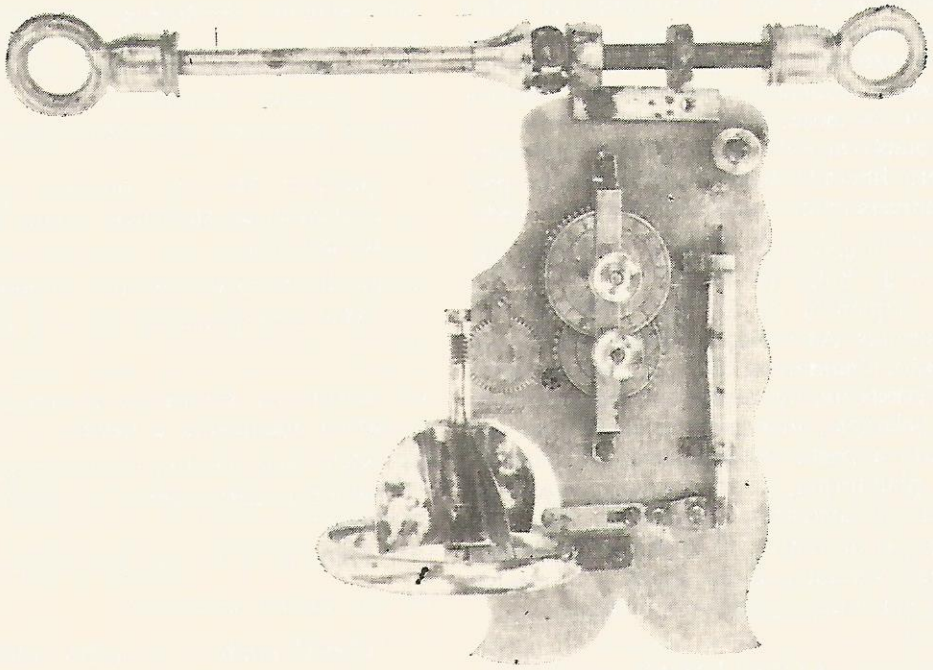


Fig. 83 — Correntômetro de Massey, 1880.

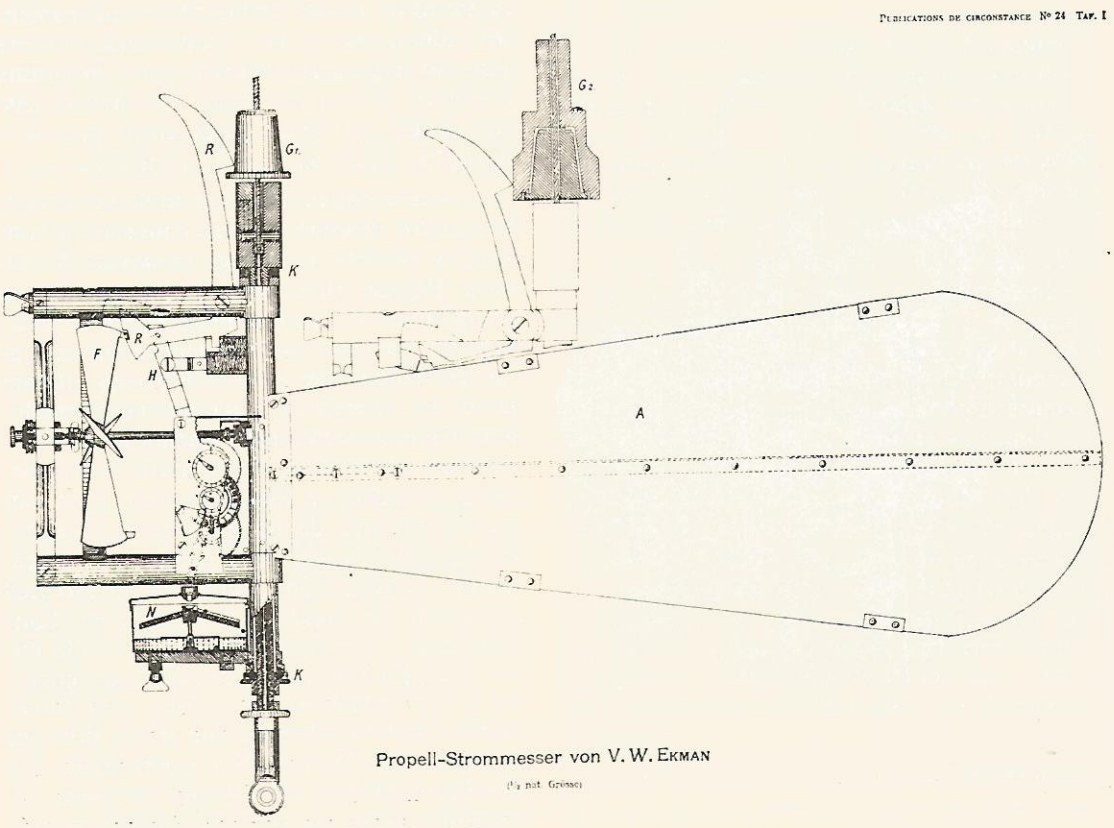


Fig. 84 — Correntômetro de Ekman.

engenhosa. A cada 50 rotações, o hélice abria um recipiente e soltava pequena bola de bronze que caía em um dos 36 compartimentos, de acordo com a posição da agulha no instante. Depois de um intervalo de tempo medido, um segundo mensageiro era liberado para travar todas as partes móveis antes que o medidor fosse içado.

