

INSTRUMENTOS DE QUEDA LIVRE PARA
MEDIÇÃO DE PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS

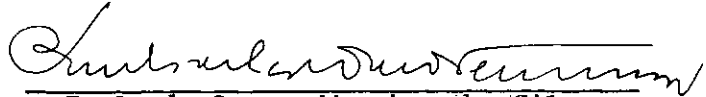
Carlos Eduardo Parente Ribeiro

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS
GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.).

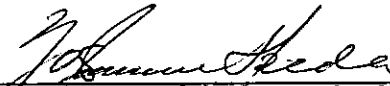
Aprovada por:



Rui Carlos Vieira da Silva
Presidente



Paulo de Castro Moreira da Silva



Yoshimine Ikeda

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Rui Carlos Vieira da Silva, pela orientação e apoio ao longo de muitos anos na COPPE/UFRJ.

Ao Alte. Paulo Moreira da Silva, responsável pela minha dedicação à instrumentação oceanográfica e por muitas idéias exploradas neste trabalho.

A Demetrio Bastos Netto, Marcos Vinicio de Oliveira e todos os colaboradores do Instituto de Pesquisa da Marinha .

A Helena Santos de Oliveira pela capacidade, dedicação e paciência com que deu forma a trabalho de um autor não muito organizado.

A todos os que me incentivaram, motivaram e inspiraram.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de instrumentos oceanográficos funcionando em princípio de queda livre. A queda livre estável e à velocidade constante é obtida pela ação de asas rotativas presas a um corpo cilíndrico que aloja os sensores e a parte eletrônica. Os sinais são trazidos para bordo por cabo elétrico onde alimentam registrador gráfico ou magnético obtendo-se assim perfis dos diversos parâmetros versus tempo, que, devido à queda à velocidade constante, representa a profundidade.

Entre as principais características dessa família de instrumentos, estão a rapidez na aquisição de dados e facilidade de manuseio, a possibilidade de utilização de pequenas e grandes embarcações, o uso de sensores individuais ou múltiplos e o baixo custo.

Apresenta-se o desenvolvimento de um corpo em queda livre e a incorporação de sensores para medição de temperatura, irradiância espectral e transmitância.

ABSTRACT

This work deals with the development of free falling oceanographic instruments. The stability and constant speed during the fall are guaranteed by the action of rotary wings attached to a cylindrical body. Signals from the sensors are brought aboard by electrical cable where they feed graphic or magnetic recorders.

One can get profiles from the different parameters versus time which represents depth due to the constant falling speed.

Among the principal characteristics of these instruments are the high rate of data acquisition, low cost, ease of handling and the possible use of single or multiple sensors.

The development of the free falling body is presented followed by the adaptation of temperature, spectral irradiance and transmittance sensors to this body.

ÍNDICE

I	- INTRODUÇÃO	1.
II	- INSTRUMENTO DE QUEDA LIVRE	4.
	2.1 - Introdução	4.
	2.2 - Revisão Sumária dos Métodos Existentes	5.
	2.3 - Fundamentos Teóricos	7.
	2.3.1 - Descrição do Modelo	7.
	2.3.2 - Modelo Matemático	8.
	2.4 - Materiais e Métodos	16.
	2.4.1 - Descrição do Protótipo Construído	16.
	2.5 - Resultados	19.
	2.5.1 - Testes Realizados em Tanque	19.
	2.5.2 - Testes no Mar	21.
	2.6 - Discussão	23.
	2.7 - Conclusões	24.
III	- MEDIÇÃO DE TEMPERATURA EM QUEDA LIVRE	27.
	3.1 - Introdução	27.
	3.2 - Revisão Sumária dos Métodos Existentes	27.
	3.3 - Fundamentos Teóricos	28.
	3.4 - Material e Métodos	30.
	3.4.1 - Termistor	30.
	3.4.2 - Linearização	31.
	3.4.3 - Calibração	32.
	3.4.4 - Constante de Tempo	32.
	3.4.5 - Protótipo	33.
	3.4.6 - Circuitos Utilizados	34.
	3.5 - Resultados	35.
	3.6 - Discussão	35.
	3-7 - Conclusões	39.

IV	- MEDIÇÃO DE FENÔMENOS ÓTICOS EM QUEDA LIVRE	40.
	4.1 - Introdução	40.
3.1	4.2 - Revisão Sumária dos Métodos Existentes	41.
	4.3 - Fundamentos Teóricos	42.
	4.3.1 - Irradiância	42.
	4.3.2 - Transmitância de Feixe (Beam Transmittance)	44.
	4.4 - Materiais e Métodos	49.
	4.4.1 - Desenvolvimento do Medidor de Irradiância Espectral	49.
	4.4.2 - Desenvolvimento do Medidor de Transmitância de Feixe	57.
	4.4.3 - Desenvolvimento do Fotômetro Duplo Modelo PLII	62.
	4.5 - Discussão e Conclusões	66.
	BIBLIOGRAFIA	68.
	APÊNDICE I	70.
	APÊNDICE II	73.

I - INTRODUÇÃO

Não foi sem dificuldade que a eletrônica conseguiu se impor na instrumentação oceanográfica moderna. A baixa confiabilidade, a limitação de vida das válvulas, o consumo excessivo de energia, o ambiente corrosivo e em muitos casos hostil à operação do instrumental mais simples, retardaram de muito essa aceitação. Já foi citado que na década de cinquenta o único instrumento que poderia ser aceito a bordo seria aquele que "possuísse menos de uma válvula".

Com o advento dos componentes de estado sólido - e a eletrônica a cada momento alcança novas conquistas - e a adequação ao ambiente e não simplesmente uma transposição do laboratório para o mar, a instrumentação eletrônica foi gradativamente substituindo aquela mais tradicional. Muito poucas medidas hoje são feitas sem a utilização de sensores e componentes eletrônicos. Isto não quer dizer que os problemas foram todos resolvidos. Arriar um instrumento no mar é sempre uma operação com algum grau de complexidade. O estado do mar, o peso do instrumento e o grau de sofisticação do seu funcionamento, o tipo de embarcação utilizada, o tipo de armazenamento e apresentação da informação são alguns dos muitos fatores responsáveis por essa complexidade.

Na linha de vanguarda da instrumentação oceanográfica estão hoje os instrumentos com sensores múltiplos (temperatura, salinidade, oxigênio, PH, pressão, direção e velocidade de corrente, luz, velocidade de propagação do som, etc.) seja do tipo "Self-Contained" (em que todas as partes incluindo o registro ou armazenamento dos dados está junto com os sensores) arriados por cabo de aço ou sintético ou do tipo telemétrico, arriado por cabo

elétrico que traz a informação para bordo. Este último parece ter as maiores preferências pela vantagem de monitoramento e registro a bordo, entre outras. Em ambos os casos trata-se de instrumental de custo elevado o que impõe a aquisição de uma grande quantidade de dados por campanha. Tal quantidade de informação deve preferencialmente ser processada em computador obrigando o seu armazenamento a ser feito de forma compatível.

No extremo oposto situam-se os instrumentos de sensores individuais que realizam medições discretas ponto a ponto em várias profundidades. Eles são mais baratos mas apresentam a desvantagem da falta de continuidade na informação obrigando a interpolações que muitas vezes não representam a verdade.

Em uma faixa intermediária estão aqueles com menor quantidade de sensores, que produzem um perfil contínuo e cujo registro gráfico é obtido diretamente a bordo. O registro de qualquer parâmetro versus profundidade obriga o uso de um registrador do tipo X-Y. No entanto, se o instrumento cair com velocidade constante a profundidade passa a ser medida pelo tempo, o que possibilita o uso de registrador convencional (Strip-Chart). A velocidade de queda podendo ser ajustada de forma a compatibilizar o tempo de resposta do sensor com a razão de variação do parâmetro a ser medido torna possível medições da microestrutura da massa d'água, importante em muitos casos. O instrumento caindo livremente não sofre as perturbações produzidas pelo navio ou plataforma.

Em linhas gerais esse é o objetivo deste trabalho: o desenvolvimento de uma família de instrumentos oceanográficos de queda livre, de custo relativamente baixo, que podem ser operados de pequenas ou grandes embarcações.

Em primeiro lugar será apresentado o desenvolvimento do corpo que cai em queda livre e velocidade constante. A esse corpo são incorporados diversos sensores cujo desenvolvimento e/ou adaptação também faz parte do presente trabalho. São sistemas para medição de:

- temperatura
- irradiância espectral (spectral irradiance)
- transmitância (Beam transmittance)

II - INSTRUMENTO DE QUEDA LIVRE

2.1 - INTRODUÇÃO

A primeira idéia de desenvolvimento de um instrumento de queda livre nasceu da necessidade de medição da penetração da luz no mar (irradiância) a partir de uma pequena embarcação de forma a se poder evitar os efeitos de sombra produzidos pela plataforma nos primeiros metros. A utilização de uma embarcação pequena impõe sempre limitações no manuseio do instrumento e na complexidade do equipamento de amplificação e registro, daí surgindo a necessidade de um instrumento de operação mais simples. Além disso, o fato do instrumento estar preso à embarcação por um cabo, o faz solidário aos movimentos dessa embarcação. Neste caso a medida não é mais feita em um ponto mas representa assim uma média em torno desse ponto, devido ao movimento da embarcação. Assim nasceu a idéia de se medir luz no mar com um instrumento de queda livre, desacoplado fisicamente dos movimentos da embarcação, podendo ser arriado em posição favorável de modo a evitar a sombra da embarcação e ainda, pelo fato de cair em velocidade constante permitir o uso de dispositivos de registro mais simples, mais baratos e de fácil operação.

Tais vantagens podem ser aproveitadas em diversos tipos de medidas razão pela qual o princípio de queda livre é explorado no presente trabalho também para medição de temperatura, e transmitância além da já mencionada medição de irradiância.

Nesta primeira parte apresenta-se o desenvolvimento do corpo que cai em queda livre ao qual podem ser anexados os sensores. Estabelece-se um modelo teórico da queda livre, depois

a descrição do protótipo, os testes de campo realizados e a análise dos resultados.

2.2 - REVISÃO SUMÁRIA DOS MÉTODOS EXISTENTES

Resultados de medições da microestrutura oceânica de temperatura e condutividade obtidos com um instrumento de queda livre estabilizado por asa rotativa foram apresentados em 1969 por Cox et al.¹¹, em 1971 por Gregg e Cox¹⁰ e a análise do comportamento dinâmico desse instrumento por Mortensen e Lange⁹, em 1976. Esse instrumento, mostrado na Figura 2.1 consta de um cilindro de alumínio de 20 cm de diâmetro e 2 metros de comprimento e é estabilizado por quatro asas de 1 metro cada uma. É do tipo "Self-Contained" descendo a velocidade da ordem de 5 a 15 cm/seg e todos os dados (temperatura, condutividade, pressão, tempo) são gravados em fita magnética. O instrumento é lançado ao mar com as asas presas caindo com velocidade elevada. A partir de uma determinada profundidade pré-programada a asa é liberada passando então a cair com velocidade baixa, iniciando a coleta de dados. Ao fim do percurso desejado um peso é libertado voltando o instrumento a superfície onde é localizado através a recepção de sinais de rádio por ele transmitidos.

Outro instrumento de queda livre amplamente utilizado é o do tipo descartável (expendable) como por exemplo o XBT (Expendable Bathythermograph), pequena "sonda" lançada dos navios por dispositivo especial e ligado a um registrador por condutores muito finos que se partem ao fim da queda. A velocidade com que o sensor penetra na água, o seu peso e o seu formato hidrodinâmico possibilitam uma queda livre em velocidade conhecida. Já há modelos mais modernos que incorporam também um sensor de salinida

de.

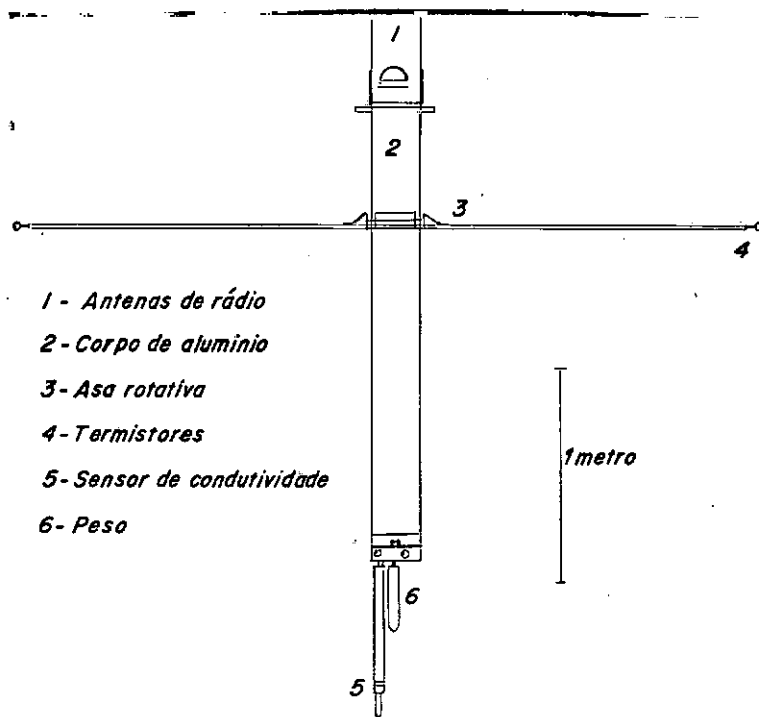


FIG. 2.1 - INSTRUMENTO DE QUEDA LIVRE DE GREGG e COX

O XBT é usado de navios de guerra e oceanográficos e o seu custo é ainda relativamente elevado (US\$ 50.00 por lançamento, mais o custo inicial do registrador e do lançador). No caso dos navios de guerra em que são computados outros custos tais como gasto de combustível adicional (no caso do uso do batitermôgrafo (BT) convencional) a sua utilização é compensadora. Mencione-se o fato de ser o XBT muito mais preciso que o BT além de poder ir a uma profundidade muito maior.

Snodgrass¹⁴ em 1968 logo após o aparecimento do XBT pleno de sucesso exalta as vantagens de obtenção de informação no mar através de instrumentos de queda livre rápida. O mesmo autor apresenta um medidor de transparência (descartável) para ser usado a noite e que consiste em um pequeno conjunto lâmpada-pilha lançado de bordo, medindo-se o tempo entre a queda n'água e o desaparecimento da luz, obtendo-se dessa forma a profundidade de extinção da luz.

Um instrumento de queda livre não descartável deixa de apresentar pois algumas vantagens inerentes ao tipo descartável sendo a principal aquela do lançamento com o navio em deslocamento.

2.3 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.3.1 - Descrição do Modelo

Todo corpo que cai sob a ação da gravidade varia a sua aceleração e velocidade até que as forças de resistência se igualem ao seu peso passando ele então a cair com velocidade constante (terminal) e aceleração praticamente nula. A Fig. 2.2 mostra o desenho do modelo básico usado no desenvolvimento teórico e uma seção da asa com os seus parâmetros característicos. Como veremos mais tarde, para cada tipo de medição poderá haver pequenas mudanças que não alteram esse desenvolvimento.

a) Partes Essenciais

1 - Peso

O centro de gravidade deve ser baixo garantindo boa estabilidade horizontal .

2 - Parte Cilindrica Oca

O centro de empuxo alto contribue também para a estabilidade

3 - Asa Rótativa

Provê sustentação e arraste necessários para a velocidade constante e de valor baixo

4 - Cabo Elétrico

Traz a informação para bordo

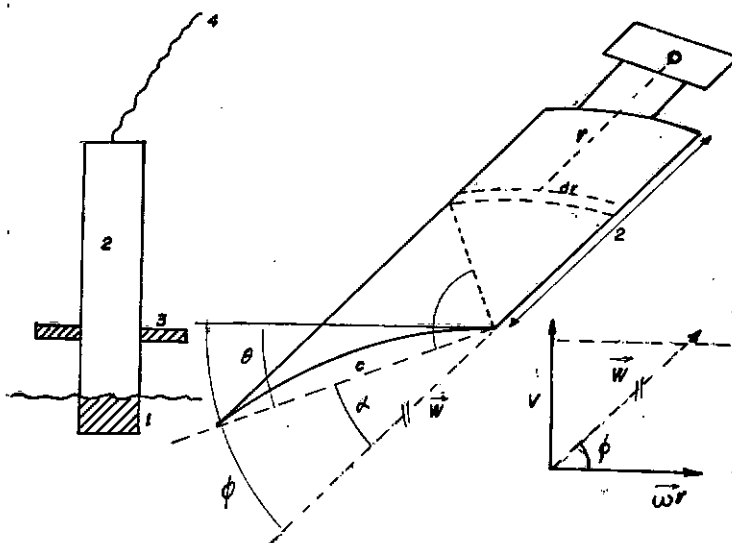


FIG.2.2 - MODELO DE QUEDA LIVRE E ASA ROTATIVA

2.3.2 - Modelo Matemático

O corpo ao entrar na água está sujeito somente a ação da gravidade e a uma pequena força de arraste correspondente a sua área frontal. Dessa forma sua aceleração inicial é grande e o aumento de velocidade é imediato. Note-se que o corpo não é jogado, é apenas largado. Quando a asa penetra na água e começa a girar produz-se um empuxo adicional - o instrumento é freiado (a aceleração passa a valores negativos) e a velocidade vai diminuir até o valor terminal. Isto acontece nos primeiros centímetros passando o corpo a cair com velocidade constante a partir deste momento.

Em primeiro lugar apresentaremos uma definição de parâmetros envolvidos no modelo. A Fig. 2.2 mostra alguns desses parâmetros referentes a asa rotativa.

m = Massa Total do Aparelho

$m' = \rho V$; [M]

V = Volume do corpo [L^3]

V = velocidade $[LT^{-1}]$

V_T = velocidade terminal $[LT^{-1}]$

A_c = seção reta do corpo cilíndrico $[L^2]$

A_a - área equivalente da asa = $\ell \times c$ $[L^2]$

ℓ = comprimento $[L]$

c = corda $[L]$

C_{D_c} = coeficiente de arraste de forma do cilindro $[A]$

C_L = coeficiente de sustentação da asa (Lift) $[A]$

C_D = coeficiente de arraste (Drag) da asa $[A]$

ω = velocidade de rotação da asa (Vel. Angular) $[T^{-1}]$

ωr = velocidade tangencial no ponto de raio r $[LT^{-1}]$

Temos ainda as seguintes relações:

peso = $P = mg$

flutuabilidade = $E = m'g$

arraste de forma do cilindro = $D_c = \frac{1}{2} C_{D_c} \rho V^2 A_c$ (para número de Reynolds da ordem de 5×10^4 , C_{D_c} é aproximadamente igual a unidade)

\vec{W} = velocidade resultante = $\vec{V} + \vec{\omega}r$ $[LT^{-1}]$

Então:

$$W^2 = V^2 + \omega^2 r^2 \quad [L^2 T^{-2}] \quad (2.1)$$

a) Empuxo Devido à Asa

Usamos como expressão para o empuxo, aquela apresentada por Glauert⁸.

$$dT = \frac{1}{2} Nc \rho W^2 (C_L \cos \phi - C_D \sin \phi) dr \quad [M LT^{-2}] \quad (2.2)$$

em que:

$$W^2 = V^2 + \omega^2 r^2 \quad [L T^{-2}] \quad (2.1)$$

$$\phi = \text{tg}^{-1} \frac{V}{\omega r} \quad [A] \quad (2.3)$$

$$N = n^\circ \text{ de asas} \quad [A] \quad (2.4)$$

$$c = \text{corda} \quad [L] \quad (2.5)$$

T. é obtido através a integração de dT ao longo da asa.

b) Expressão de C_L

A asa utilizada tem perfil de arco de círculo e neste caso a expressão teórica de C_L é (Betz⁷):

$$C_L = 2\pi \text{tg} \frac{\psi}{4} + 2\pi \text{sen} \alpha \quad [A] \quad (2.6)$$

em que:

$\psi = \hat{e}$ o ângulo central que subtende a corda

$\alpha = \phi - \theta$, θ é o passo

Vemos pois que C_L varia ao longo da asa com a variação de ϕ e conseqüentemente de α .

c) Determinação de C_D

C_D é composto de diversas parcelas, uma devido a forma, outra a viscosidade e outra a turbulência. Sua determinação deve ser experimental. Apenas como referência, a expressão para uma asa plana é

$$C_D \cong C_L \text{sen} \alpha \quad [A] \quad (2.7)$$

d) Solução das Equações

Em regime permanente (velocidade terminal) a queda do corpo é definida por:

$$\Sigma F = 0 \quad [M LT^{-2}] \quad (2.8)$$

$$(m - m') g = T + D_c \quad [M LT^{-2}] \quad (2.9)$$

Na seção 2.5 apresentamos vários testes realizados em tanque e no mar para determinação dos coeficientes, velocidade de queda e análise de performance do instrumento.

