

1. Publicação nº <i>INPE-2374-PRE/100</i>	2. Versão	3. Data <i>Abril, 1982</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DSR</i>	Programa <i>RECMA</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>PROPAGAÇÃO DO SOM ACÚSTICA GEOMÉTRICA</i>			
7. C.D.U.: <i>551.563.22 (815.3)</i>			
8. Título <i>CONDICÕES DE PROPAGAÇÃO DO SOM NA COSTA SUDESTE DO BRASIL</i>		10. Páginas: <i>22</i>	
		11. Última página: <i>15</i>	
		12. Revisada por <i>Sydneia Maluf</i> <i>Sydneia Maluf</i>	
9. Autoria <i>José Luiz Stech</i>		13. Autorizada por <i>Parada</i> <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor</i>	
Assinatura responsável <i>[assinatura]</i>			
14. Resumo/Notas  <i>Na primeira etapa, deste trabalho, determinou-se a velocidade do som numa coluna d'água, utilizando-se as fórmulas de Wilson e tendo-se como variáveis de entrada dessas fórmulas a temperatura, a salinidade e a pressão. Na segunda etapa, utilizaram-se as técnicas de acústica geométrica e, através delas, demarcaram-se duas regiões onde os alcances dos raios sonoros eram maiores; esses alcances ocorreram nos meses de julho e novembro. Puderam-se também localizar várias zonas de sombra na região estudada.</i>			
15. Observações  <i>Trabalho submetido para apresentação no "I Simpósio Naval de Sonar", 14 a 17 de abril de 1982, Arraial do Cabo-RJ.</i>			

ABSTRACT

*In the first part of this work, the sound speed in a water column was determined by utilizing Wilson's formula, with data of temperature, salinity and pressure. In the second part, Geometric Acoustic Techniques were used to determine two regions where the sound ray ranges were largest; those larger ranges occurred in July and November. It was also possible to obtain several shadow zones in the studied area.*



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS .....	v
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 - Considerações Gerais .....	1
2. OBJETIVO .....	2
2.2 - Instrumentos e Métodos .....	2
3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	3
3.1 - Alcance dos Raios Sonoros.....	3
3.2 - Região de Sombra .....	8
3.3 - Canal Acústico .....	11
4. CONCLUSÕES .....	11
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	15



## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Região de estudo com os grupos das estações hidrográficas ....	4
2 - Perfis verticais da temperatura (T), da velocidade do som (c) e diagrama de rádio do Grupo B .....	6
3 - Mapa dos maiores alcances dos raios sonoros nas diferentes épocas do ano .....	9
4 - Região de sombra, com uma fonte sonora colocada abaixo do máximo da velocidade do som .....	10
5 - Exemplo de Canal Acústico .....	12



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

O método mais familiar de acústica submarina é o de ecos sondagem, cuja utilização foi sugerida por Mathew F. Muray, que em 1839, com a invenção do telégrafo eletromagnético por Gauss e Webber em 1833, sentiu a necessidade de conhecer a topografia dos oceanos, para lança mentos de cabos submarinos, o que permitiu as ligações transoceânicas (Neumann and Pierson, 1966).

Para medidas verticais e horizontais sob a água do mar, utiliza-se o SONAR ("Sound Navigation and Ranging"), cujo princípio de funcionamento é o mesmo de um radar primário, constituindo-se de um transdutor que funciona como fonte e receptor.

Pequenos pulsos sonoros, usualmente em intervalos ultra-sônicos, são emitidos radialmente por uma fonte sonora e refletidos quando encontram obstáculos. A distância entre esses obstáculos e o transdutor pode ser determinada, desde que a velocidade do som na água seja conhecida, e o intervalo de tempo decorrido entre a emissão e a re cepção seja medido.

Esse sistema é de grande utilidade na pesca, na navegação, no mapeamento do fundo do mar, na determinação das variações da profun didade da termoclina principal.

O mapeamento do fundo do mar é feito de modo comparativa mente fácil pela adoção de um aparelho de SONAR. Um transdutor direcio nal é voltado direcionalmente para baixo, e é posto a irradiar pulsos sonoros sobre um plano, de tal forma que, entre pulsos, ele possa ser vir como receptor do eco do fundo. O receptor alimenta um registrador gráfico que, automaticamente, correlata o eco de cada pulso com o seu vizinho, apresentando um perfil da água abaixo do navio (Vigourex and Hersey, 1962).