Eventualmente, Ekman conseguiu numerar as bolas de bronze de forma que uma seqüência de direções pudessem ser registradas. As variações desse correntômetro são abundantes. O medidor de deriva de Carruthers, figura 85, empregava o mesmo princípio, mas era projetado para ser arriado a partir de um busca-farol ou de uma plataforma, de modo que pudesse registrar as correntes variáveis de um ciclo completo de marés. O medidor de Ekman e suas variantes estão ainda em serviço ativo em muitas partes do mundo.

CONCLUSÕES

Nesse breve relato foram omitidos muitos instrumentos e expedições de menor importância. Entretanto, é possível chegar a algumas conclusões, como, por exemplo, por que o progresso na instrumentação algumas vezes foi rápido e outras vezes paralisou. Acredita-se que melhoramentos *potenciais* apareçam quando:

a) qualquer Marinha considere que suas operações de superfície sejam por isso melhoradas;

b) há demanda de interesse comercial.

Mas esse potencial só será realizado se:

c) estiverem à disposição materiais e métodos adequados e navios;

d) existir mão-de-obra adequada para trabalhar intensivamente na região escolhida.

Onde a) e b) são alternativos; c) e d) são fatores essenciais.

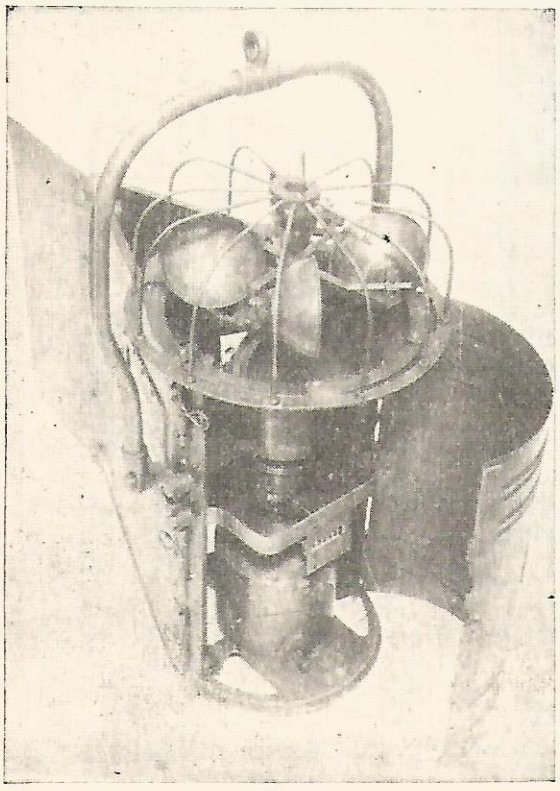


Fig. 85 — Medidor de deriva de Carruthers.

Considerando a primeira alternativa, fica claro que a Marinha Britânica tinha esperança que a Oceanografia viesse em seu auxílio para localizar a entrada para a Passagem de Noroeste. Tal não aconteceu devido à ausência dos fatores c) e d). A tecnologia não podia prover instrumentos adequados e não havia mão-de-obra disponível para levar adiante um programa intensivo dentro das águas do Ártico. Assim sendo, as observações eram poucas e distantes entre si, e não confiáveis.

A alternativa b), demanda comercial, funcionou deveras no que concerne a sondagens durante o último trimestre do século 19; de 1870 em diante, quando as companhias de cabos telegráficos assumiram os encargos das sondagens preliminares ao longo das rotas dos cabos. Agora temos os fatores c) e d) ambos preenchidos. Existem tecnologia, trazida pelas companhias telegráficas, engenharia e mão-de-obra adequada e financiamento, com um grande número de navios empregados, fazendo observações num pequeno espaçamento. O resultado: rápido progresso nos aparelhos de sondar. As condições também eram favoráveis durante o período entre 1890 e 1914. Havia demanda do governo e das indústrias pesqueiras para remediar a falta de pescado que trazia pobreza a muitas cidades costeiras e povoados dos estados marítimos da Europa do Norte. A demanda agora era por garrafas oceanográficas e correntômetros, os quais dependiam

dos novos materiais e metais, então no mercado, para sua eficiência. Os navios e a mão-de-obra eram adequados, devido à introdução de melhores programas, e, sob o ICES, os resultados de cada navio ficavam rapidamente disponíveis a todos os membros.