Em regime transiente temos:

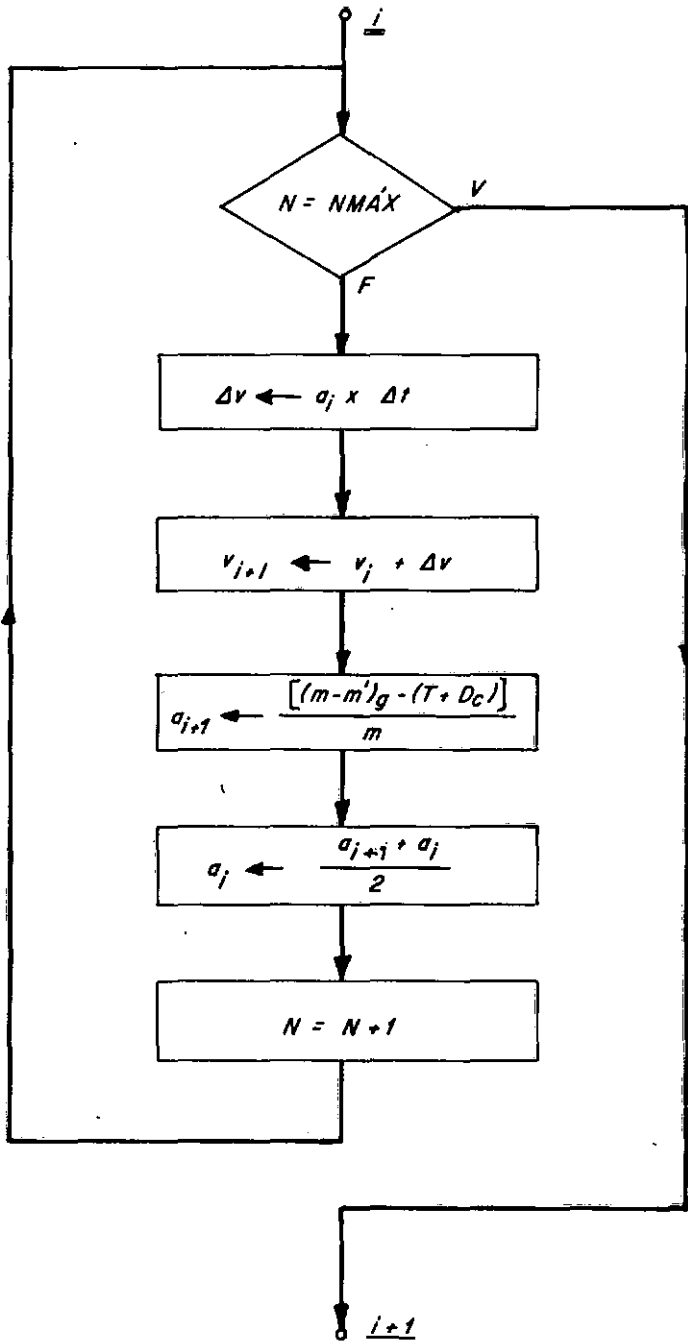
$$\Sigma F = \frac{m}{dt} \frac{dV}{dt} \quad [M LT^{-2}] \quad (2.10)$$

$$(m - m') g - (T + D_c) = \frac{m}{dt} \frac{dV}{dt} \quad [M LT^{-2}] \quad (2.11)$$

Trata-se de equação diferencial de solução analítica difícil pela dependência quadrática de T e D com a velocidade e variação dos coeficientes ao longo da asa.

Apresenta-se a seguir uma solução numérica de simulação da queda obtida em calculadora programável do tipo HP-97.

O fluxograma da Fig. 2.3; mostra a sequência de operação do algoritmo de aproximações sucessivas.



. FIG. 2.3-FLUXOGRAMA DE ITERAÇÃO

As principais características do modelo de simulação são:

- a flutuabilidade E aumenta gradativamente a medida que o corpo penetra n'água até o valor final $m'g$.
- a velocidade de queda varia de zero para $t = 0$ até V_T
- incremento: $\Delta t = 20$ ms (para valores maiores do que 60 ms a solução não converge).
- unidades do sistema CGS
- usou-se um valor de $C_D = k C_L$, uma aproximação obtida, a partir de dados levantados nos testes com $k = 0,8$ (ver seção 2.5).

Valores utilizados no modelo de simulação:

- comprimento do corpo = 134 cm
- m = 7950 g
- m' = 3650 g
- Nº de iterações em cada passo : 5
- Nº de seções da asa usado para obtenção de T : 4

O Apêndice 1 apresenta a listagem dos comandos.

O gráfico da Fig. 2.4 apresenta uma plotagem dos valores obtidos. Os valores utilizados correspondem a medições feitas em tanque. Neste caso, a velocidade terminal medida foi de 63.8 cm/seg enquanto a do modelo foi de 61.9. Nenhuma das duas corresponde a verdade, porque a medição no tanque não é feita com rigor absoluto e o modelo usa aproximações de C_L , C_D e ainda simplificações na determinação de T . Pode-se considerar que quando o instrumento fica totalmente imerso (134 cm) sua velocidade já é praticamente a terminal.

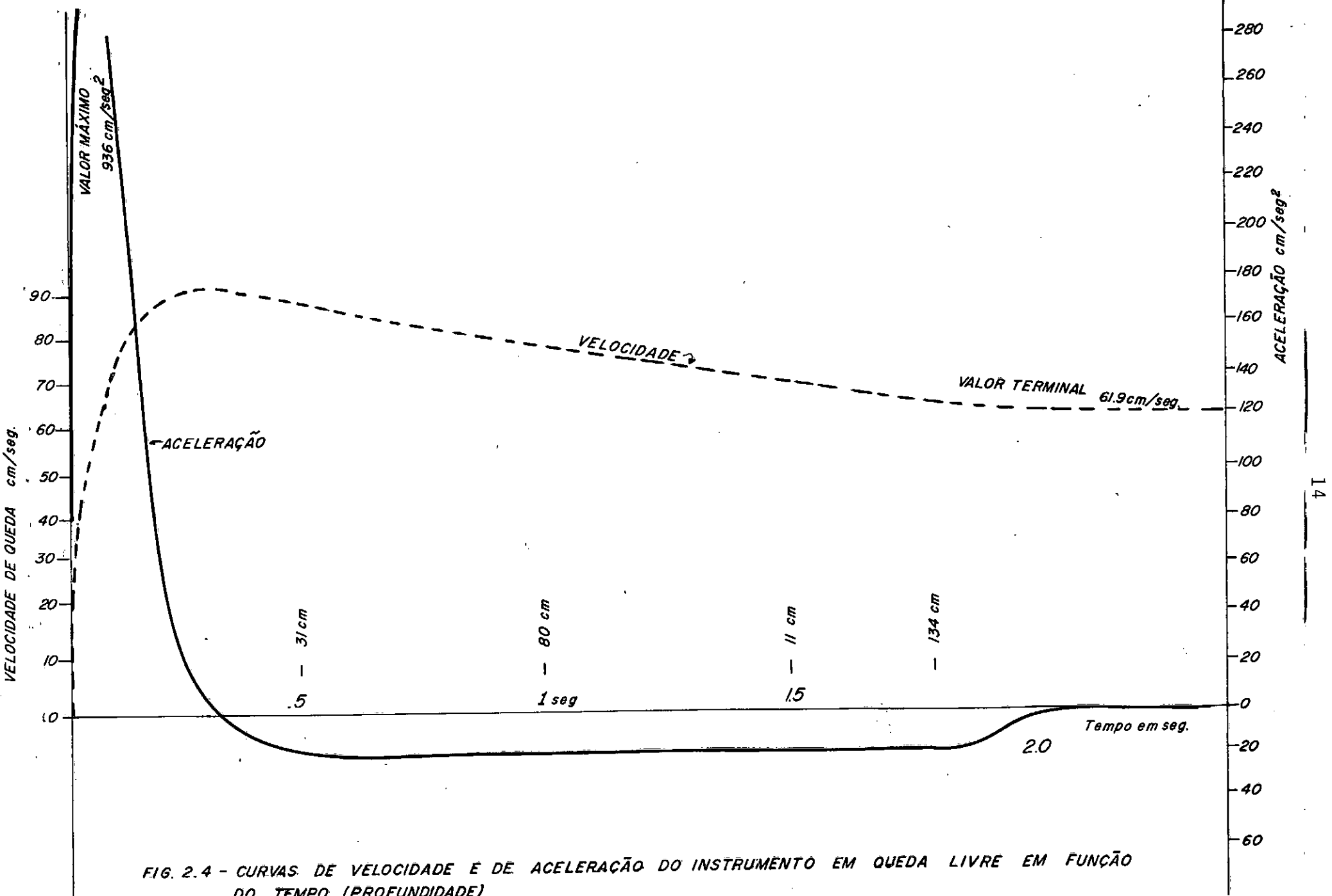


FIG. 2.4 - CURVAS DE VELOCIDADE E DE ACELERAÇÃO DO INSTRUMENTO EM QUEDA LIVRE EM FUNÇÃO DO TEMPO (PROFUNDIDADE).

Observa-se no gráfico o efeito drástico da asa. A aceleração cai bruscamente do valor máximo de 936 cm/seg^2 alcançada logo em $0,02 \text{ ms}$ para zero em menos de $0,4 \text{ seg}$. ($\approx 23 \text{ cm}$).

A velocidade atinge o valor máximo de $87,3 \text{ cm/seg}$ aos $0,3 \text{ seg}$ ($22,4 \text{ cm}$) e começa a tender ao valor terminal.

Segue-se o período em que a aceleração permanece em valores negativos pois aí a tendência a zero de aceleração é compensada pelo aumento progressivo da flutuabilidade, isto é, a diminuição de velocidade significa menos empuxo da asa compensado pela adição sucessiva de parcelas de empuxo do corpo até o momento em que ele penetra totalmente n'água (134 cm) o que se dá, no caso aos $1,8 \text{ seg}$. A partir daí, em $0,5 \text{ seg}$. a aceleração cai praticamente a zero e a velocidade atinge o valor terminal (61.9 cm/seg).

O Apêndice 2 apresenta uma listagem dos dados de saída. Para cada incremento de 20 ms temos pela ordem os valores de velocidade, em cm/seg . aceleração em cm/seg^2 , espaço percorrido em cm e tempo decorrido em seg .

2.4 - MATERIAIS E MÉTODOS

2.4.1 - Descrição do Protótipo Construído

Foi construído um protótipo cujo desenho aparece na Fig. 2.5 e a fotografia na Fig. 2.6 .

Partes componentes:

1. Cilindro de PVC de 2"
2. Peso de chumbo
3. Asa rotativa de alumínio
4. Eixo
5. Rolamento
6. Dispositivo de fixação do cabo
7. Alhetas

Esta é a configuração básica do corpo de queda livre usada, com poucas modificações em quase todas as aplicações. Suas principais características são:

a) Estabilidade em Relação ao Eixo Horizontal

O centro de massa do corpo é baixo (um peso de chumbo é colocado na parte mais inferior) e o centro de empuxo é alto (parte oca extensa). A asa rotativa deve preferencialmente ser colocada na altura do centro de gravidade evitando que qualquer esforço assimétrico na asa produza conjugado que afaste o corpo da atitude vertical.

b) Estabilidade em Relação ao Eixo Vertical

A asa rotativa produz um conjugado pequeno que tende a girar o corpo apesar dela girar sobre rolamento. Um par de alhetas reduz consideravelmente esse giro.

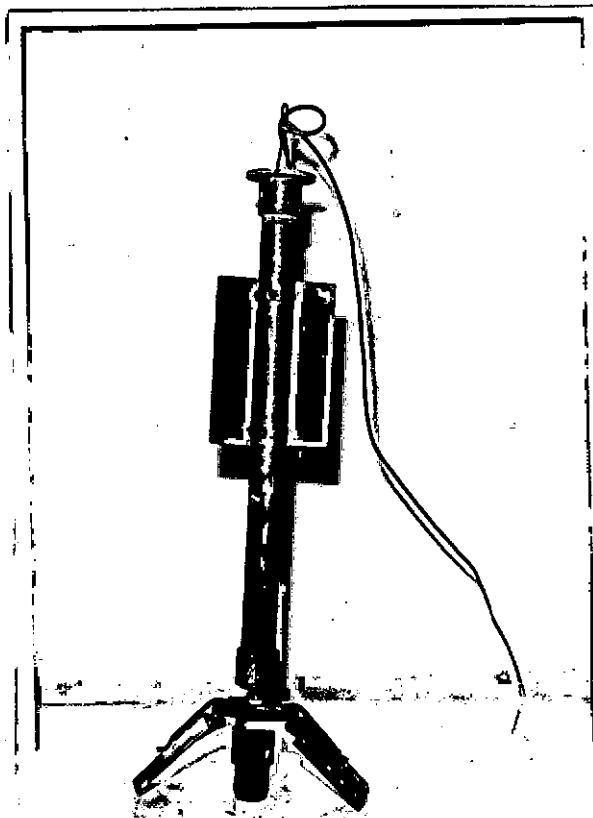
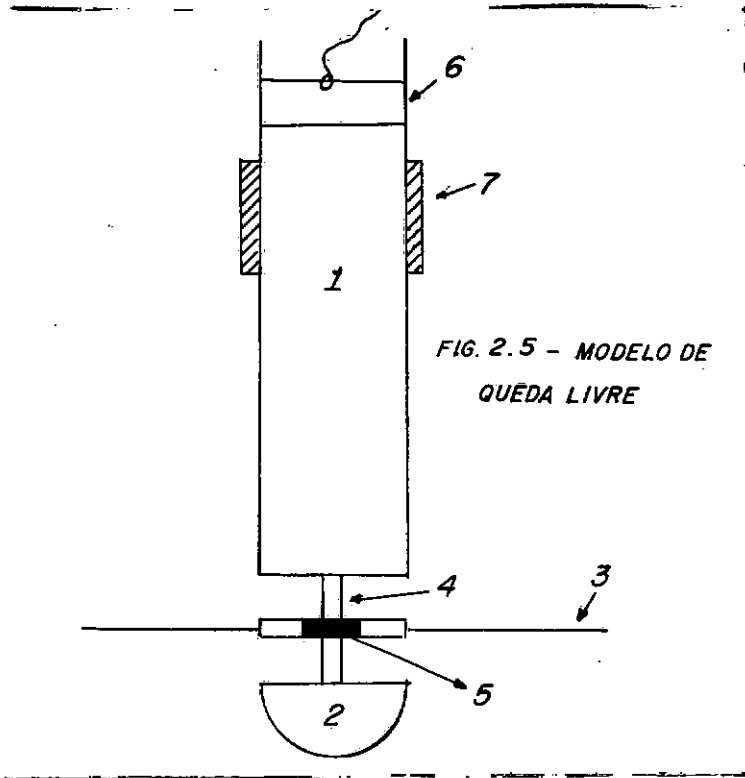


FIG. 2.6 - PROTOTIPO CONSTRUIDO

c) Velocidade de Queda

A velocidade de queda pode ser ajustada variando - se o peso, o empuxo e o comprimento da asa. Em princípio deseja-se cair na velocidade mais rápida compatível com o tempo de resposta do sensor, a razão de variação do parâmetro e o erro tolerável.

d) Influência de Correntes Horizontais

A área exposta à ação de forças de arraste laterais é bastante pequena mas ainda assim o corpo sofrerá influência de correntes horizontais que o podem afastar ligeiramente da posição em que foi lançado. Se a influência é perpendicular ao sentido da queda a velocidade não é alterada. Quanto ao afastamento em cada caso se avaliará se realmente ele chega a prejudicar a medida.

e) Asa Rotativa

Tem um perfil de arco de círculo, e é de alumínio, constituída por seções simétricas e gira sobre rolamento. A asa é posicionada de tal maneira que ela automaticamente é rebatida para baixo ao ser içado o aparelho o que diminui consideravelmente o esforço do operador.

f) Profundidade Máxima

A limitação em profundidade depende basicamente do material e espessura do corpo cilíndrico oco com reflexos no peso e no empuxo. O presente modelo é adequado a medições na plataforma até, pelo menos, 100 metros de profundidade.

2.5 - RESULTADOS

2.5.1 - Testes Realizados em Tanque

Foram realizados diversos testes em tanque de 5 metros de profundidade com o objetivo de se determinar o comportamento do corpo na queda, estabilidade, velocidade de queda, melhor posição da asa, e também a ordem de grandeza dos coeficientes de sustentação e arraste.

Decidiu-se usar a asa com comprimento em torno de 16 cm (cada uma). Variando-se o lastro consegue-se velocidades entre 30 e 70 cm/seg com pesos dentro d'água compatíveis com a operação manual de içar o instrumento (1,3 a 3,5 kg). A asa pequena facilita o manuseio do instrumento.

A velocidade angular nos testes foi medida contando-se os pulsos produzidos por um imã permanente na asa em um microrelé no corpo e a velocidade de queda medindo-se o tempo de queda.

A Fig. 2.7 mostra um gráfico comprimento da asa Vs velocidade da queda para um peso fixo.

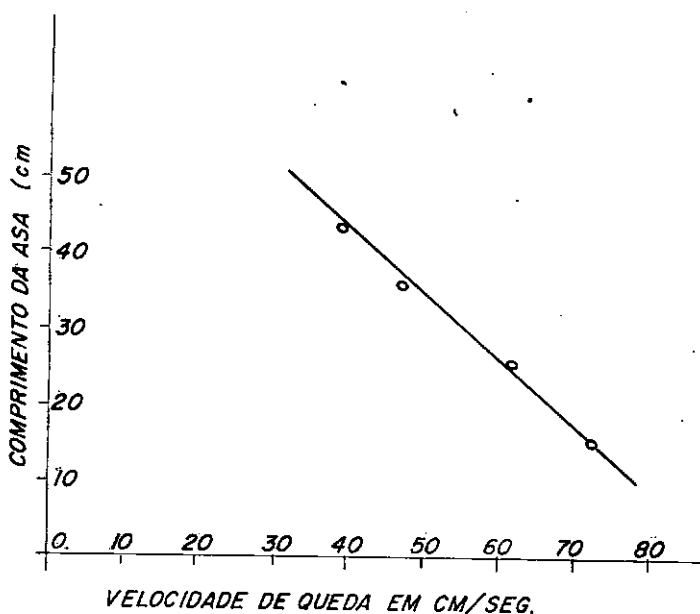


FIG. 2.7 - COMP. ASA vs VELOC. QUEDA

A Fig. 2.8 mostra um outro gráfico em que aparece velocidade de queda Vs peso para asas de 16 e 17 cm. Na Fig. 2.9 vê-se velocidade de queda Vs velocidade de rotação para asa de 16 cm.