Rossby (1969) apresenta um método que torna possível de terminar a variação da profundidade da termoclina principal, com a utilização do ecossonda.

## 2. OBJETIVO

Dispondo-se de dados da salinidade e da temperatura, que foram determinados em cinco cruzeiros oceanográficos, realizou-se um trabalho que aborda a propagação do som, cujo objetivo é estudar as variações sazonais da propagação do som.

### 2.2 - INSTRUMENTOS E MÉTODOS

Utilizaram-se 308 estações hidrográficas, totalizando cinco cruzeiros oceanográficos, sendo que destas, 68 foram realizadas em janeiro e fevereiro de 1970, 61 em abril de 1970, 60 em julho de 1970, 49 em novembro de 1970 e 61 em fevereiro de 1971.

As estações hidrográficas foram realizadas de acordo com o método clássico de garrafas de Nassem e de termômetros de reversão protegidos e desprotegidos; a salinidade foi analisada com salinômetro indutivo, marca Beckman mod. R57-B, e os valores de  $R_t$  (razão de condutividade elétrica), medidos com esse instrumento, foram convertidos em salinidade por meio da Tabela Oceanográfica Internacional (UNESCO, 1966).

A velocidade do som foi calculada pelas fórmulas de Wilson (1960). Procedeu-se aos cálculos com o auxílio de um programa de computador, que usa como dados de entrada a temperatura, a salinidade e a pressão. Como saída, resultaram a pressão em decibar e em  $\text{kg/cm}^2$ , a densidade in situ,  $\sigma_{\text{STP}}$  em  $\text{g/l}$ , a densidade média em  $\text{g/cm}^3$  e a velocidade do som em m/s.

Para calcular as trajetórias dos raios sonoros, usou-se a técnica do diagrama de raio, definido como um diagrama ortogonal, tendo como abcissa a distância horizontal (x) e como ordenada a profundidade (z), sobre o qual traçam-se as trajetórias dos raios sonoros, tendo-se um conhecimento prévio do perfil vertical da velocidade do som. Essas trajetórias definem a direção em que se propaga a energia sonora, de tal forma que a energia contida dentro de um estreito feixe de raios é confinada e dissipada dentro do espaço abrangido pelo feixe.

Na construção dos diagramas de raios utilizou-se um programa de computador elaborado por Jean (1968), segundo as técnicas da acústica geométrica. A velocidade do som numa coluna d'água, o perfil do fundo do mar na região em estudo, o máximo alcance desejado e, finalmente, as condições iniciais relativas à inclinação dos raios sonoros na fonte e em sua profundidade são dados de entrada desse programa.

O fundo foi considerado plano devido ao não-conhecimento detalhado de sua topografia, sendo que o máximo alcance foi considerado de 3000 metros.

Na construção dos diagramas de raios, supôs-se uma fonte localizada a 5 metros de profundidade, simulando a emissão de um transdutor de SONAR. Nos cálculos das trajetórias, os ângulos dos raios sonoros na fonte variaram entre  $1^{\circ}$  e  $10^{\circ}$ , em intervalos de  $1^{\circ}$ , com respeito à horizontal.

### 3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### 3.1 - ALCANCE DOS RAIOS SONOROS

As estações hidrográficas utilizadas neste trabalho estão dispostas em grupos, situados na região costeira e oceânica, compreendida entre o Cabo de São Tomé e a ilha de São Sebastião, latitudes  $22^{\circ}$  -  $25^{\circ}$ S e longitudes  $40^{\circ}$  -  $46^{\circ}$ W (Figura 1).