Da mesma forma, podemos notar a ausência de progresso nas técnicas de sondagens antes da era da telegrafia submarina, e depois do começo do século 20, até que foi desenvolvido o ecobatímetro, inicialmente como uma arma militar. Vemos, também, que os cruzeiros zoológicos dos anos 1850 e 1860, e as grandes circunavegações, tiveram pouco efeito na invenção dos instrumentos, comparado com o obtido sob o estímulo do ICES. Podemos somente concluir que o dinheiro fala mais alto do que a ciência.

FONTES PARA FUTURAS PESQUISAS

Relatos contemporâneos do desenvolvimento dos instrumentos oceanográficos apareceram numa larga gama de publicações, como deve estar evidente pelas referências dadas. Pode ser útil ao pesquisador resumir essas fontes, de onde podem ser extraídos mais detalhes do que os aqui mencionados.

Para o período mais longínquo, até 1800, existem uns poucos livros e artigos, mas a maioria de informação é conseguida dos jornais das sociedades acadêmicas que atuavam na época em Londres e Paris: o *Philosophical Transactions,* emitido originalmente pelo secretário da Real Sociedade de Londres e que se tornou, eventualmente, em *Phil. Trans. Royal Society,* e o *Journal des Sçavans,* publicado em Paris. Ambos os jornais começaram suas publicações em 1666.

Depois de 1800 houve um aumento dramático no número das sociedades existentes, e detalhes dos aparelhos apareceram nos jornais devotados à Química, Física, História Natural, Artes Mecânicas, Ciência Naval e à Ciência em geral. Podem ser consultados também livros e patentes.

Os livros eram, na maioria, em forma de narrativas. Os escritos pelos comandantes das expedições eram baseados nos diários de bordo e jornais, que eram obrigados a entregar ao Almirantado ao voltarem. Essas narrativas eram publicadas com recomendável rapidez, normalmente aparecendo no ano seguinte ao da viagem. Elas possuem um conteúdo científico considerável, incluindo, freqüentemente, instruções, lista de instrumentos levados, relatórios sobre esses instrumentos, tabelas dos resultados e vários apêndices sobre aspectos de uma ciência em particular. O método é, muitas vezes, descrito dentro da narrativa e pode algumas vezes ser ilustrado.

A literatura de periódicos pode ser subdividida em: jornais, transuntos e procedências das sociedades, jornais abstratos e de revistas e enciclopédias (sendo estas submetidas a atualizações regulares).

As datas em que alguns dos periódicos relevantes foram fundados são: 1794 — *Repertory of Arts & Manufactures;* 1797 — *Journal of Natural Philosophy* (Nicholson) e *Philosophical Magazine;* 1813 — *Annals of Philosophy;* 1818 — *Journal of Sciences & Arts* (Silliman); 1819 — *Edinburgh Philosophical Journal;* 1820 — *Journal of Arts and Sciences;* 1823 — *Edinburgh Journal of Philosophy* e *Mechanic's Magazine,* e 1832 — *Nautical Magazine.*

As patentes britânicas lidam principalmente com sondas, e muito menos com detalhes de termômetros. As patentes americanas cobrem o mesmo campo, e vários instrumentos foram patenteados em ambos os países e. obviamente oferecidos para venda em ambos os lados do Atlântico.

Mais tarde, no decorrer do século 19, catálogos dos fabricantes de instrumentos eram de grande utilidade como guia para a variedade de instrumentos à venda. A segunda metade do século 19 foi também a era das grandes exposições internacionais, sendo a primeira realizada em Londres, em 1851, estabelecida por todas as nações com pretensões à capacidade industrial. Lá foram expostos aqueles dispositivos engenhosos dos quais seus inventores e fabricantes tinham mais orgulho. Dos relatórios e catálogos da exibição, podemos ver os aparelhos oceanográficos conforme eram mostrados e ler a avaliação dos júris atribuindo prêmios aos instrumentos de maior sucesso.

Os progressos conseguidos na exploração submarina, especialmente aquele executado no mundo todo pelos engenheiros

das companhias telegráficas, chamaram a atenção pública e foram objeto de muitos pequenos artigos publicados por magazines ecléticos na Inglaterra e alhures. Apareceram também artigos naqueles jornais fundados por engenheiros telegráficos e eletricistas, bem como nos jornais científicos mais populares, tais como o *Nature* (Londres) e *La Nature* (Paris). Essas publicações trouxeram notícias mais atuais do que as encontradas nas enciclopédias, que estavam agora meio desatualizadas nas informações sobre as condições físicas encontradas no fundo do mar.