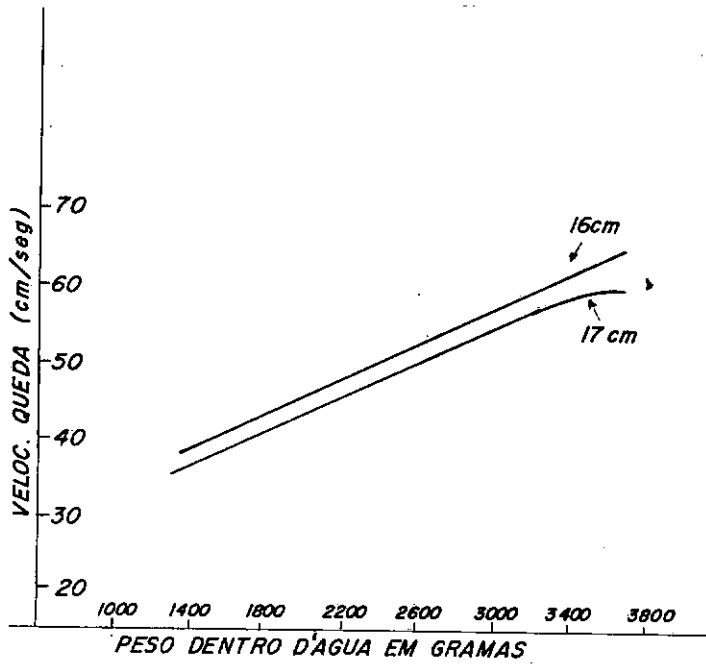


FIG. 2.8 - VELOC. QUEDA x PESO

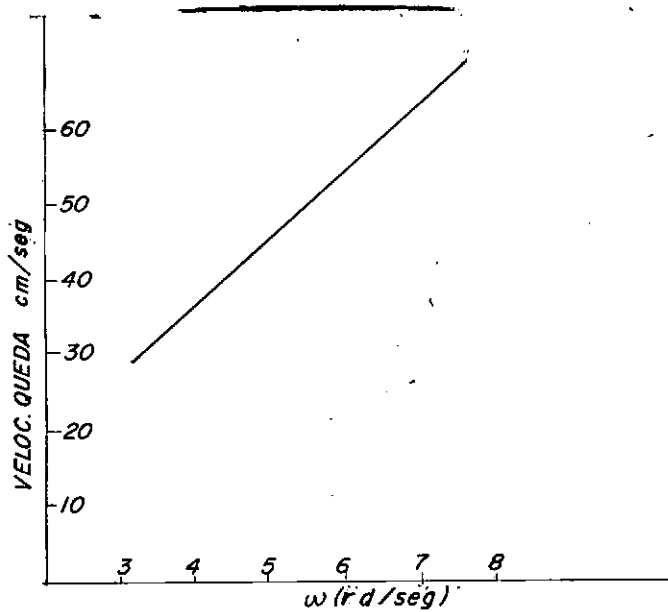


FIG. 2.9 - VELOC. QUEDA x VELOC. ROTAÇÃO ASA

2.5.2 - Testes no Mar

Foram realizados na área de Cabo Frio vários testes com o corpo de queda livre. Foi incorporado ao corpo um sensor de pressão do tipo "strain-gage" de altíssima linearidade, com compensação de temperatura e resolução infinita, com as seguintes características:

Faixa : 0,500 psi (pressão absoluta)

Sensibilidade : 0,35 mv/psi

Calibração : o sensor foi calibrado por sistema de pesos desenvolvido pelo grupo de Sonar do IPqM.

O esquema da Fig. 2.10 apresenta o instrumental utilizado no teste.

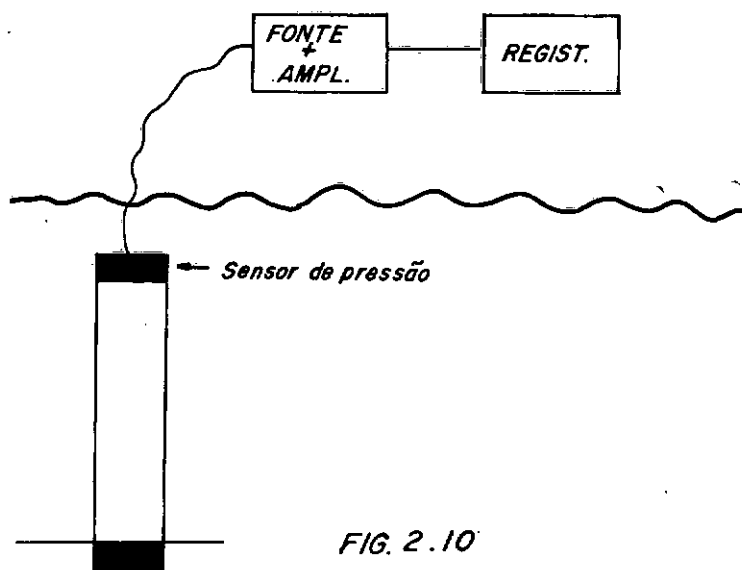
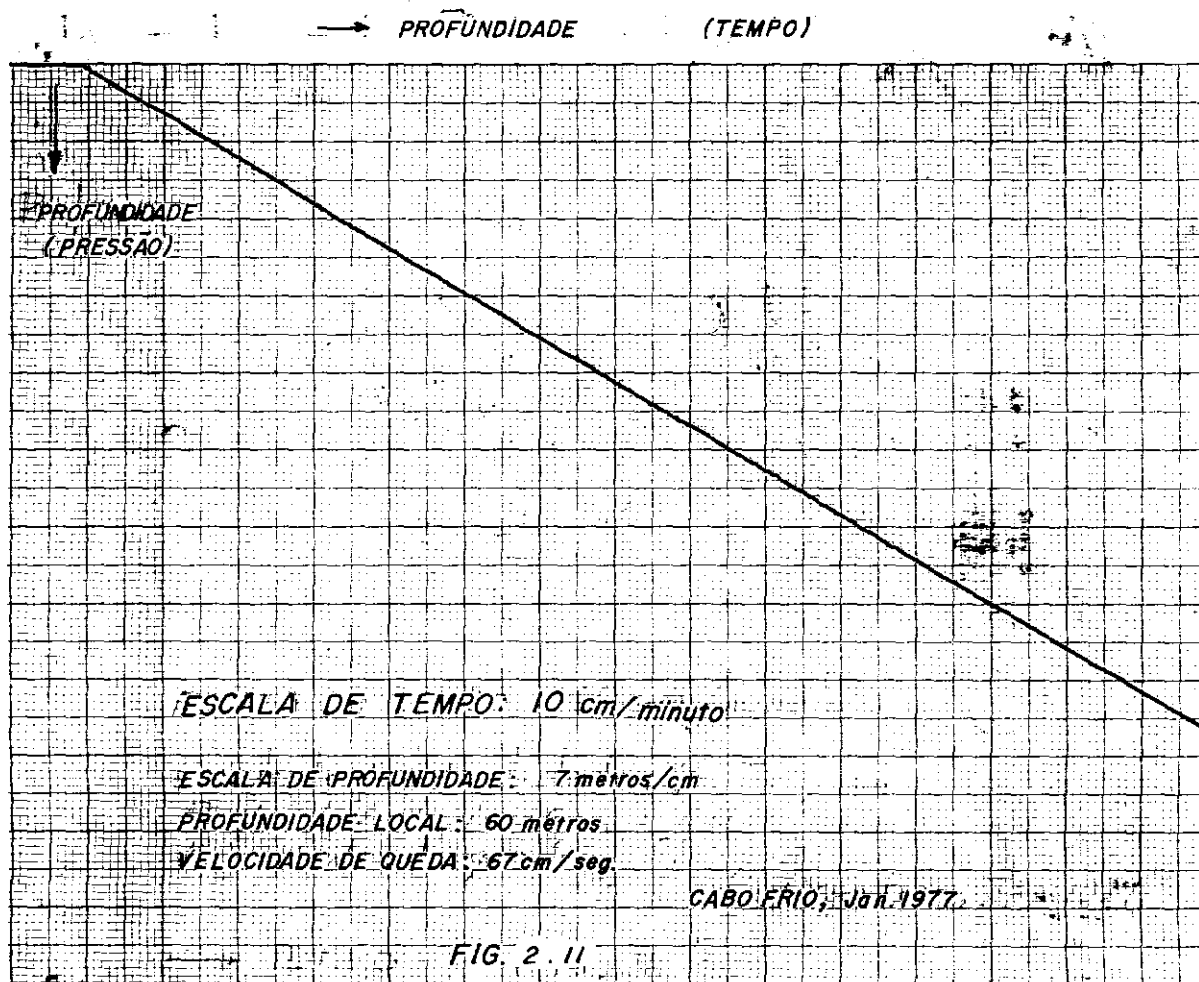


FIG. 2.10

A Fig. 2.11 mostra um dos gráficos obtidos com o sensor da pressão incorporado. Dentro da resolução permitida pela escala utilizada a linearidade é praticamente perfeita. Neste caso o instrumento é largado com todo o corpo fora d'água. Mesmo quando ele é solto já totalmente imerso, ainda assim, mal se detecta a não linearidade inicial (ver simulação da queda).



2.6 - DISCUSSÃO

Vimos que o corpo cai com velocidade constante sem sofrer, dentro dos limites práticos, influências por efeito da presença do cabo elétrico. Os cabos modernos tendem a ser mais leves com o advento de novas fibras, e mais resistentes. O cabo pode ser de apenas um par de condutores vindo a informação dos diversos sensores (se for o caso) sob forma multiplexada. Pode-se também trazer a informação em condutores múltiplos individualmente. Não houve necessidade de se reduzir o peso do cabo através de pequenos flutuadores nas proximidades do corpo. No caso do teste com o sensor de pressão usamos um cabo de 1/4" com 5 condutores.

Ao chegar ao fundo o instrumento permanece em atitude vertical o que diminui a possibilidade de qualquer acidente naquela situação.

O manuseio a bordo é bastante simples. Mesmo com sensores incorporados o instrumento pesa dentro d'água alguns quilos apenas podendo ser içado manualmente diversas vezes seguidas sem grande desgaste físico do operador. Além do mais sempre se pode compensar o peso do sensor com o aumento da parte oca.

A incorporação de um pequeno guincho é possível desde que ele seja usado apenas na fase de içamento, trabalhando o cabo em um tambor auxiliar como mostrado na Fig. 2.12.

Cada medida tem a sua peculiaridade própria que podem impor certas modificações nas características quanto a queda e manuseio; tais medidas serão discutidas no decorrer do trabalho, para cada caso.

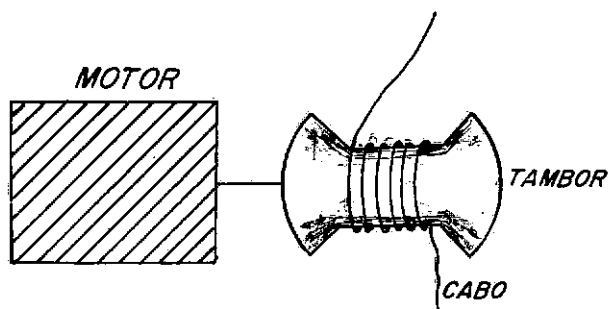


FIG. 2.12

O aparelho tem sido operado exclusivamente em região costeira em profundidades compatíveis com a sua estrutura de plástico. No entanto o seu corpo pode ser inteiramente metálico sem que necessariamente seja aumentado o seu peso dentro d'água. Para maiores profundidades seria recomendável um guincho como discutido anteriormente.

2.7 - CONCLUSÕES

Afigura-se bastante atraente a utilização de uma família de instrumentos de queda livre para medições de parâmetros oceanográficos. O peso é reduzido, o custo do corpo principal também, a velocidade pode ser ajustada as diversas situações e o manuseio a bordo relativamente simples. A queda à velocidade constante permite o uso de registradores convencionais que correm com o tempo, de um ou mais canais, ou a gravação de sinais usando-se também o tempo como medida de profundidade. O uso de gravadores mais sofisticados e de formato adequado torna viável também a ver

são "Self-Contained" em que a informação é registrada no próprio aparelho; neste caso o aparelho seria ligado a bordo por cabo de fibra sintética.

Entre as inúmeras aplicações desse princípio de queda-livre, algumas das quais já exploradas neste trabalho, podemos citar.

a) Medição de Temperatura

Com a utilização de sensores baratos e de grande sensibilidade como é o caso de termistores obtém-se rapidamente o perfil da temperatura em um ponto no mar. A utilização de velocidades de queda baixa permite o estudo da micro-estrutura térmica de uma massa d'água e em muitos casos é recomendável a incorporação de um sensor de temperatura a outros sensores de queda livre.

b) Medição de Irradiância

O estudo da penetração da luz no mar pode ser feito através um instrumento de queda livre, com boa estabilidade, posicionamento adequado das células e a velocidades grandes.

c) Medição de Transmitância

Trata-se do estudo do comportamento ótico (absorção e espalhamento) de uma massa d'água; neste caso as características mais conspícuas são o peso e a geometria.

d) Medição de Som

Com um hidrofone acoplado ao corpo de queda livre obtém-se um perfil do campo sonoro, seja do ruído ambiente no mar, de navios ou submarinos ou nos experimentos de propagação do

som no mar. Desenvolve-se no momento um sensor deste tipo.

e) Medição de Fluorescência

Um fluorímetro pode ser adaptado para medições de clorofila ou de corantes.

f) Coleta de Amostras de Água

Um instrumento está sendo projetado para coleta de amostras em várias profundidades, retornando à superfície após essa operação.

III - MEDIÇÃO DE TEMPERATURA EM QUEDA LIVRE

3.1 - INTRODUÇÃO

A incorporação de um sensor de temperatura a um corpo de queda livre para medição isolada daquele parâmetro ou associada a outras medições é tarefa que requer apenas pequenas modificações como veremos.

O objetivo desta parte do trabalho é apresentar técnicas de utilização de termistores na medição de temperatura em queda livre. Serão discutidos os problemas de constante de tempo, velocidade de queda, linearização, condicionamento do sinal, calibração e precisão, entre outros.

3.2 - REVISÃO SUMÁRIA DOS MÉTODOS EXISTENTES

O emprego de termistores para medição de temperatura no mar é bastante extensa. East² apresenta um quadro comparativo de características entre termistores e sensores de platina através do qual se pode ter uma idéia das vantagens e limitações dos termistores.

TERMISTORES:

- | | | |
|--------------|---|--|
| Vantagens | : | 1) alta sensibilidade |
| | | 2) constante de tempo pequena, em alguns casos superior à desejada |
| | | 3) custo baixo |
| Desvantagens | : | 1) estabilidade baixa a longo prazo, mesmo depois do envelhecimento |
| | | 2) características não lineares (que podem ser compensadas dentro de certos limites) |
| | | 3) passível de aquecimento próprio se não usado em níveis baixo de potência |

PLATINA

Vantagens : 1) grande repetibilidade entre sensores
 2) boa estabilidade a longo prazo
 3) características lineares
 4) constante de tempo pequena, em alguns casos superior à desejada

Desvantagens: 1) baixa sensibilidade
 2) custo elevado

Em medições costeiras quando se requer menor precisão e havendo facilidades de calibração, o baixo custo dos termistores torna recomendável o seu uso.

3.3 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Discutiremos alguns aspectos ligados a medição em queda livre com termistores:

Vamos analisar os diversos fatores envolvidos na queda de um sensor de temperatura em uma massa d'água, cuja temperatura varia com a profundidade.

- velocidade de queda - v [m/seg] [LT^{-1}]
- gradiente de temperatura - G [$^{\circ}C$ /metro] [θL^{-1}]

A variação de temperatura com o tempo, para o sensor, será $p = G v$ ($^{\circ}C$ /seg) .

Um sensor térmico submetido a uma mudança de temperatura de valor B responde da forma com mostrado na Fig. 3.1

A curva tem a expressão:

$$R_{t_1} = B(1 - e^{-t/\tau}) + R_{t_0} \quad [\Omega] \quad (3.1)$$

em que τ é a constante de tempo do sensor.

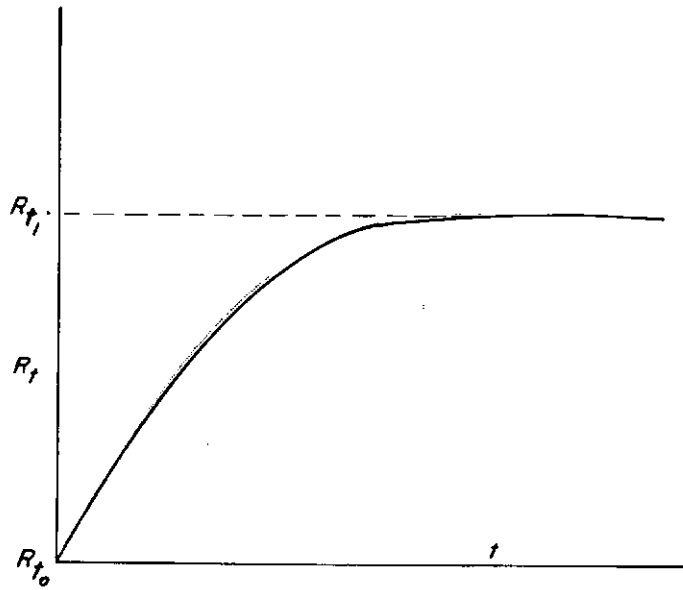


FIG. 3.1 - RESPOSTA DE SENSOR TÉRMICO

Esta expressão é semelhante a da voltagem em um capacitor de um circuito RC ($RC = \tau$) excitado com voltagem $E = B$.

De maneira análoga à análise transiente desse circuito e para uma excitação $p = G v$, obtém-se (ver Williams) para o sensor térmico:

$$v = - \frac{D}{G \tau} \quad [LT^{-1}] \quad (3.2)$$

em que D é a diferença entre o valor medido e o valor real como mostrado na Fig. 3.2 .

Vamos analisar um caso típico:

- Na área de Cabo Frio encontram-se gradientes de temperatura bastante pronunciados. Tomemos um de valor $2^{\circ}\text{C}/\text{metro}$. Para uma diferença de $.1^{\circ}\text{C}$ entre o valor real e o valor medido (erro), teríamos:

$$v = \frac{.05}{\tau} \text{ m/seg} \quad (3.3)$$

Para $\tau = .5$ seg $v = 10$ cm/seg

Para $\tau = .1$ seg $v = 50$ cm/seg

de maneira semelhante se estabeleceriam os valores de v e τ para a resolução de microvariações de temperatura na estrutura da massa d'água.