Para cada estação hidrográfica de cada grupo da região de estudo, foram traçados os perfis verticais da velocidade do som e da temperatura, e os feixes sonoros simulados por meio de raios com ângulos de inclinação entre  $1^{\circ}$  e  $10^{\circ}$ , na fonte sonora. Foram feitas comparações dos alcances dos raios entre todas as estações estudadas; os alcances foram dados com relação ao raio situado no centro do feixe e, portanto, emitido com ângulo inicial de  $5^{\circ}$ . Os alcances foram dados pela intersecção do raio sonoro com o fundo ou a superfície do mar. A Figura 2 apresenta o grupo B como exemplo dos grupos analisados. Neste grupo, a profundidade das estações hidrográficas foi de 20 metros. O maior alcance dos raios sonoros registrou-se no mês de julho com 145 metros, e o menor, em fevereiro com 100 metros.

Uma situação crítica de propagação é observada, quando ocorre uma inversão de temperatura, sendo que um exemplo desse fato aconteceu em abril. Essa inversão influi diretamente no perfil vertical da velocidade do som, ocasionando um máximo. Esse máximo de velocidade do som ocasiona uma divisão do feixe sonoro, formando uma zona de sombra.

Na Figura 2, observa-se uma semelhança muito grande entre os perfis verticais da velocidade do som e os da temperatura. Essas semelhanças são normalmente esperadas em águas oceânicas, mas junto à costa muitas vezes, elas não ocorrem, pois a existência de fontes de água doce, por desembocadura de rios, pode tornar a salinidade primária.

Na Tabela 1 são apresentados os alcances dos raios sonoros e a profundidade dos demais grupos.