Adiantando-nos até a virada do século, a principal fonte de informação é, sem dúvida, Nansen, escrevendo por conta própria e como diretor do Laboratório Internacional. Seus assistentes são responsáveis pela maior parte da outra literatura, a qual o ICES tornou disponível na forma dos *Annual Reports* e dos *Occasional Papers* (*Publications de Circonstance*). Entretanto, durante esse período, surgiu um outro fator: a Oceanografia começou a ser ensinada como uma disciplina nas universidades de vários países e pela primeira vez encontramos livros-textos sobre o assunto e também tentativas de escrever a história da ciência marinha. Ambas essas classes de literatura continuam a existir hoje. Abaixo está uma lista de alguns desses trabalhos:

Livros-textos:

KRUMMEL, Otto. *Handbuch der Ozeanographie*. 2 v. Stuttgart, 1907 & 1911.

THOULET, Julien. *Guide d'océanographie pratique* e *Instruments et operations d'océanographie pratique*. Paris, 1895 e 1908.

Histórias:

DEACON, Margaret. *Scientists and the sea 1650-1900*. Londres, 1971.

McCONNELL, Anita. The development of instruments and apparatus for physical oceanography 1800-1914. Tese de PhD não publicada. Universidade de Leicester.

MURRAY, John & HJORT, Johan. *The depths of the ocean*. Londres, 1912.

RICHARD, Jules. *L'Océanographie*. Paris, 1907.

WYVILLE THOMSON, Charles. *The depths of the sea*. Londres, 1873.

Procedências de congressos:

MÔNACO. 1er Congress International d'Histoire d'Océanographie (1966). *Bull. Inst. Ocean*. Número especial 2. 2 v. 1968.

EDINBURGH, 2nd International Congress on the History of Oceanography. *Proc. Royal Society*. 2 v. Edimburgo, 1971-2.

Uma coleção maior de instrumentos pode ser vista no Musée d'Oceanographie, em Mônaco, e no Science Museum, em Londres. Coleções menores podem ser encontradas em outros museus científicos e marinhos em vários países.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Comandante Max Justo Guedes, diretor do Serviço de Documentação Geral da Marinha no Rio de Janeiro, onde esta história foi originalmente contada na forma de uma série de aulas, para tradução e publicação na forma presente.

Tradução do Capitão-de-Fragata Luiz Antônio de Carvalho Ferraz, em julho de 1982.

NOTA DA REDAÇÃO

Anita McConnell ingressou no Departamento de Ciências Geológicas do Museu de Ciência, em Londres, no ano de 1964. Graduou-se BSc na University College London. Realizou pesquisa sobre métodos e instrumentos usados nas expedições científicas dos séculos XVIII e XIX, com o propósito de solucionar problemas geofísicos e recebeu o PhD com a tese "O desenvolvimento de instrumentos e equipamentos para a oceanografia física, 1800 — 1914". Retornou ao Museu, após a graduação, e organizou a atual Galeria de Geofísica. Presentemente, é encarregada das coleções relacionadas a Magnetismo Terrestre e Oceanografia, sendo responsável pelo cadastramento, compra, guarda e conservação de todo o acervo das aludidas coleções. Organiza exposições permanentes e temporárias. Prepara catálogos e folhetos e atende às solicitações verbais e escritas, de pú-

blico especializado, sobre aspectos históricos e atuais das coleções. É autora de vários livros, merecendo destaque suas duas obras *No sea too deep* e *Geomagnetic instruments before 1900*.

Luiz Antônio de Carvalho Ferraz, Capitão-de-Fragata do Corpo da Armada da Marinha do Brasil, concluiu o Curso da Escola Naval em 1962 e o Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Oficiais em 1964. Fez-se Bacharel em Ciências, com especialização em Oceanografia, na Naval Postgraduate School, em Monterrey, Califórnia, EUA. Como hidrógrafo, acumulou vasta experiência a bordo de navios da Diretoria de Hidrografia e Navegação, realizando vários levantamentos no litoral brasileiro. Foi chefe do Departamento de Oceanografia no Navio Oceanográfico *Almirante Saldanha* e participou de cruzeiros em navios de outras nações. Conheceu o Ártico e integrou as tripulações do *Bransfield* e *Endurance*. Foi instrutor de Oceanografia Física e Marés do Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Oficiais e chefiou o Departamento de Geofísica da Diretoria de Hidrografia e Navegação. Publicou vários trabalhos científicos, proferiu conferências em simpósios sobre Ciências do Mar e destacou-se como representante da Marinha do Brasil em inúmeros conclaves no exterior. Faleceu em 11 de agosto de 1982, quando participava da V Assembléia Oceanográfica Conjunta e da Reunião Geral do Comitê Científico para Pesquisas Oceanográficas, em Halifax, no Canadá.