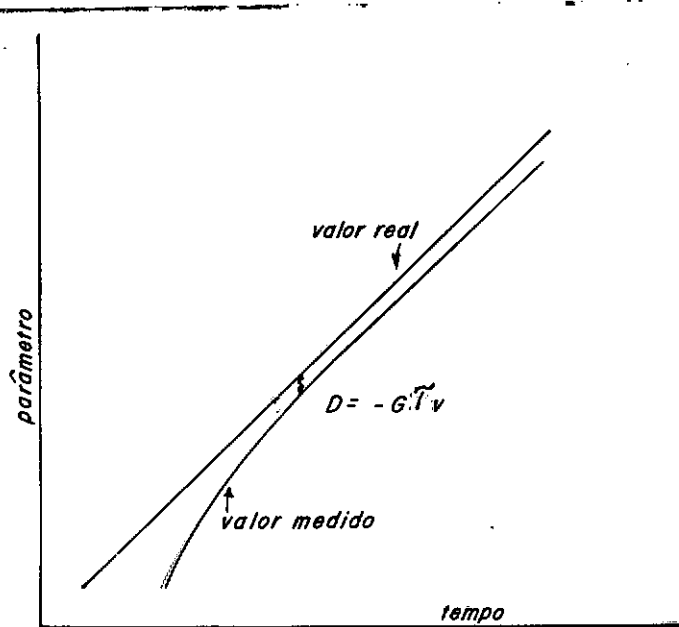


FIG. 3.2

3.4 - MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 - Termistor

Os termistores usados pelo Grupo Sónar do IPqM são do tipo Glass-Bead com resistência de $2 \text{ K}\Omega$ a 25°C . O termistor é feito de material semicondutor e tem a seguinte curva característica:

$$R_t = R_o e^{-\beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o}\right)} \quad (3.4)$$

em que:

R_t = Resistência a temperatura T

R_0 = Resistência a temperatura T_0

$T = 273 + t$ °C

$T_0 = 273 + t_0$ °C

β = constante do termistor

O valor de β não é constante ao longo de uma faixa de temperatura (0 a 30 °C por exemplo). Há necessidade de técnicas especiais de linearização e calibração como veremos a seguir.

3.4.2 - Linearização

Consideremos o seguinte circuito para medição de temperatura como mostrado na figura abaixo:

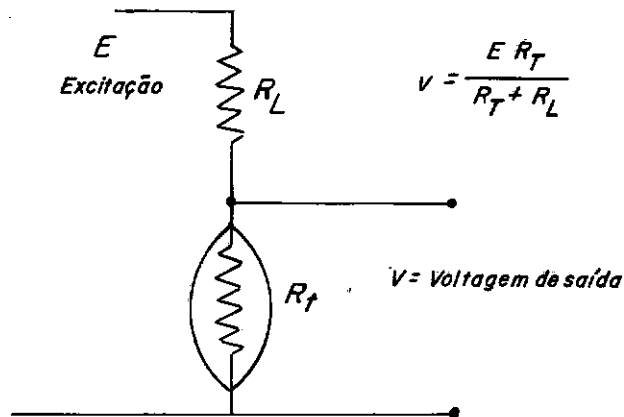


FIG. 3.3

Trata-se de um circuito de relação não linear entre v e R_t . Ora, R_t também não se relaciona linearmente com T . A combinação dessas duas não linearidades, com a escolha adequada de R_L produz uma relação linear (dentro de certa precisão) entre v e T . A Fig. 3.4 dá-nos uma idéia dessa

compensação (ver Bowman¹⁵) .

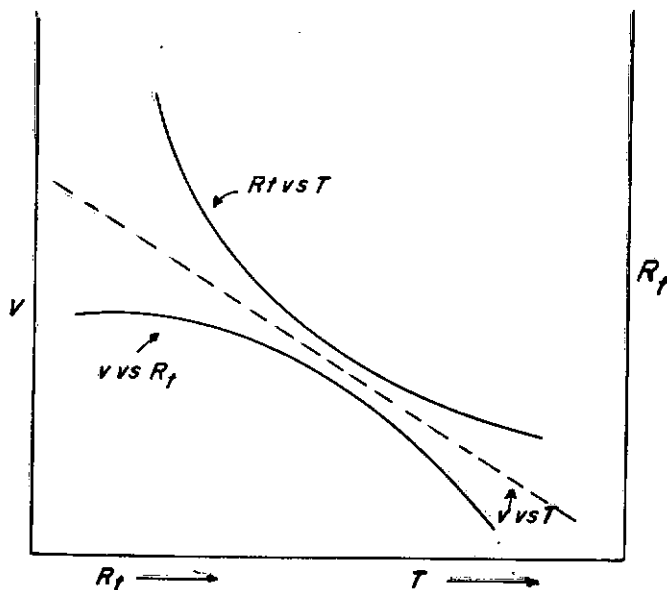


FIG. 3.4

Obtém-se com facilidade precisão de $.05$ a $.11$ $^{\circ}\text{C}$ para faixas de 20 a 30 $^{\circ}\text{C}$ de variação, precisão essa satisfatória para trabalhos costeiros.

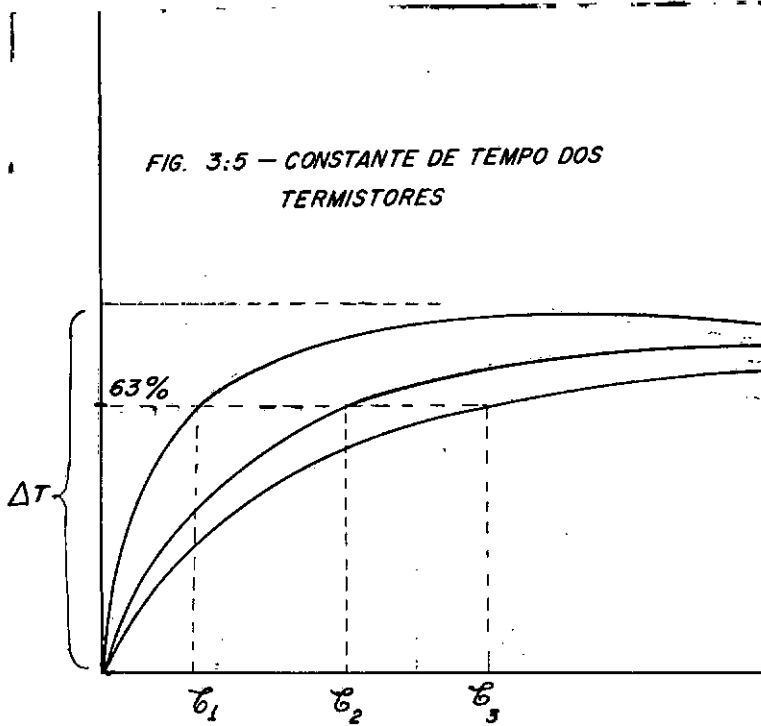
3.4.3 - Calibração

Para se obter um termistor calibrado, entre 0 e 30 $^{\circ}\text{C}$ por exemplo, basta compará-lo com um padrão de temperatura em 3 pontos da faixa e escolher a melhor resistência de linearização a partir daqueles valores de resistência do termistor. Automaticamente se obtém um erro não maior do que o citado acima

3.4.4 - Constante de Tempo

A constante de tempo dos termistores em causa é da ordem de $.5$ seg. Retirando-se parte do vidro protetor por técnicas especiais conseguem-se constantes de tempo da ordem de 0.3 seg. Essas constantes de tempo foram medidas em dispositivo especialmente construído para tal fim e que consiste em submeter o termis

tor a uma variação instantânea de temperatura produzida por um fluxo de água de velocidade próxima das velocidades de queda normalmente usadas no mar. O registro é obtido em registrador ótico de alta velocidade. A Fig. 3.5 mostra algumas curvas obtidas com esse dispositivo.



3.4.5 - Protótipo

A fotografia da Fig. 3.6 mostra o protótipo de queda livre. O termistor é posicionado de tal forma a facilitar o fluxo de água por ele. Ajustamos a velocidade de queda para 0.5 m/seg o que para uma constante de tempo de 0.3 seg e para um erro de 0.1 °C máximo nos permite a medida em gradiente de até aproximadamente 0.7 °C/m ($V = - \frac{D}{G \tau}$).

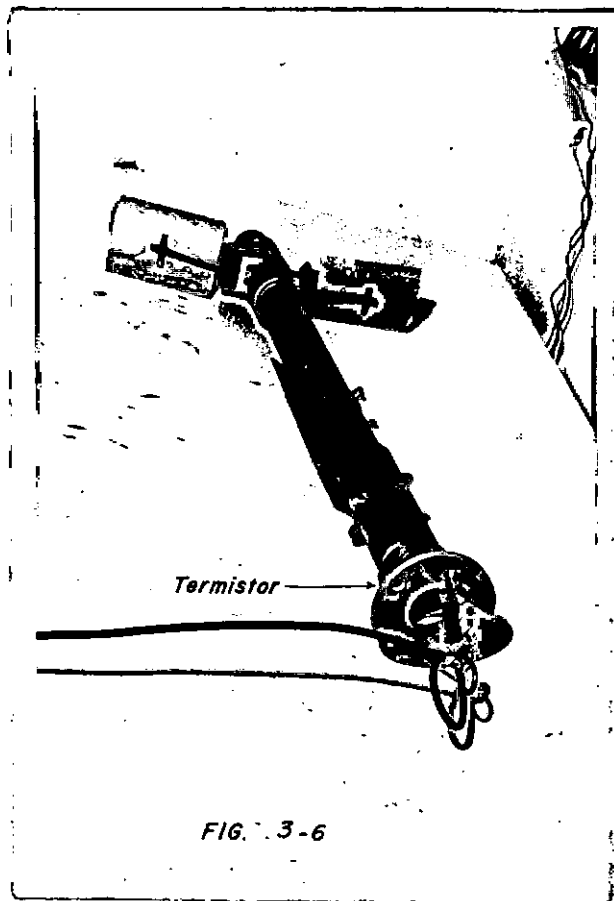


FIG. 3-6

3.4.6 - Circuitos Utilizados

Devido a elevada sensibilidade do termistor ($100 \Omega/^{\circ}\text{C}$ em 25°C , por exemplo) os circuitos eletrônicos podem ser relativamente simples. A Fig. 3.7 mostra o circuito utilizado. Procura-se trabalhar com valores baixos de corrente no termistor para se evitar o que se denomina aquecimento próprio (Self Heating) que é um ligeiro aumento da temperatura no termistor sobre a do ambiente por efeito Joule ($R_t I^2$). Com esse fenômeno também depende das trocas com o ambiente a velocidade de queda poderia influir na medida caso houvesse esse efeito.

O registro de temperatura é obtido em um registrador do tipo "Strip-Chart" (Fig. 3.8) ou gravado em "cassette" se o sinal é adequadamente condicionado.

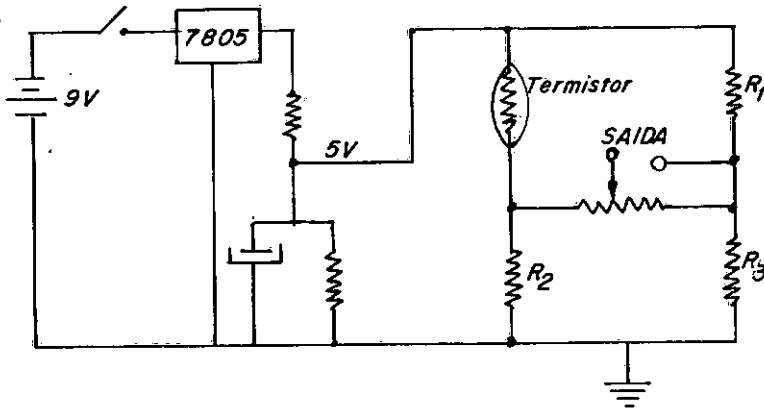


FIG. 3:7 - CIRCUITO DE TEMPERATURA

3.5 - RESULTADOS

Os testes foram realizados em Cabo Frio região propícia pelos elevados gradientes aí encontrados. As Figs. 3.9 e 3.10 apresentam dois gráficos: temperatura x profundidade, podendo-se observar a grande resolução obtida, chegando-se a detectar pequenas inversões térmicas ao longo do perfil.

3.6 - DISCUSSÃO

Discutiremos a performance desse instrumento à luz dos seguintes fatores:

Acurácia, precisão, operacionalidade, custo, manutenção

a) Acurácia

Depende da calibração do sensor, da compatibilidade entre a constante de tempo e a velocidade de queda e da linearidade da resposta resistência vs temperatura. Os dois últimos, como já vimos anteriormente, limitam a acurácia a

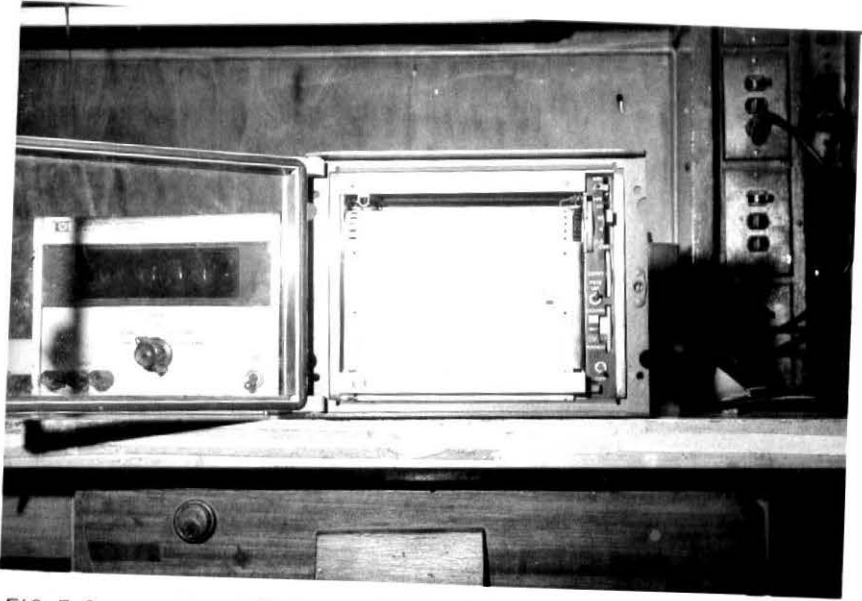


FIG. 3.8

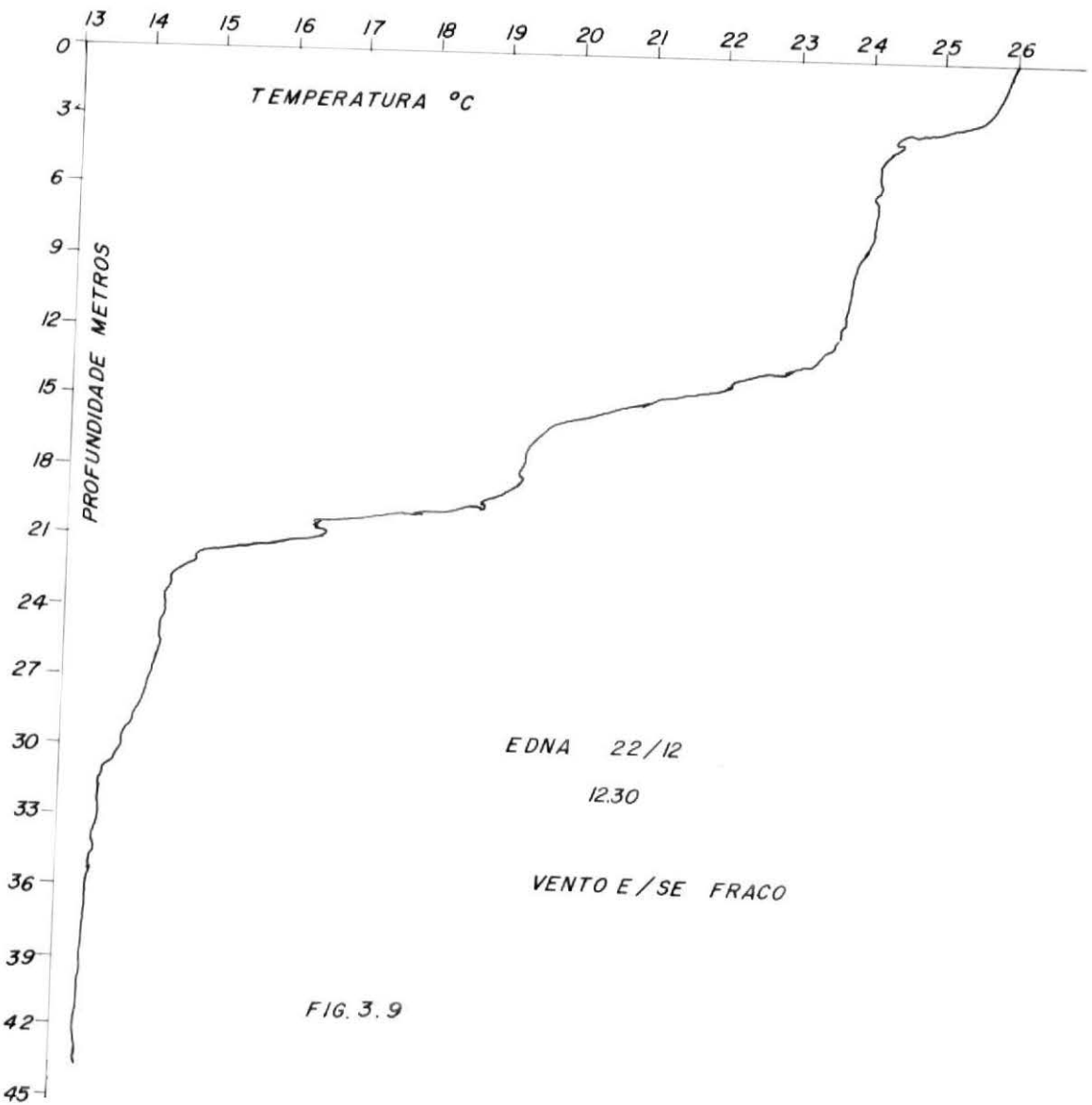
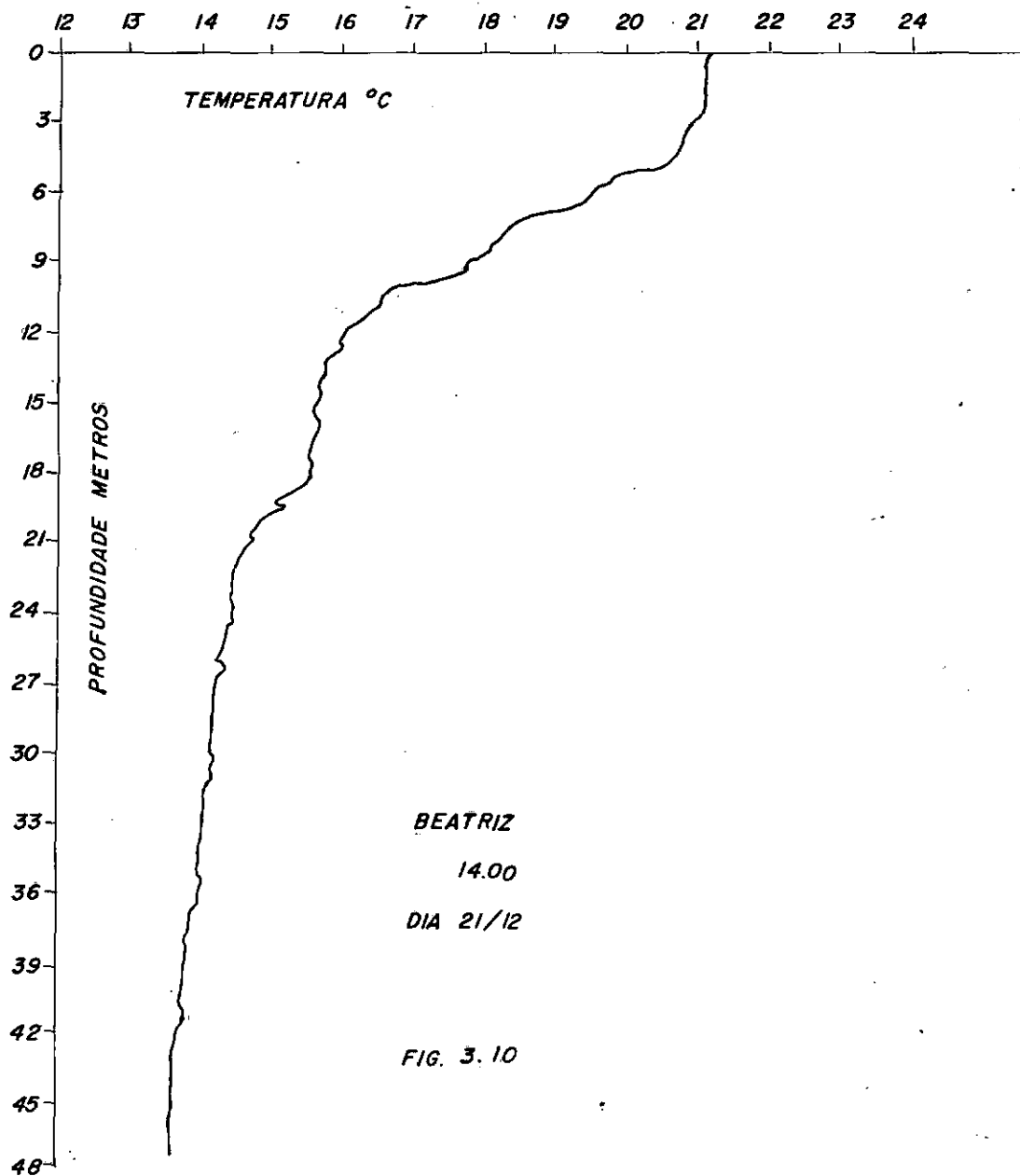