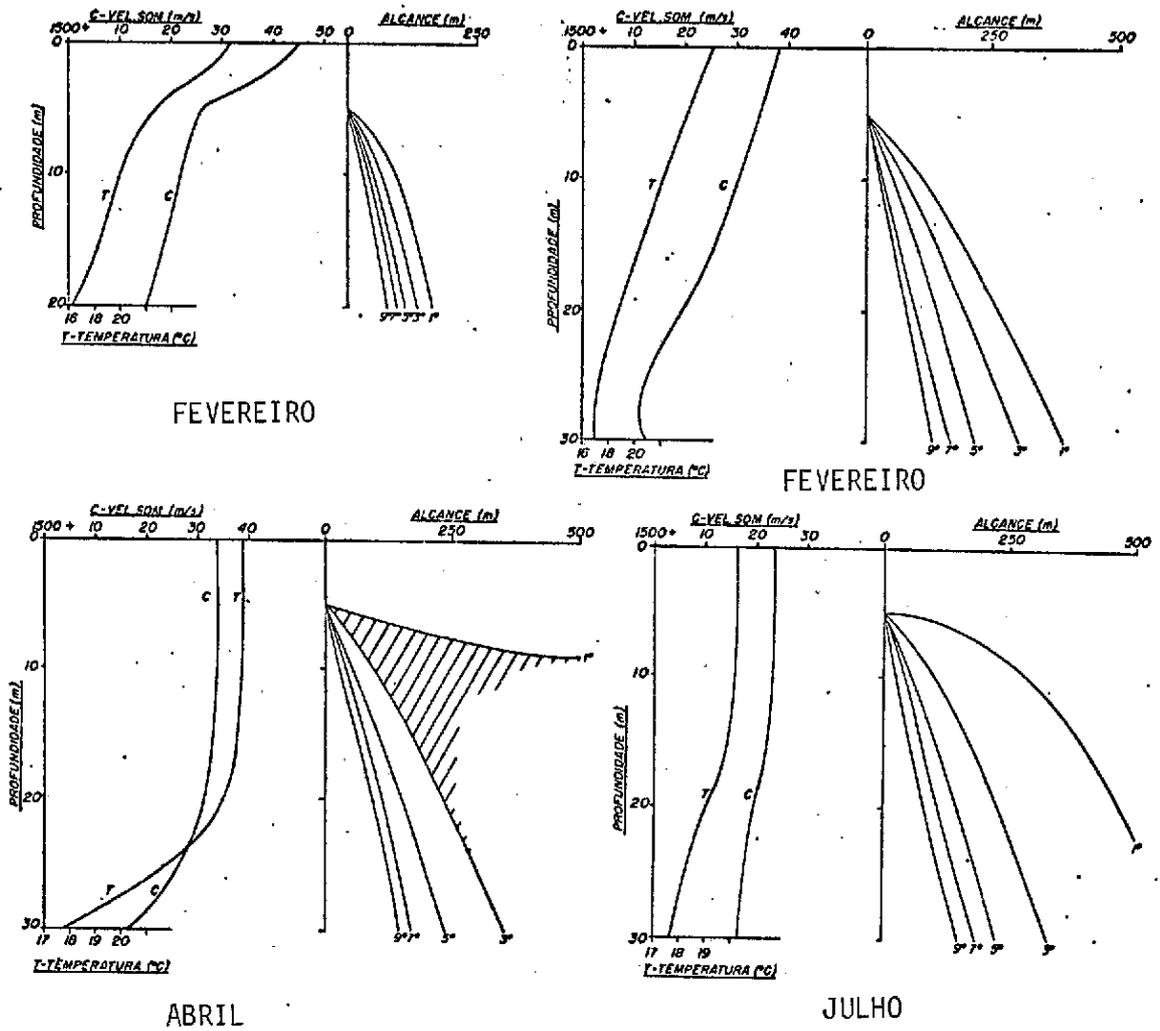


Fig. 2 - Perfis verticais da temperatura (T), da velocidade do som (c) e diagrama de radio do Grupo B.

TABELA 1

ALCANCES DOS RAIOS SONOROS E PROFUNDIDADE DAS ESTAÇÕES  
DOS DEMAIS GRUPOS

GRUPO	PROFUNDIDADE (M)	MAIOR ALCANCE	MES	MAIOR ALCANCE	MES
A	15	120	JULHO	75	FEVEREIRO
B	20	145	JULHO	100	FEVEREIRO
C	30	200	JULHO	150	FEVEREIRO
D	30	200	JULHO	170	FEVEREIRO
E	30	210	JULHO	170	FEVEREIRO
F	50	370	JULHO	190	FEVEREIRO
G	50	410	NOVEMBRO	250	FEVEREIRO
H	50	400	JULHO	270	ABRIL
I	50	435	FEVEREIRO	300	FEVEREIRO
J	70	620	JULHO	400	JANEIRO
K	50	450	JULHO	200	JANEIRO
L	20	160	JULHO	100	JANEIRO
M	20	120	JULHO	85	JANEIRO
N	15	115	JULHO	95	FEVEREIRO
A'	30	220	JULHO	140	FEVEREIRO
B'	40	310	JULHO	200	FEVEREIRO
C'	50	360	JULHO	230	FEVEREIRO
D'	50	350	JULHO	240	FEVEREIRO
E'	50	370	JULHO	240	FEVEREIRO
F'	75	620	JULHO	370	FEVEREIRO
G'	100	780	JULHO	555	FEVEREIRO
H'	90	700	JULHO	500	JANEIRO
I'	75	610	ABRIL	430	JANEIRO
J'	90	780	JULHO	520	ABRIL
K'	75	690	JULHO	430	ABRIL
L'	40	375	NOVEMBRO	230	JANEIRO
M'	45	340	NOVEMBRO	290	ABRIL
N'	50	430	JULHO	320	ABRIL
A''	50	360	JULHO	220	FEVEREIRO
B''	90	510	JULHO	360	FEVEREIRO
C''	80	620	JULHO	470	FEVEREIRO
D''	75	600	JULHO	420	FEVEREIRO
E''	80	690	JULHO	390	FEVEREIRO
F''	110	920	JULHO	670	ABRIL
G''	100	890	JULHO	630	FEVEREIRO
H''	115	990	NOVEMBRO	700	FEVEREIRO
I''	100	700	NOVEMBRO	590	ABRIL
J''	150	1000	NOVEMBRO	850	FEVEREIRO
K''	100	850	NOVEMBRO	580	ABRIL
L''	50	415	NOVEMBRO	340	JANEIRO
M''	50	450	NOVEMBRO	330	JANEIRO
N''	100	830	NOVEMBRO	630	ABRIL
A'''	75	570	JULHO	350	FEVEREIRO
B'''	90	690	JULHO	500	FEVEREIRO
C'''	125	960	JULHO	740	FEVEREIRO
D'''	125	920	JULHO	760	FEVEREIRO
E'''	125	940	JULHO	810	FEVEREIRO
F'''	120	910	JULHO	810	FEVEREIRO
G'''	120	1080	JULHO	780	ABRIL
H'''	225	1610	NOVEMBRO	1360	FEVEREIRO
I'''	150	1060	NOVEMBRO	850	FEVEREIRO
J'''	390	2580	JANEIRO	2120	ABRIL
K'''	120	1190	NOVEMBRO	790	ABRIL
L'''	75	650	NOVEMBRO	525	ABRIL
M'''	200	1510	NOVEMBRO	1320	ABRIL
N'''	100	830	NOVEMBRO	630	ABRIL
A''''	75	480	JULHO	360	FEVEREIRO
B''''	125	1000	JULHO	780	FEVEREIRO
C''''	180	1370	NOVEMBRO	1220	FEVEREIRO
I''''	390	2500	JULHO	2100	FEVEREIRO
L''''	400	2520	NOVEMBRO	2130	ABRIL
M''''	200	1950	NOVEMBRO	1250	ABRIL