FIG. 3.9



.1 °C para uma faixa de 5 °C a 30 °C . Quanto a estabilidade do termistor a longo prazo, a experiência tem mostrado que em um ano sua alteração é inferior a .05 °C .

b) Precisão

Os termistores são bastantes repetitivos. A sua posição no corpo do instrumento e o regime de funcionamento com baixos valores de potência garantem a independência da medida das variações nas condições de troca de calor com o ambiente .

c) Operacionalidade

O instrumento é de operação bastante simples, valendo os comentários já feitos na análise anterior do instrumento de queda livre. Pode ser operado por apenas uma pessoa pois é leve e basta somente acionar o registrador, o que pode ser feito antes da queda. É de fácil transporte podendo ser operado de pequenas e grandes embarcações.

d) Custo

O custo deste instrumento depende apenas de registro uma vez que o sensor de temperatura custa menos de Cr\$ 150,00 e o corpo sendo de PVC também onera pouco o custo . A opção com registrador do tipo "cassete" fica mais barata do que com registrador de papel.

e) Manutenção

A parte mais vulnerável é o termistor que pode ser facilmente substituído por outro com curva característica igual.

3.7 - CONCLUSÕES

Este instrumento representa uma solução intermediária para medições costeiras entre o batitermógrafo, instrumento de baixa precisão, pouca resolução e também constante de tempo relativamente elevada e os outros tipos como o XBT, descartável, e aquele com sensor de pressão.

Devido a sua portabilidade e fácil manuseio pode ser utilizado para medições quaseisínóticas em pequenas áreas com embarcações de alta velocidade.

Em campanhas oceanográficas costeiras pode substituir em muitos casos o XBT, principalmente na plataforma continental. Pode ser produzido pela indústria nacional pois é possível a confecção e aquisição no país de todos os seus componentes inclusive registradores gráficos, magnéticos e os termistores.

IV - MEDIÇÃO DE FENÔMENOS ÓTICOS EM QUEDA LIVRE

4.1 - INTRODUÇÃO

O estudo dos fenômenos óticos ligados à propagação da luz no mar é de considerável importância para a biologia marinha, a oceanografia física, a meteorologia e para a própria exploração dos recursos do mar. A luz é a fonte primária de energia para a fotossíntese e está relacionada com o comportamento biológico de diversas espécies. As características óticas de uma massa d'água podem servir à sua identificação e a visão do homem no mar, seja natural ou através a fotografia e a televisão, depende diretamente das condições de iluminação, naturais ou artificiais, e de propagação.

Os processos envolvidos na atenuação da energia, como a absorção e espalhamento pela molécula d'água e por partículas e organismos em suspensão apresentam características seletivas em maior ou menor grau daí a necessidade de medições em faixas estreitas de comprimento de onda (medições espectrais).

Os instrumentos para a medição de fenômenos óticos no mar são de sofisticação bastante grande, por imposição da própria natureza da medida, de peso considerável, de custo elevado, e as medições são feitas quase sempre ponto a ponto tornando lentamente trabalhosa a aquisição de dados.

A necessidade de uma medição mais rápida, livre das interferências da embarcação está na origem do desenvolvimento de uma família de instrumentos de queda livre, como já se comentou antes.

Esta parte do trabalho apresenta o desenvolvimento de sistemas para medição de irradiância espectral e transmitância

de feixe (beam transmittance) em queda livre.

O instrumento de transmitância também foi adaptado para medições em laboratório onde se revelou potencialmente útil na parte de controle de cultura de algas. Devido ao tamanho das algas o processo de atenuação do feixe é preponderantemente o de espalhamento. Na tentativa de se investigar também mais sobre a parte de absorção nas experiências de crescimento de algas, desenvolveu-se um pequeno fotômetro duplo (medições em dois comprimentos de onda) que é também apresentado.

4.2 - REVISÃO SUMÁRIA DOS MÉTODOS EXISTENTES

Entre as características principais que determinam a qualidade e preço dos instrumentos óticos estão as seguintes:

- tipo e resolução do sistema de obtenção de luz monocromática.
- sistema de detecção - sensibilidade, linearidade, faixa dinâmica.
- processo de seleção do comprimento de onda - telecomando, varredura programada, processo manual.
- calibração do instrumento. Absoluta ou relativa - correção de efeitos de imersão, determinação de nível de luz parasita, comparação com padrões primários, etc.

A combinação dessas características permite a existência de uma extensa família de instrumentos para medições de fenômenos óticos no mar.

Entre os mais sofisticados podemos citar o spectroradiometer de Tyler e Smith² de grande resolução espectral e calibração absoluta, cobrindo toda a faixa do visível. A luz é filtrada por um monocrômador duplo do tipo Ebert com redes de difra-

ção utilizando como detetor uma cêcula fotomultiplicadora. Em uma categoria abaixo o portable spectroradiometer de Burr e Duncan⁵. Este usa filtros de interferência e como detetor um fotodiodo PIN de Silicon. Ambos são arriados para medição ponto a ponto no mar sendo a mudança do comprimento de onda ou filtro telecomandada da superfície. Há instrumentos para medição de energia total ou quanta, na faixa do visível (Kahn et al¹⁶).

Entre os de transmitância também conhecidos como turbidímetros e "α meters" destacamos os modelos comerciais da Bendix e Kahl Scientific Instruments, ambos usando lâmpadas de filamento como fonte luminosa. Um instrumento mais recente, o de Basano et al⁴ usa um led (light Emitting Diode) como fonte e fotodiodo PIN na deteção.

Não temos conhecimento de instrumento para medição de fenômenos óticos funcionando em queda livre.

4.3 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS

4.3.1 - Irradiância

Define-se (Jerlov⁶) irradiância em um ponto de uma superfície como o fluxo luminoso incidente em um elemento da superfície contendo o ponto considerado, dividido pela área desse elemento.

$$E = \frac{dF}{dA} \text{ em } \frac{\text{watt}}{\text{m}^2} \quad (4.1)$$

Se o fluxo não é vertical pode-se redefinir irradiância em uma área como o somatório das contribuições de fluxos de diversas direções (Williams¹).

$$E = \frac{\sum F_i \cos \theta_i}{A} \quad (4.2)$$

Na medida de irradiância portanto, a resposta do sistema de detecção deve ser do tipo cosenoidal. Na prática utiliza-se um plástico translúcido atuando como difusor cuja função de transferência aproxima-se bastante do tipo cosenoidal desejado.

No mar pode-se medir irradiância descendente e ascendente dependendo da posição do detetor se voltado para cima ou para baixo.

Considerando-se uma coluna d'água hipotética como mostrado na Figura 4.1 (Williams ¹) na qual se propaga a luz, dois processos de atenuação da luz ocorrem: absorção e espalhamento.

A absorção traduz-se numa perda efetiva de energia para a molécula d'água ou para partículas e organismos em suspensão. O espalhamento, por uma reorientação da energia, por difração, refração e reflexão, também pelos mesmos agentes.

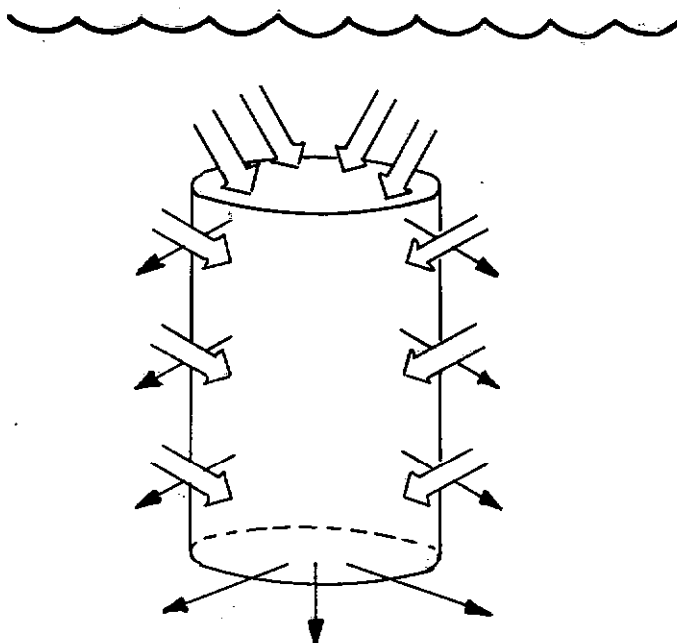


FIG. 4.1 - UMA COLUNA D'ÁGUA HIPOTÉTICA

Pode-se considerar que a energia perdida por espalhamento, em uma coluna, é compensada pela recebida, também por espalhamento, da coluna adjacente. Assim a medição de irradiância no mar indica basicamente a absorção de energia por essa coluna e chama-se de extinção da luz a esse processo. Dessa forma pode-se definir um coeficiente de extinção (k) comparando-se a irradiância medida em dois pontos ao longo de um percurso vertical.

$$I_1 = I_0 e^{-k\ell} \quad (4.3)$$

Note-se que esse coeficiente é diferente daquele de absorção definido por

$$I = I_0 e^{-a\ell} \quad (4.4)$$

na medida em que no primeiro estão incluídos os percursos adicionais do fluxo espalhado.

A medida de irradiância revela pois a quantidade de energia e iluminação disponíveis em um certo ponto no mar. A medida da irradiância ascendente nas proximidades da superfície é uma indicação de energia que está sendo espalhada para fora da superfície, um dos fatores determinantes da cor do mar.

4.3.2 - Transmitância de Feixe (Beam Transmittance)

Consideremos um feixe de luz monocromática atravessando uma extensão $\Delta\ell$ do mar, como na Fig. 4.2. (Ver Williams¹).

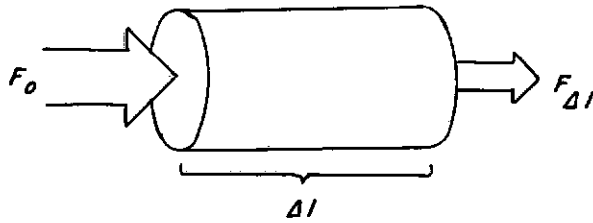


FIG. 4.2 - TRANSMITÂNCIA DE FLUXO RADIANTE

Define-se transmitância como a razão entre o fluxo transmitido por essa porção do meio e o fluxo incidente:

$$T = \frac{F_{\Delta L}}{F_0} \quad (4.5)$$

O coeficiente de atenuação (c) pode ser definido como:

$$c = - \frac{\frac{F - F_{\Delta L}}{F_0}}{\Delta L} \quad (4.6)$$

atenuação por unidade de comprimento.

Desta expressão obtemos:

$$- c \Delta L = \frac{\Delta F}{F_0} \quad (4.7)$$

colocando em forma diferencial e integrando temos para um meio ho

homogêneo (c constante):

$$-c\ell = \ln F_{\ell} - \ln F_0 = \ln \left| \frac{F_{\ell}}{F_0} \right| = \ln T \quad (4.8)$$

Temos então o coeficiente de atenuação relacionado com a transmitância.

$$T = e^{-c\ell} \quad (4.9)$$

O coeficiente de atenuação pode ser representado pela soma dos coeficientes de absorção e espalhamento

$$c = a + b \quad (4.10)$$

Vimos que a definição de transmitância de feixe assume que toda a energia espalhada é absorvida e efetivamente perdida pelo feixe.

O coeficiente de espalhamento b é definido por:

$$b = \int_{4\pi} \beta(\theta) d\omega = 2\pi \int_0^{\pi} \beta(\theta) \sin \theta d\theta \quad (4.11)$$

$$\beta(\theta) = \frac{d I(\theta)}{E dV} \quad (4.12)$$

onde $d I(\theta)$ é a intensidade de luz espalhada na direção θ pelo volume dV inadiado pela irradiância E .

$\beta(\theta)$ é a função de espalhamento de volume que define o espalhamento para cada direção e é medido por instrumentos especiais (Scatterance meters). A Figura 4.3 mostra uma curva típica de $\beta(\theta)$ para

uma amostra oceânica (Bauer e Morel³ - Mediterrâneo, 1967).

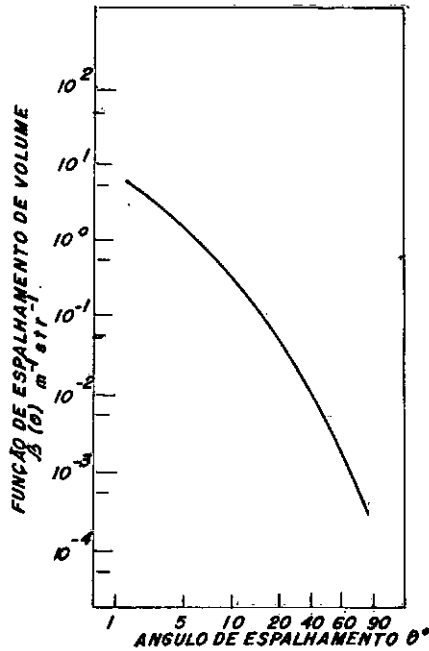


FIG. 4.3 - VALORES DE $\beta(\theta)$ OBTIDO POR BAUER E MOREL, MEDITERRANEO, 1967

Observa-se o elevado valor de $\beta(\theta)$ para pequenos valores de ângulo de espalhamento a partir da direção 0° que é a direção de propagação. De 50 a 60% do espalhamento ocorre entre 0 e 5° de ângulo. Como veremos a seguir, isto não só torna difícil a medida de atenuação, isto é, evitar que essa energia desviada de ângulos tão pequenos chegue ao detetor como faz a própria medida depender dos parâmetros desse detetor.

Consideremos a seguinte geometria ótica para a medição (Fig. 4.4) .

O feixe de luz produzido pela fonte A é colimado pela lente B, absorvido e espalhado pelo meio e suas partículas, focalizado pela lente C, limitado pela abertura D e recebido pelo detetor E. É desejável que esse ângulo seja o menor possível pelas razões expostas anteriormente.

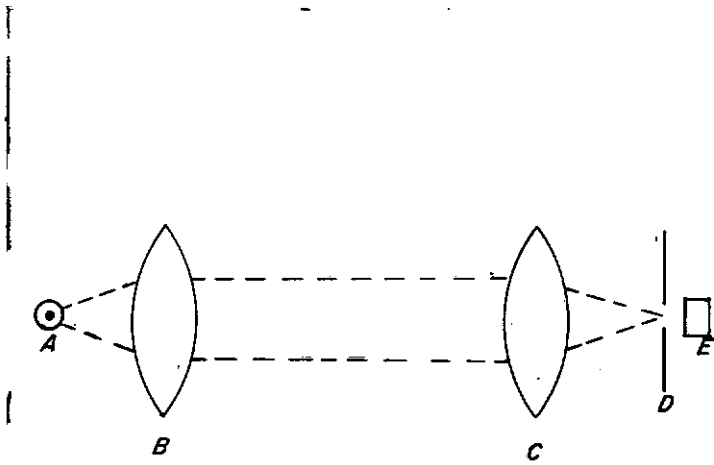


FIG. 4.4 - GEOMETRIA ÓTICA DA MEDIDA DE TRANSMITÂNCIA

A Figura 4.5 mostra a geometria da recepção.

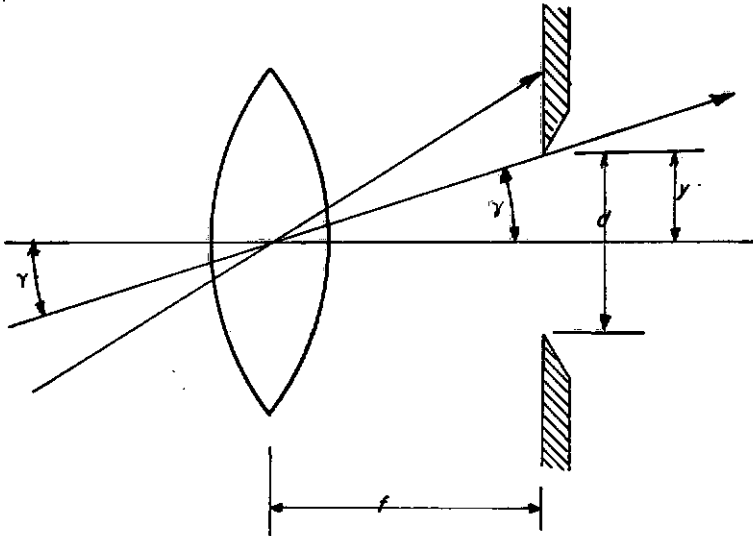


FIG. 4.5-GEOMETRIA ÓTICA DA RECEPÇÃO

O ângulo de aceitação é dado por: (Williams¹)

$$\gamma = \text{arc tg } \frac{Y}{f} \quad (4.13)$$

para pequenos ângulos temos, em radianos $\gamma = \frac{d}{f}$ em que f é a distância focal da lente.

Williams¹, apresenta um estudo bastante detalhado da parte ótica de um medidor de transmitância, para diferentes geometrias óticas mostrando que a medida depende de diversos parâmetros do instrumento.

4.4 - MATERIAIS E MÉTODOS

4.4.1 - Desenvolvimento do Medidor de Irradiância Espectral

A - Partes Componentes

O sistema consta das seguintes partes como mostrado no diagrama em bloco da Fig. 4.6 .

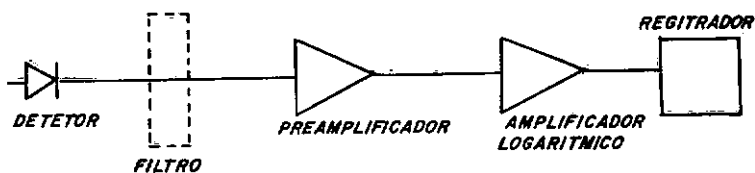


FIG. 4.6 - DIAGRAMA EM BLOCO DO MEDIDOR DE IRRADIÂNCIA

a) Detetor

Fotodiodo PIN 5DP fabricado pela United Detector Inc. cuja característica de resposta VS comprimento de onda é mostrado na Fig. 4.7. A Fig. 4.8 mostra a curva de resposta para energia incidente podendo-se observar a altíssima linearidade em faixa de 10^7 décadas. A resposta típica é de $.3 \mu\text{a}/\mu\text{W}$ (em 800 nm).

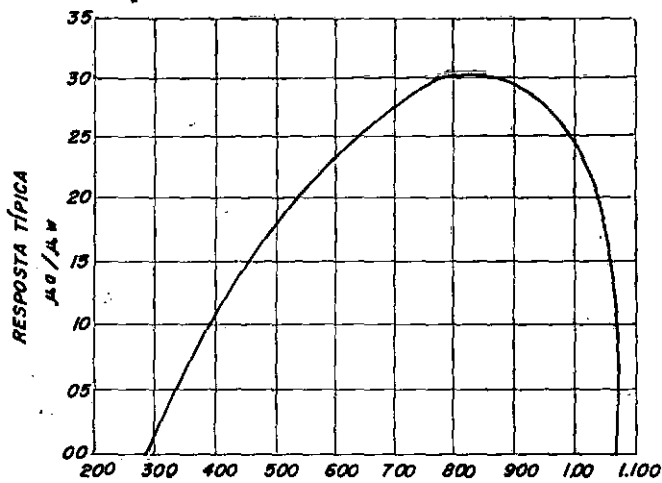


FIG. 4.7. - RESPOSTA ESPECTRAL (nm).

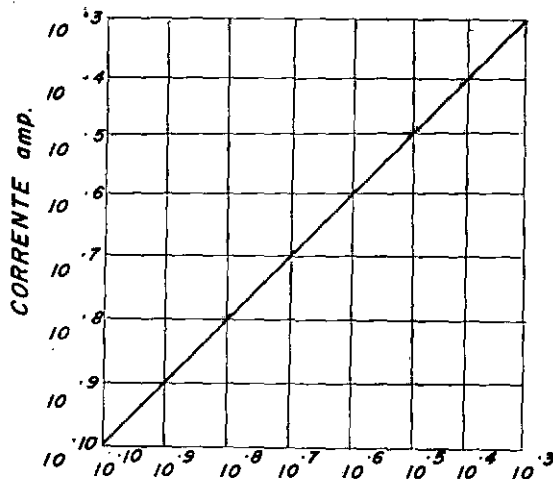


FIG. 4.8 - ENERGIA INCIDENTE watts /
LINEARIDADE 3.3

b) Filtro

São utilizados filtros de interferência de 2,5 cm de diâmetro por 0.8 cm de altura fabricados pela Oriel Optics Inc. A faixa de passagem é de 8 nm (nanômetros) e cobrem toda a faixa do visível (400 a 700 nm) de 20 em 20 nm. A Fig. 4.9 mostra a curva de resposta típica de um dos filtros.

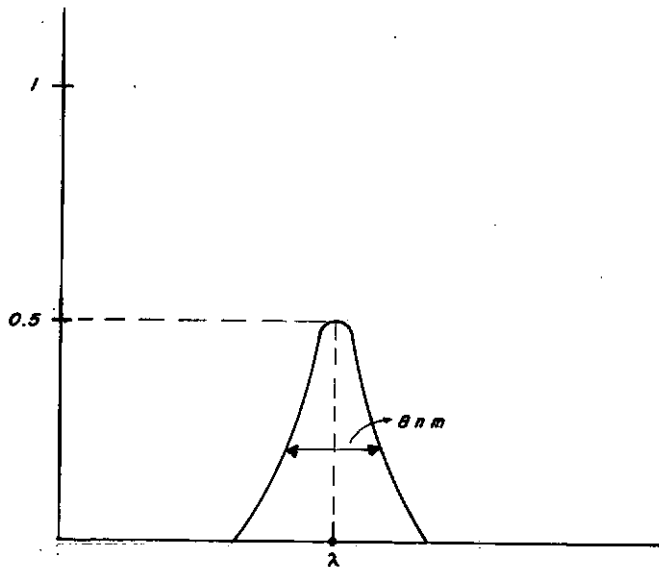


FIG. 4.9 - CURVA DE RESPOSTA TÍPICA DO FILTRO DE INTERFERÊNCIA

c) Pré-Amplificador

Trata-se de amplificador de baixo nível de ruído com entrada a FET com ganho de corrente de $10^5 \times 10^7$. Em uma das versões do instrumento, o pré-amplificador fica a bordo e em outra, que é mais recomendável por problemas de ruído, ele fica na unidade sensora.

d) Amplificador Logarítmico

A fim de comportar a extensa faixa dinâmica nas medições de irradiação é utilizado um amplificador logarítmico cujo esquema é apresentado na Fig. 4.10. Cobre uma faixa de 50 db. Uma nova versão com faixa superior a 60 db, suficiente, na maioria

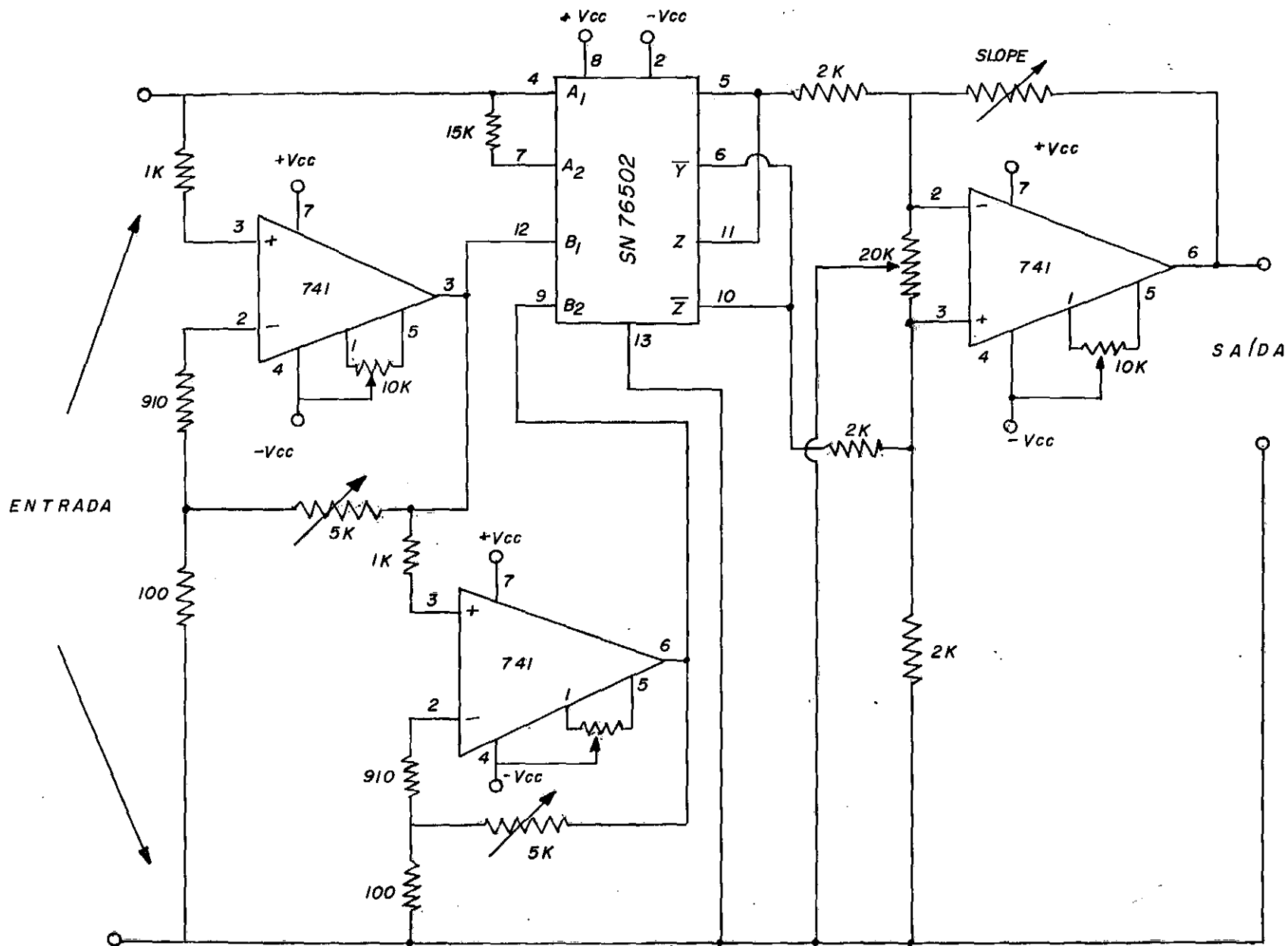


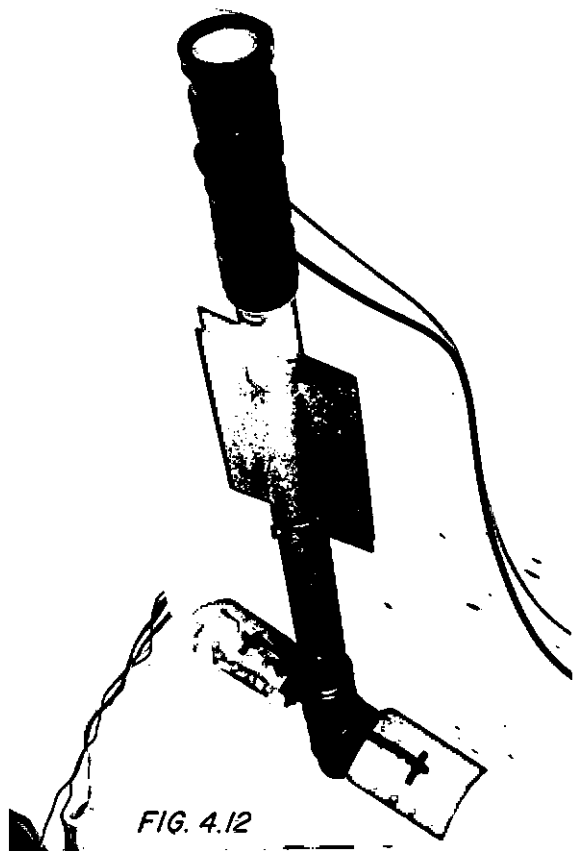
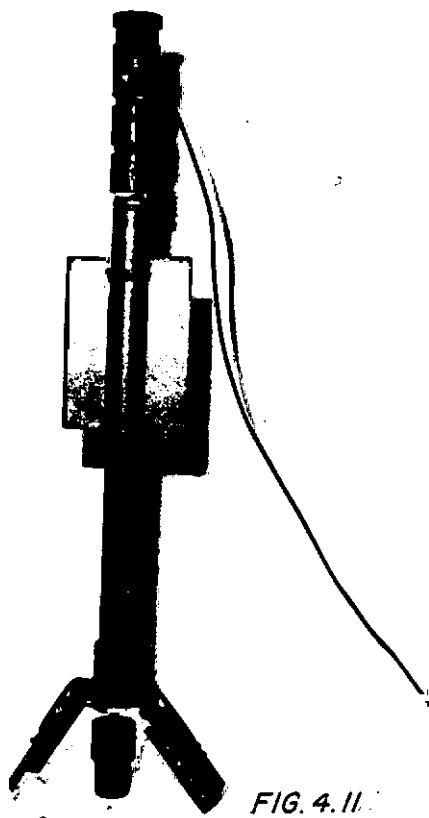
FIG. 4.10- AMPLIFICADOR LOGARÍTMICO

dos casos, para trabalhos costeiros, está sendo preparada.

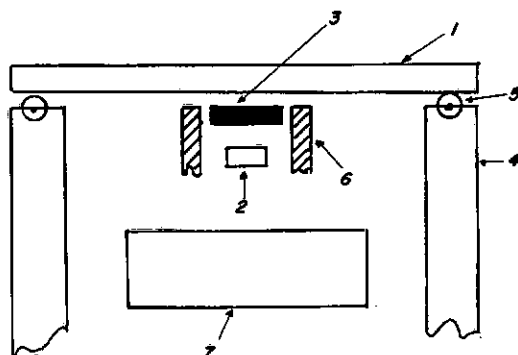
e) Registrador

Foi utilizado um registrador HP680 M do tipo "Strip-chart" . Alguns registros foram obtidos também em registrador logarítmico BK 2607 . (Bruel & Kjaer).

As Figuras 4.11 e 4.12 mostram fotografias da unidade sensora incorporada ao corpo de queda livre.



A geometria ótica da unidade sensora é mostrada na Fig. 4.13.



- 1 - COLETOR COSENOIDAL
- 2 - DETETOR
- 3 - FILTRO
- 4 - CORPO DE POLIETILENO
- 5 - "O" RING
- 6 - ALOJAMENTO DO FILTRO
- 7 - ELETRÔNICA

FIG. 4.13 - ESQUEMA DA GEOMETRIA DA UNIDADE SENSORA

Usamos como coletor cosenoidal um plástico translúcido que apresenta classicamente esse tipo de resposta.

O corpo da unidade é de polietileno para que ela seja leve e não contribua para a elevação demasiada do centro de gravidade do corpo de queda livre.

O alojamento do filtro é projetado de sorte a se evitar ao máximo o efeito de luz parasita.

B - Considerações Sobre o Protótipo

Dispõe-se de pouquíssimos recursos no país que possibilitem uma calibração absoluta de um instrumento dessa natureza. Não temos notícia, por exemplo da existência de lâmpadas padrões. Uma lâmpada de Xenon está sendo montada no Instituto de Pesquisas da Marinha. Suas características de radiação serão determinadas por uma célula padrão já disponível e só então se pode

rã realizar medidas para determinação da performance do instrumento em termos de sensibilidade, luz parasita, efeito de imersão, etc. No momento o instrumento tem sido utilizado para medições relativas e, com reservas, em medições absolutas, neste caso calibrado por um fotodiodo de curva de resposta conhecida.

O instrumento desde a sua primeira versão, construída em 1975 tem sido testado constantemente no mar. Dessa forma chegou-se à versão atual após várias alterações na sua configuração ligado a problemas de estabilidade, peso, operacionalidade, tipo de cabo, posição dos conectores, geometria ótica, posição do sensor no corpo de queda livre, etc.

Optou-se pela versão detetor único com filtro individual por ser a mais barata. Dessa forma pode-se realizar medidas em diversos comprimentos de onda, trocando-se o filtro a cada vez. Cada medida leva em média de 2 a 3 minutos computando-se o tempo de descida, subida e troca de filtros. Uma versão de 3 canais já foi testada com sucesso. Neste caso impõe-se, para uma medida simultânea, o registro magnético ou gráfico em 3 canais onerando o custo do instrumento. Essa idéia ainda será explorada em Cabo Frio com o objetivo de se tentar identificar fenômenos óticos relacionados com a absorção de energia por organismos, através a obtenção de perfis irradiância em 3 comprimentos de onda, criteriosamente escolhidos.

C - Resultados

A Figura 4.14 mostra dois exemplos de medições realizadas em Cabo Frio, em fevereiro de 1977 em céu limpo e próximo ao meio dia. No primeiro caso comparam-se medições em 460, 540 e 620 nm. Observa-se que a menos de um desvio inicial (provavelmente devido ao efeito de imersão) os gradientes são uni

formas para cada comprimento de onda. Esse tipo de registro permite a obtenção imediata de níveis espectrais de energia quando a calibração é absoluta e a comparação relativa de coeficiente de extinção. No segundo caso temos uma amostra de uma investigação possível na faixa do vermelho através a medição em 3 comprimentos próximos (660, 680 e 700 nm). A utilização de um filtro da constante de tempo compatível com a velocidade de queda atenua as oscilações da medida no início da queda provocadas pelo efeito da superfície irregular do mar.

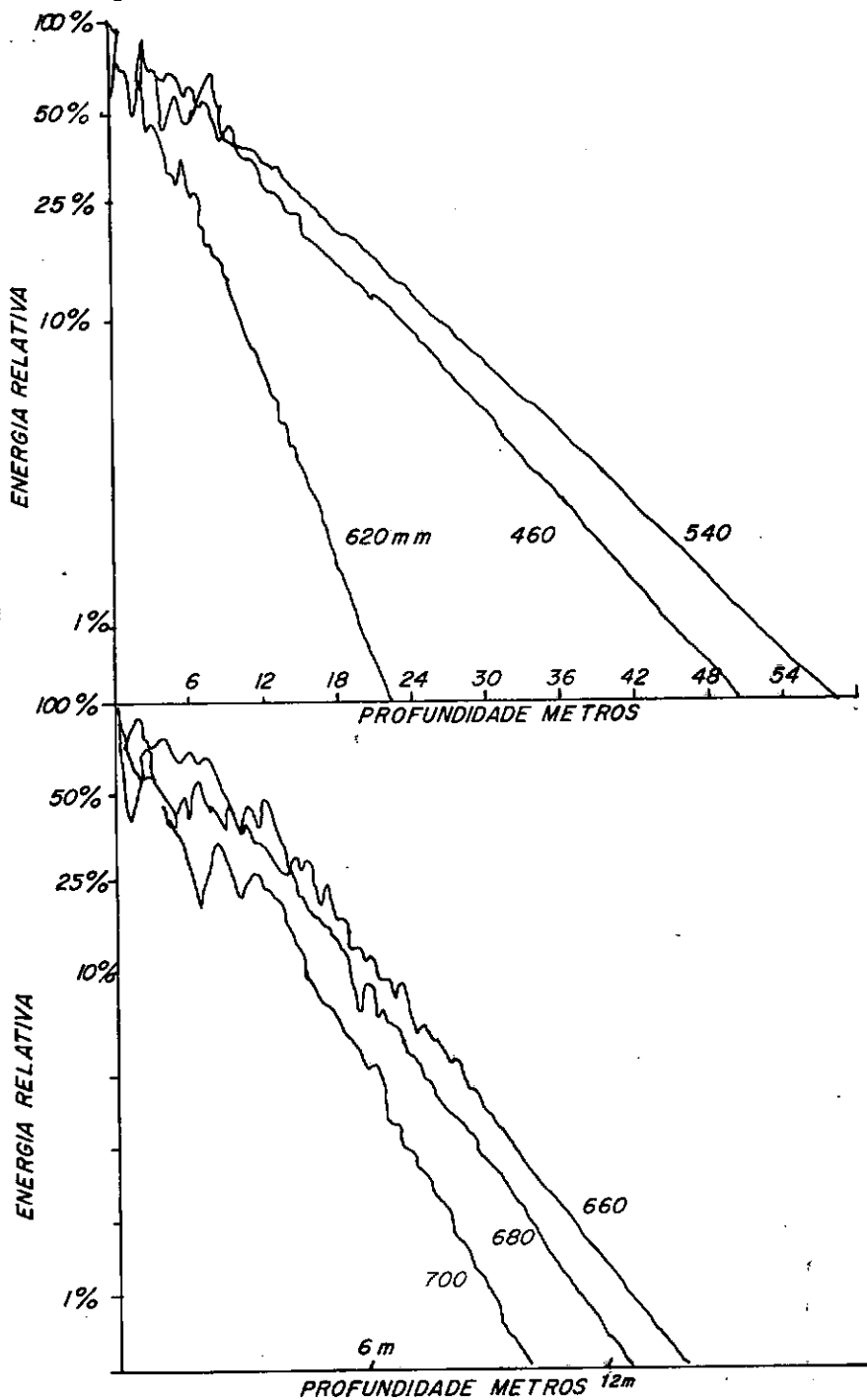
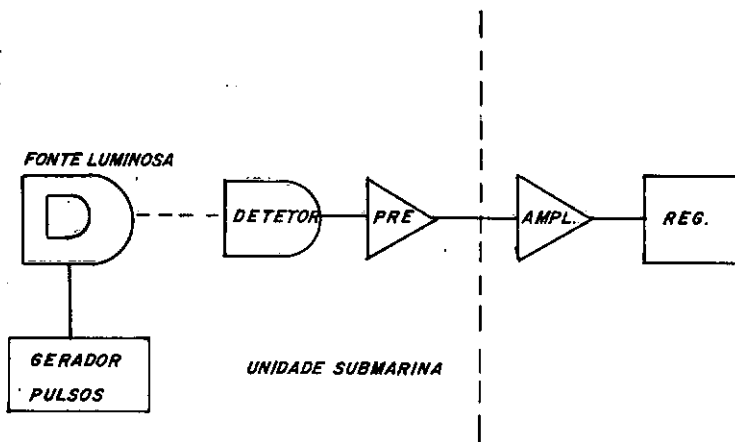


FIG. 4.14 - MEDIÇÕES DE IRRADIÂNCIA EM CABO FRIO

4.4.2 - Desenvolvimento do Medidor de Transmitância de Feixe

A - Partes Componentes

Duas versões foram desenvolvidas. A primeira cujo diagrama em bloco é apresentado na Fig. 4.15, denominada modelo I, consta das seguintes partes:



**FIG. 4.15 - DIAGRAMA EM BLOCO DO MEDIDOR DE TRANSMITÂNCIA
MODELO I**

a) Unidade Sensora

A fotografia aparece na Fig. 4.16. Ela é incorporada ao corpo da queda livre. Possui como fonte luminosa um LED (Light Emitting Diode) excitado por pulsos, um detetor (PIN 5DP) e pré amplificador de alto ganho.