A análise dos resultados da Tabela 1 possibilitou a determinação de regiões onde se registraram os maiores alcances, numa mesma época do ano. Estas regiões são apresentadas esquematicamente na Figura 3, onde se observam duas áreas mais extensas, nas quais os maiores alcances se deram nos meses de julho e novembro. A área do mês de julho é costeira, desde a latitude de  $22^{\circ}00'S$  e a longitude  $42^{\circ}13'W$  até a latitude  $23^{\circ}00'S$  e a longitude  $42^{\circ}15'W$ . Na latitude de  $23^{\circ}00'S$  e longitude  $42^{\circ}21'W$  a área alarga-se, atingindo o limite oeste da região em estudo. A área do mês de novembro está compreendida entre a região costeira do mês de julho e o limite oceânico. No limite costeiro dessas duas áreas, encontram-se núcleos, onde os maiores alcances se deram nos meses de fevereiro e abril.

### 3.2 - REGIÃO DE SOMBRA

Utilizando-se dados da velocidade do som, cujo máximo se encontra a 50 metros, e simulando-se uma fonte sonora a 75 metros, que emite raios com inclinação entre  $-10^{\circ}$  e  $10^{\circ}$ , pôde-se observar uma zona de sombra entre os raios com  $-4,8^{\circ}$  e  $-4,7^{\circ}$  de inclinação (Figura 4).

Com o auxílio dos diagramas de raios, determinaram-se a existência e a localização de 35 regiões de sombra, que estão distribuídas sazonalmente da seguinte maneira:

janeiro de 1970 = 2  
abril de 1970 = 4  
julho de 1970 = 18  
novembro de 1970 = 8  
fevereiro de 1971 = 3

Essas regiões estão frequentemente localizadas entre os raios que fazem  $1^{\circ}$  e  $3^{\circ}$  com a horizontal, na fonte; raramente aconteceu uma região de sombra estar localizada entre outros raios.