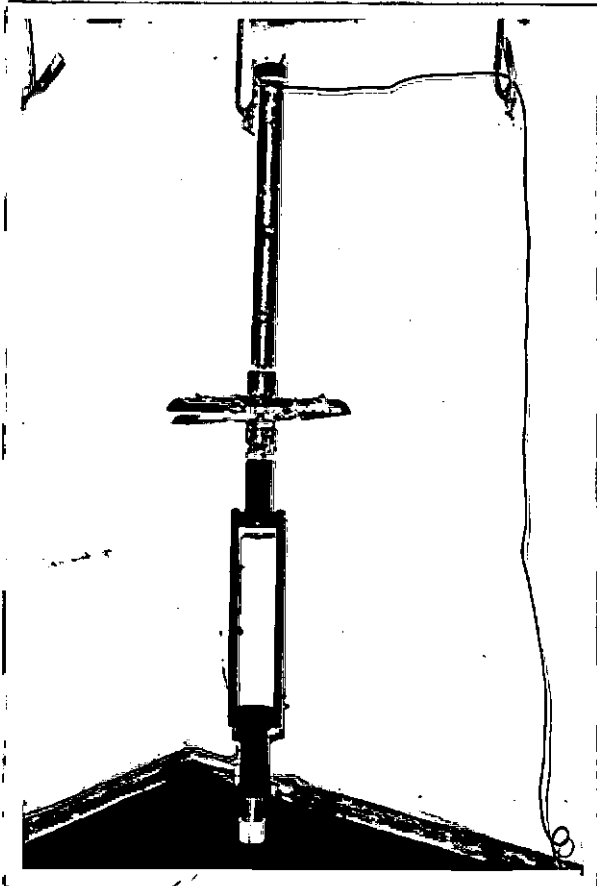
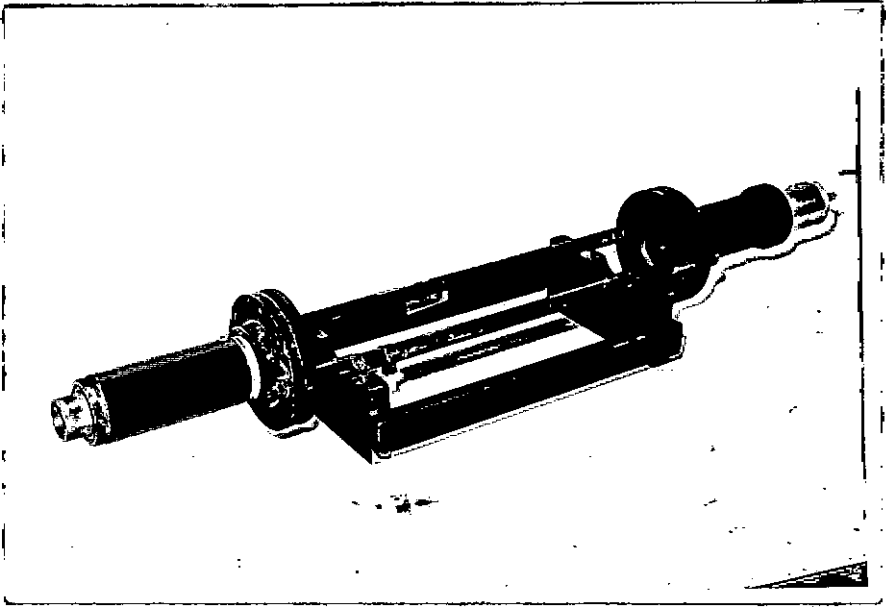


FIG. 4.16

b) Fonte de Alimentação e Registrador

A segunda versão, modelo II, inclui uma detecção síncrona semelhante à de Basano et al⁴. O diagrama em bloco é mostrado na Fig. 4.17 consta das seguintes partes:

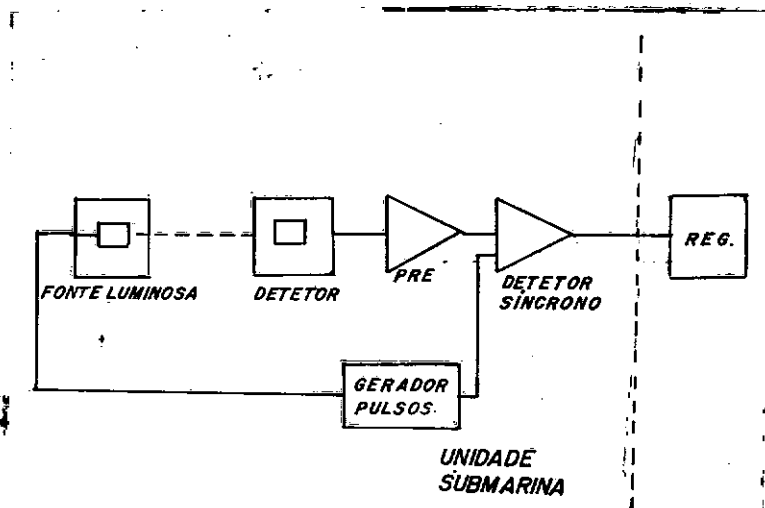


FIG. 4.17- DIAGRAMA EM BLOCO DO MEDIDOR DE TRANSMITÂNCIA MOD. II

a) Unidade Sensora

Um desenho de unidade sensora que está sendo construída, aparece na Fig. 4.18. Possui também como fonte luminosa um LED excitado por pulsos, em pré amplificador de alto ganho e um detetor síncrono. O esquema é mostrado na Fig. 4.19. Como detetor usa-se um circuito do tipo "sample and hold" sincronizado pelos pulsos que alimentam a fonte luminosa. Com isto a medida é feita apenas no momento em que efetivamente o percurso ótico é iluminado, melhorando-se dessa forma a relação sinal/ruído. A fonte de alimentação também fica na unidade sensora.

b) Registrador

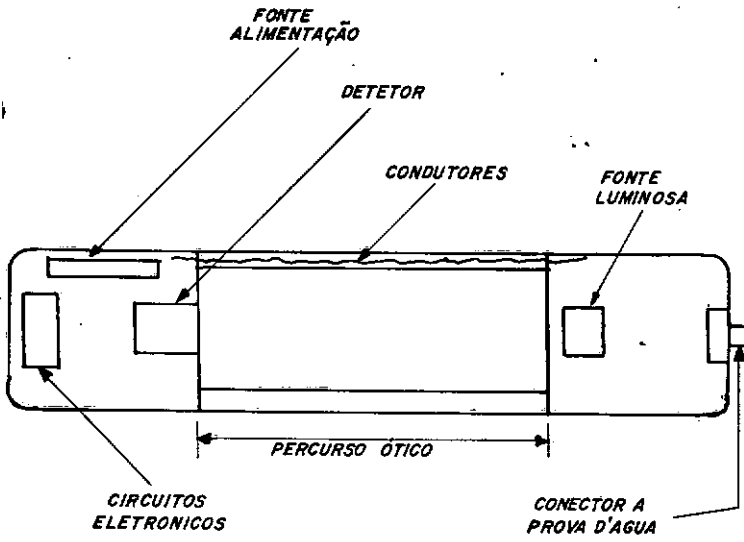


FIG. 4.18 - UNIDADE SENSORA

MODELO II

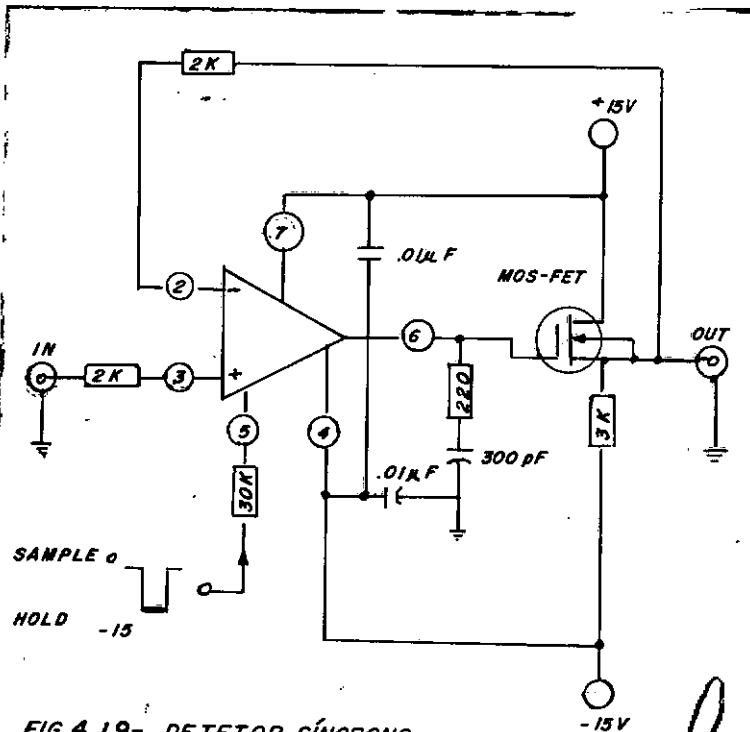


FIG. 4.19 - DETETOR SÍNCRONO

B - Considerações Sobre o Protótipo

O modelo I apresentou funcionamento satisfatório em queda livre mas houve problemas de infiltração de água nos conectores. Passou, então, a ser utilizado em laboratório quando se efetuaram as modificações na parte eletrônica que obrigaram a uma nova concepção para a unidade sensora, daí surgindo o modelo II, ainda não testado no mar. As características óticas são as mesmas para os dois modelos. O diodo utilizado tem uma faixa de radiação bastante estreita com pico próximo a 680 nm. Com isso pode-se realizar medidas em faixas relativamente estreita sem a utilização de filtros de interferência. Este instrumento tem um ângulo de aceitação (ver Fig. 4.4) menor do que 1° o que significa uma medida de transmitância bem próxima da realidade. O modelo II será calibrado contra uma solução de sulfato de hidrazina usada internacionalmente com padrão de turbidez.

C - Resultados

Como já foi mencionado, por ocasião das primeiras medições no mar por comparação com água destilada houve problemas de infiltração de água em um dos conectores, supostamente à prova d'água. Desde então o instrumento tem sido testado em laboratório com amostras naturais do mar, outras artificialmente preparadas e com amostras de culturas de algas. A otimização do instrumento em termos de relação sinal/ruído, estabilidade com temperatura, geometria ótica e incorporação ao corpo de queda livre não permitiu ainda uma calibração definitiva.

No funcionamento em laboratório o comportamento foi considerado altamente satisfatório. A Fig. 4.20 mostra um gráfico de medidas com uma cultura da alga verde *Chlorella* em 680 nm

(concentração em células x ml Vs transmitância) e com outra da alga, cianofícia, Spirulina.

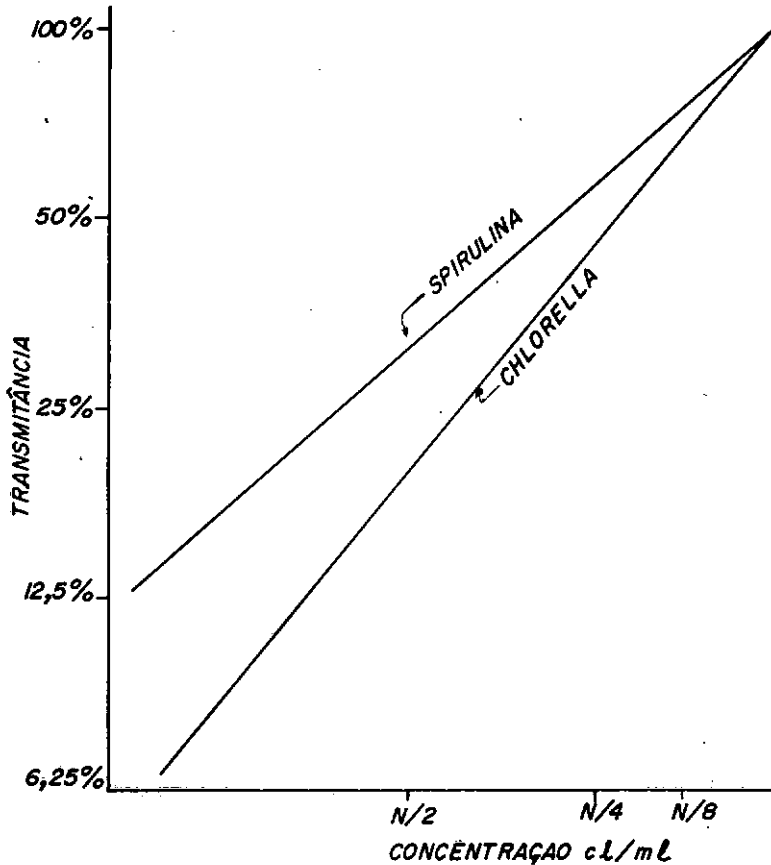


FIG. 4.20 - MEDICÕES COM O MODELO I EM LABORATÓRIO (680 nm)

4.4.3 - Desenvolvimento do Fotômetro Duplo Modelo PLII

A - Partes Componentes

Este instrumento consta basicamente das mesmas partes eletrônicas do medidor de transmitância. A parte ótica é diferente porque se deseja uma medida de absorção apenas. A Fig. 4.21 mostra o esquema da parte ótica.

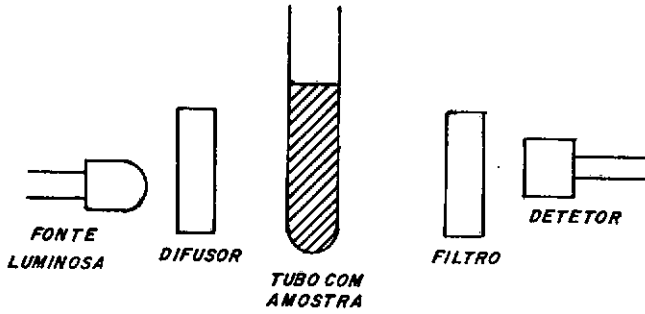


FIG. 4.21 - GEOMETRIA ÓTICA DO FOTÔMETRO

A finalidade do difusor (um plástico translúcido) é espalhar a luz em todas as direções objetivando aumentar o percurso ótico na medida. As paredes do instrumento são cobertas por material refletor e devido ao ângulo de aceitação quando na entrada uma grande parte de energia espalhada pelas partículas chega eventualmente ao detetor.

A Fotografia da Fig. 4.22 mostra o protótipo desenvolvido.

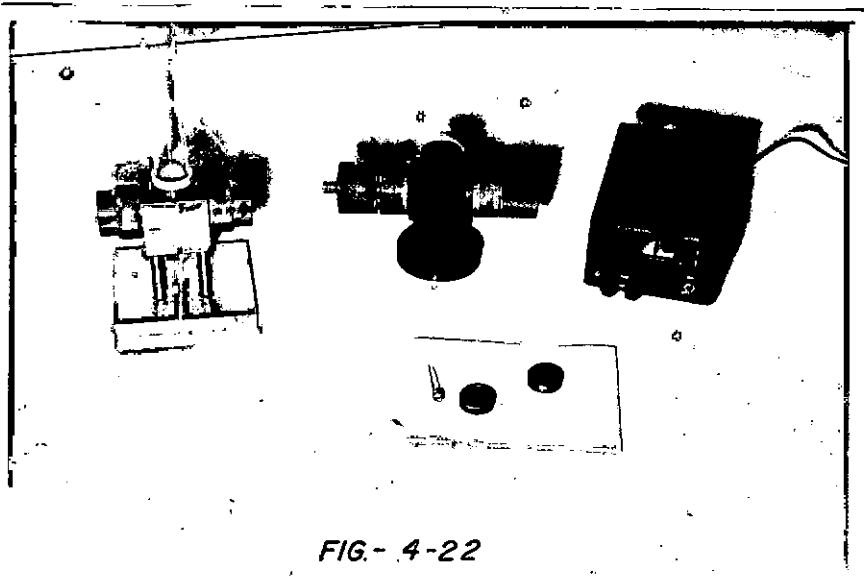


FIG- 4-22

A medição é feita em voltímetro digital especialmente desenvolvido por Oliveira¹³ de 0 a 2000 mv, cujo esquema é apresentado na Fig. 4.23.