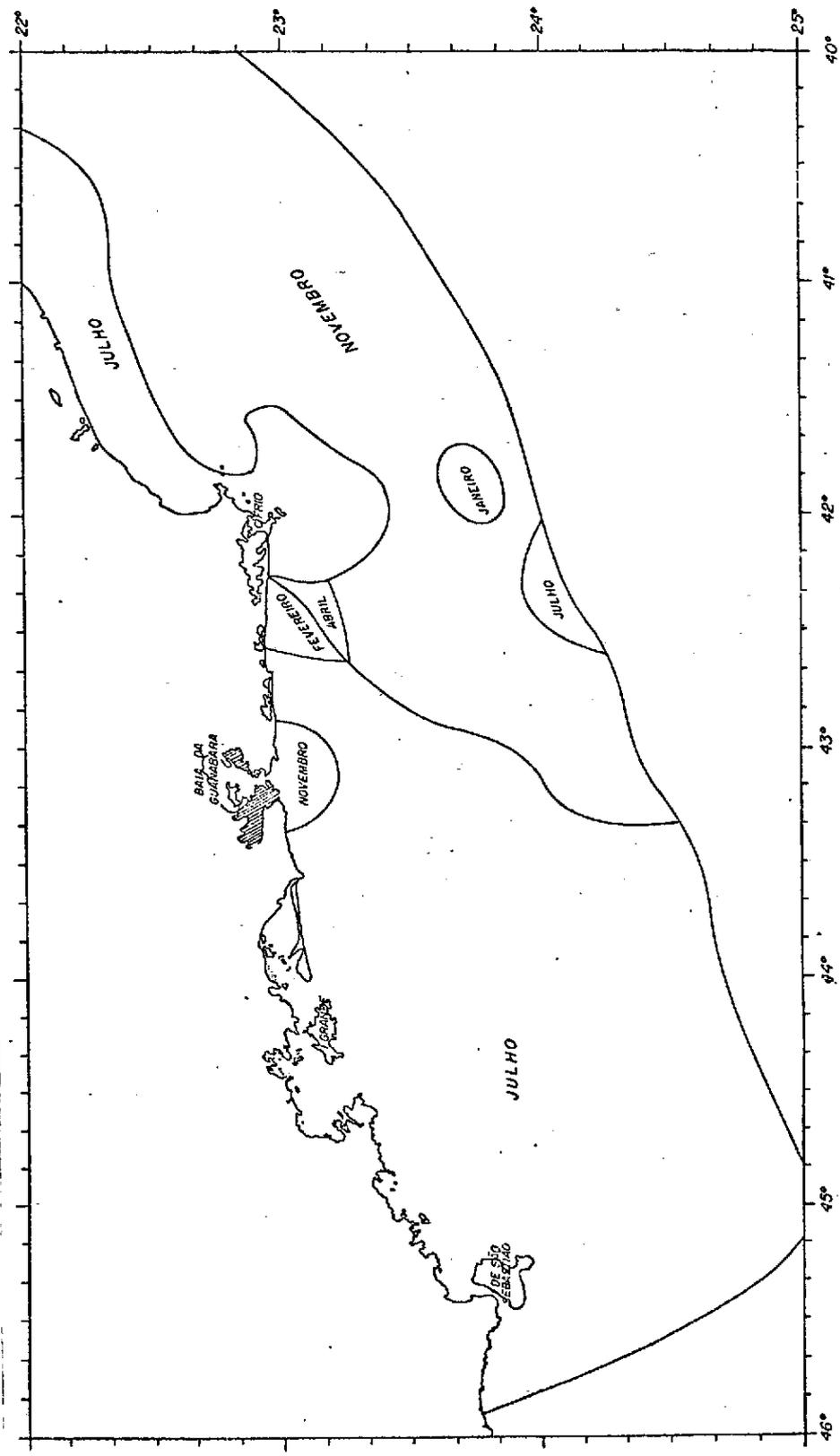


Fig. 3 - Mapa dos maiores alcances dos raios sonoros nas diferentes épocas do ano.