VOLTÍMETRO DIGITAL 0 a 2.000 M VOLTS

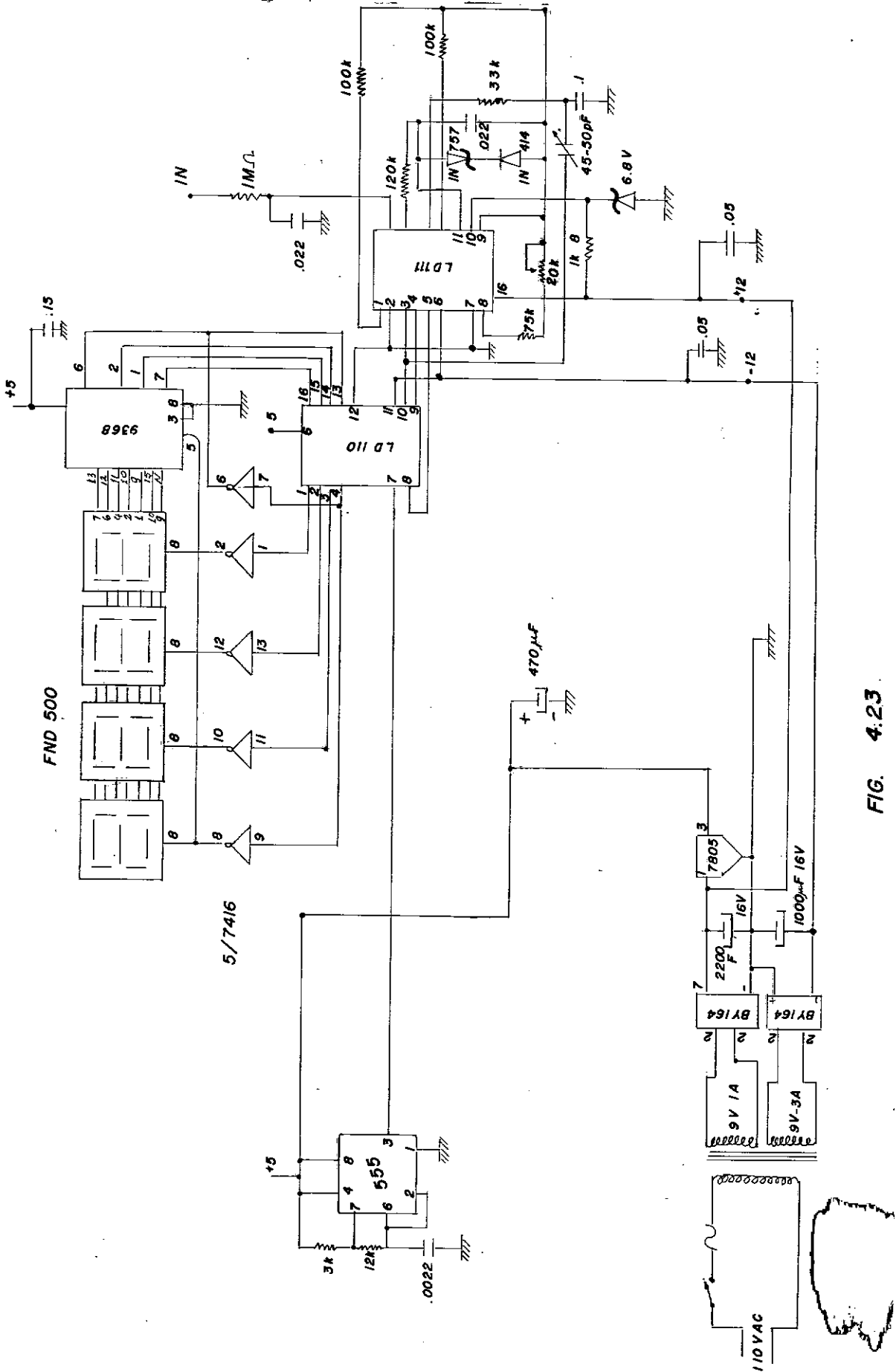


FIG. 4.23

B - Considerações Sobre o Protótipo

Este instrumento funciona apenas em laboratório. Suas medidas são relativas a uma amostra de transmitância considerada como 100% como é o caso típico das medidas em espectrofotômetro. Este modelo foi feito especialmente para receber tubos com culturas de alga em crescimento. A medição em dois comprimentos de onda sendo um deles típico de absorção pela clorofila pode fornecer indicações relevantes sobre o crescimento, servindo também para uma contagem da quantidade de partículas.

C - Resultados

A Figura 4.24 mostra comparações de medidas feitas com amostras de pigmentos. Observa-se que a sensibilidade deste fotometro PL II (razão entre variação na saída e variação na entrada) situa-se entre a de um espectrofotômetro Hitachi de laboratório, de alta qualidade e de resolução espectral e a de um fotocolorímetro comercial de fabricação nacional.

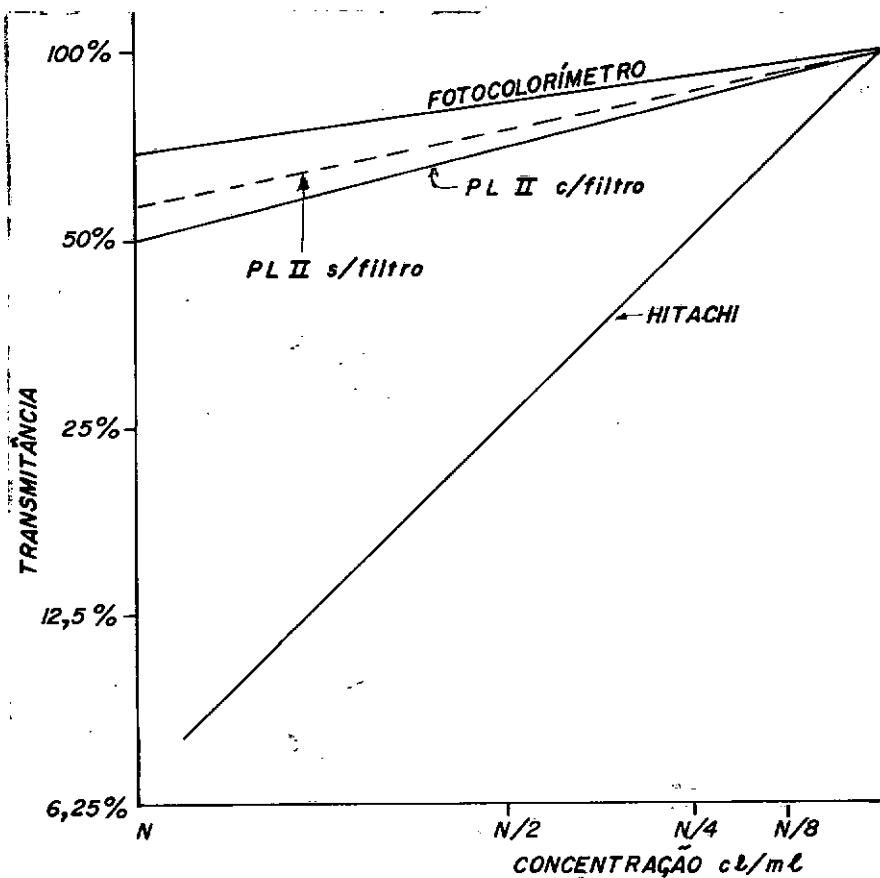


FIG. 4.24 - MEDIÇÕES COMPARATIVAS EM 680 nm

4.5 - DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O medidor de irradiância espectral apresentado representa solução intermediária entre os instrumentos de medição espectral ponto a ponto, com seleção automática de filtros e aqueles mais rudimentares de faixa larga. A medida contínua, praticamente instantânea, em uma mesma coluna d'água, sob condições de iluminação constante, além de poder dispensar o monitoramento à superfície, oferece atrativos especiais. Variações no coeficiente de extinção ao longo do perfil podem revelar a presença de massas d'água de características óticas diferentes. A medida simultânea em 2 ou 3 comprimento de onda reforça essa possibilidade. É fundamental que o instrumento possa realizar medidas absolutas não só para a determinação de níveis de energia espectrais a diversas profundidades, como para comparação com dados de outras regiões do oceano. Está planejada para os próximos meses uma campanha na zona de ressurgência de Cabo Frio compreendendo um levantamento exaustivo das características espectrais de penetração da luz relacionada com a produtividade primária da região. As principais vantagens desse instrumento são aquelas já enumeradas na apresentação do corpo de queda livre, isto é, portabilidade, facilidade de manuseio, obtenção de perfil contínuo, entre outras.

A principal limitação é a necessidade de substituição do filtro que, em caso de medição em diversos comprimentos de onda, pode efetivamente tornar a operação por demais laboriosa. A parte eletrônica na versão atual tem sofisticação compatível com as características de operação do aparelho. A exceção dos filtros, todos os componentes podem ser encontrados no comércio nacional.

Uma versão mais sofisticada e cara, mas que permi-

tirá a medição simultânea em vários comprimentos de onda é a do tipo "self-contained". Toda a eletrônica estaria no corpo do instrumento incluindo o registrador magnético. O instrumento seria preso por cabo sintético ou absolutamente livre como o de Cox¹⁰.

O medidor de transmitância é de manuseio menos simples do que o de irradiância devido às suas dimensões, mas sua operação em queda livre é sempre menos trabalhosa do que os instrumentos tradicionais de medição "in situ", ponto a ponto. Sua estrutura é quase toda de polietileno o que facilita a obtenção de pequenos valores de flutuabilidade negativa. Como vimos nos fundamentos teóricos, a comparação de dados da transmitância fica mais difícil na medida em que os parâmetros óticos de cada tipo de sensor influem na medição. A medição em faixa estreita evita que a absorção seletiva pelo mar altere a medição quando se usa percursos óticos de diversos comprimentos. A extensa faixa dinâmica de mais de 50 db obtida graças a utilização da detecção síncrona, permite medidas em águas com valores de transmitância entre 100% (água destilada) e 0,2%.

O fotômetro duplo modelo PLII apresentado, representa solução barata para medições fotométricas em faixa estreita em laboratório. Pode ser usado na cortagem de células ou no controle do crescimento de altura em tubos de ensaio.

BIBLIOGRAFIA

- 1 WILLIAMS, J. - Optical Properties of the Sea - Annapolis, US Naval Institute, 1970.
- 2 TYLER, J.E. and SMITH, R. - Measurements of Spectral Irradiance Underwater - New York, Gordon and Breach, 1970 .
- 3 BAUER and MOREL cit. por KULLENBERG, G. - Observed and Computed Scattering Functions - Optical Aspects of Oceanography, Jerlov, G. and Nielsen, E. editors - London, Academic Press, 1974.
- 4 BASANO, L.; OTONELLO, P. and PAPA, L. - All Solid State Marine Turbidimeter - Deep Sea Research, Vo. 23 pp 187-190 London, Pergamon Press, 1976.
- 5 BURR, A.H. and DUNCAN, M.J. - Portable Spectroradiometer for Underwater Environments - Limnology and Oceanography , Vol 13 - pp. 423-429.
- 6 JERLOV, N. - Optical Oceanography - Amsterdam, Elsevier Publishing Company, 1968.
- 7 BETZ, A. - Applied Airfoil Theory - Aerodynamic Theory, Durand, W.F. Editor, California, 1943.
- 8 GLAUERT, H. - Airplane Propellers - Aerodynamic Theory, Durand, W.F. editor, California, 1943
- 9 MORTENSEN, A.C. and LANGE, R.E. - Design Considerations of Wing Stabilized Free Fall Vehicles - Deep Sea Research Vol. 23 pp 1231-1240, London, Pergamon Press, 1976.
- 10 COX, C.S. and Gregg, M.C. - Measurements of the Oceanic Microstructure of Temperature and Electrical Conductivity - Deep Sea Research, Vol. 18 pp. 925-934, London Pergamon Press, 1971.
- 11 COX, C.S. et al. - Fine Scale of Temperature Gradient - Marine Temperature Measurements Symposium, Miami, MTS, 1969.

- 12 EAST, A.M. - Some Applications of Electronics to Oceanographic Sensors - Electronic Engineering in Oceanography , IERE Conference, London, 1966.
- 13 OLIVEIRA, M.V. - Voltímetro Digital - (Não Publicado) - Rio de Janeiro - Instituto de Pesquisas da Marinha, 1977.
- 14 SNODGRASS, J.M. - Instrumentation and Communications Ocean Engineering - Brahtz, J. editor, New York, Wiley, 1968.
- 15 BOWMAN, M.J. - On the Linearity of Thermistor Thermometer - Radio and Electronic Engineer, Vol. 39, nº 4, abril 1970.
- 16 KAHN et al - Underwater Logarithm Irradiance Meter for Primary Production and Associated Study - Electronic Engineering in Oceanography, IERE Conference, London, 1966.

APÊNDICE

LISTAGEM DO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO DA QUEDA LIVRE

001	*LEB	21 11	056	RCL	36 11
002	CLB	16-03	057	RCL	36 01
003	FCS	16-01	058	RCL	36 06
004	CLB	16-03	059	X	-35
005	?	07	060	+	-55
006	?	09	061	STO	35 11
007	?	05	062	+	-55
008	?	00*	063	?	-02
009	STO	35 06	064	+	-24
010	STO	35 15	065	RCL	36 06
011	STO	35 15	066	X	-35
012	STO	35 05	067	ST+3	35-55 02
013	?	-02	068	RCL	36 03
014	?	00	069	RCL	36 01
015	?	01	070	STO	35 03
016	STO	35 05	071	+	-55
017	?	09	072	?	-02
018	?	08	073	+	-24
019	?	06	074	RCL	36 06
020	STO	35 03	075	X?	53
021	?	05	076	X	-35
022	?	-02	077	ST+3	35-55 02
023	?	05	078	RCL	36 15
024	STO	35 04	079	STO	35 05
025	ST+16	21 01	080	RCL	36 11
026	*LEB	21 12	081	PRM	-14
027	FCS	23 01	082	RCL	36 02
028	09B	23 07	083	PRM	-14
029	RCL	36 03	084	RCL	36 07
030	RCL	36 06	085	RCL	36 06
031	X	-35	086	+	-55
032	RCL	36 11	087	STO	36 07
033	+	-55	088	PRM	-14
034	STO	35 00	089	STO	16-11
035	*LEB	21 02	090	STO	22-12
036	09B	23 01	091	*LEB	21 01
037	RCL	36 03	092	FCS	16-01
038	RCL	36 01	093	?	00
039	+	-55	094	STO	35 01
040	?	02	095	FCS	16-01
041	+	-24	096	RCL	36 00
042	RCL	36 06	097	X?	53
043	?	-35	098	STO	35 12
044	RCL	36 11	099	RCL	36 00
045	+	-55	100	?	09
046	STO	35 00	101	+	-24
047	RCL	36 05	102	X?	53
048	?	01	103	STO	35 14
049	-	-45	104	*LEB	21 05
050	STO	35 05	105	RCL	36 04
051	X=3	16-43	106	?	04
052	STO	22 02	107	+	-55
053	STO	22 02	108	STO	35 04
054	*LEB	21 03	109	?	09
055	RCL	36 11	110	X?	-41
056	?	11	111	?	-24

112	TAN	16 43
113	STO1	35 45
114	0	00
115	-	-45
116	SIN	41
117	F1	16-24
118	X	-35
119	2	02
120	X	-35
121	.	-62
122	4	04
123	2	02
124	-	-55
125	RCL1	36 46
126	COS	42
127	RCL1	35 46
128	SIN	41
129	.	-62
130	0	00
131	X	-35
132	-	-45
133	X	-35
134	RCLD	36 14
135	RCL4	36 04
136	W	53
137	X	-35
138	RCLB	36 12
139	+	-55
140	X	-35
141	4	04
142	0	00
143	-	-35
144	F20	16-51
145	ST+1	35-55 01
146	F25	16-51
147	RCL4	36 04
148	2	02
149	1	01
150	.	-62
151	0	00
152	W=1?	16-33
153	GT04	22 04
154	GT05	22 05
155	*LBL4	21 04
156	RCL6	36 06
157	RCL9	36 09
158	-	-45
159	9	09
160	0	00
161	0	00
162	X	-35
163	F20	16-51
164	RCL1	36 01
165	F20	16-51
166	RCL2	36 02
167	W	53

168	1	01
169	4	04
170	X	-35
171	-	-55
172	-	-45
173	RCL8	36 08
174	+	-24
175	STO1	35 01
176	5	05
177	.	-62
178	5	05
179	STO4	35 04
180	RTN	24
181	*LBL7	21 07
182	RCL2	36 02
183	3	03
184	2	02
185	X	-35
186	STO9	35 09
187	4	04
188	3	03
189	0	00
190	0	00
191	X>Y?	16-34
192	RTN	24
193	STO9	35 09
194	CF1	16 22 01
195	RTN	24

APÊNDICE II

DADOS DE SAÍDA DO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO DE QUEDA LIVRE

64.62	***	73.35	***
-16.01	***	-16.37	***
39.59	***	87.31	***
6.56	***	1.16	***
64.43	***	74.52	***
-15.86	***	-16.65	***
43.79	***	31.82	***
6.56	***	1.15	***
53.52	***	73.65	***
-16.19	***	-16.37	***
47.36	***	34.68	***
6.56	***	1.26	***
52.86	***	72.84	***
-12.74	***	-16.73	***
52.06	***	36.38	***
6.65	***	1.25	***
61.67	***	72.00	***
-18.28	***	-16.82	***
56.16	***	101.39	***
6.76	***	1.38	***
61.34	***	71.16	***
-14.68	***	-16.76	***
68.28	***	105.42	***
6.75	***	1.35	***
58.35	***	76.32	***
-17.86	***	-16.56	***
64.28	***	108.91	***
6.68	***	1.48	***
59.57	***	69.46	***
-15.82	***	-16.79	***
63.16	***	112.36	***
6.82	***	1.45	***
76.63	***	68.64	***
-17.44	***	-16.79	***
72.87	***	115.72	***
6.98	***	1.58	***
77.69	***	67.86	***
-16.18	***	-16.79	***
75.94	***	119.15	***
6.32	***	1.55	***
77.69	***	66.27	***
-17.15	***	-16.79	***
73.76	***	122.47	***
1.88	***	1.68	***
76.28	***	66.13	***
-16.49	***	-16.79	***
63.36	***	125.72	***
1.85	***	1.65	***

61.52	***		
-8.13	***		
166.32	***		
2.30	***		
61.52	***		
-8.13	***		
166.46	***		
2.35	***		
61.63	***		
-8.08	***		
172.57	***		
2.40	***		
61.63	***		
-8.08	***		
175.67	***		
2.45	***		
61.63	***		
-8.23	***		
176.76	***		
2.50	***		
61.63	***		
-8.22	***		
181.88	***		
2.55	***		
61.63	***		
-8.21	***		
184.95	***		
2.60	***		
61.63	***		
-8.21	***		
185.04	***		
2.65	***		
		61.63	***
		-4.931572327-03	***
		191.14	***
		2.70	***
		61.63	***
		-3.178498566-03	***
		194.23	***
		2.75	***
		61.63	***
		-1.95635221-03	***
		197.33	***
		2.80	***
		61.63	***
		-1.267756742-03	***
		200.43	***
		2.85	***
		61.63	***
		-7.976198623-04	***
		203.52	***
		2.90	***
		61.63	***
		-5.868577356-04	***
		206.61	***
		2.95	***

65.29	***
-16.79	***
129.69	***
1.76	***
64.45	***
-16.79	***
132.28	***
1.75	***
65.61	***
-16.79	***
135.36	***
1.86	***
63.62	***
-16.69	***
136.49	***
1.65	***
61.57	***
-7.61	***
141.63	***
1.92	***
61.36	***
-5.31	***
144.78	***
1.95	***
62.16	***
-5.33	***
147.31	***
2.02	***
62.35	***
-5.07	***
150.98	***
2.65	***
61.33	***
-5.18	***
154.60	***
2.16	***
61.35	***
-6.21	***
137.16	***
2.13	***
61.33	***
-6.43	***
160.13	***
2.26	***
61.31	***
-6.32	***
163.23	***
2.25	***