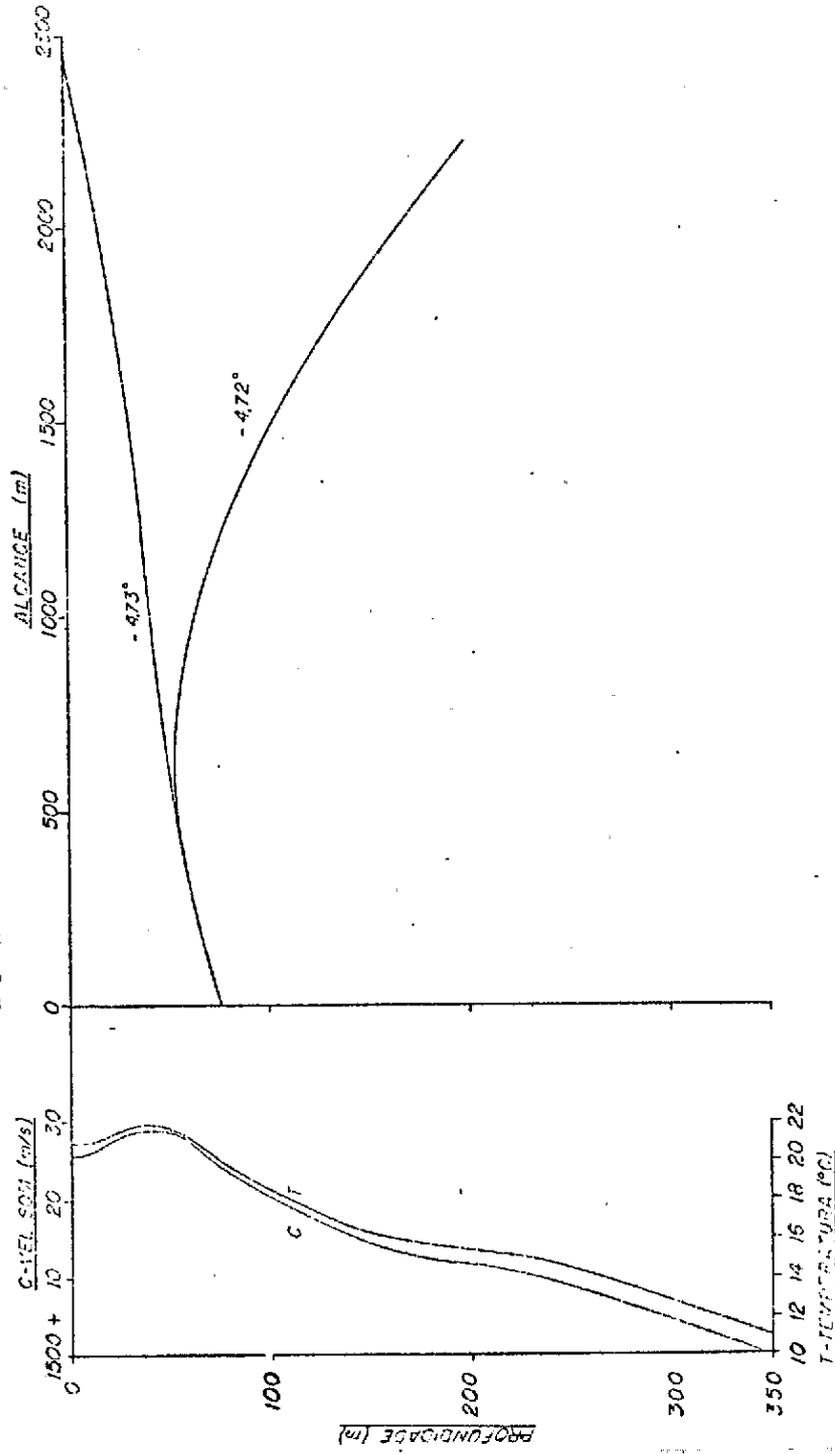


Fig. 4 - Região de sombra, com uma fonte sonora colocada abaixo do máximo da velocidade do som.

### 3.3 - CANAL ACÚSTICO

A ocorrência do canal acústico dá-se em regiões relativamente profundas. Como este trabalho foi realizado numa região quase que exclusivamente costeira, poucas foram as estações hidrográficas (cerca de 20) com um mínimo de velocidade do som, e indicadores da existência desse canal.

Na Figura 5 é apresentado um exemplo de canal. A estação está localizada na posição de latitude 23 12'S e longitude 40 09'W, com profundidade de 2390 metros. Simulou-se uma fonte sonora na profundidade de 940 metros, profundidade de mínima velocidade do som, e fez-se variar os raios de  $\pm 85^\circ$ .

Os raios SOFAR ("Sound Fixing and Ranging"), os quais se propagam sem atingir o fundo e a superfície, estão confinados entre os ângulo  $\pm 10^\circ$ . Para uma melhor visualização, são representados, na Figura 5, somente os valores de  $1^\circ$  e  $5^\circ$  de inclinação. Os raios com inclinação superior a  $10^\circ$  refletem-se na superfície ou no fundo. Dentro dessa faixa, fez-se os raios sonoros propagarem-se por 25 km.

### 4. CONCLUSÕES

A grande semelhança entre os perfis verticais da temperatura e os da velocidade do som sugere que esta é a variável mais importante no estudo da propagação do som. Portanto, a utilização de um registro de batitermógrafo dá, em primeira aproximação, as condições de propagação do som.

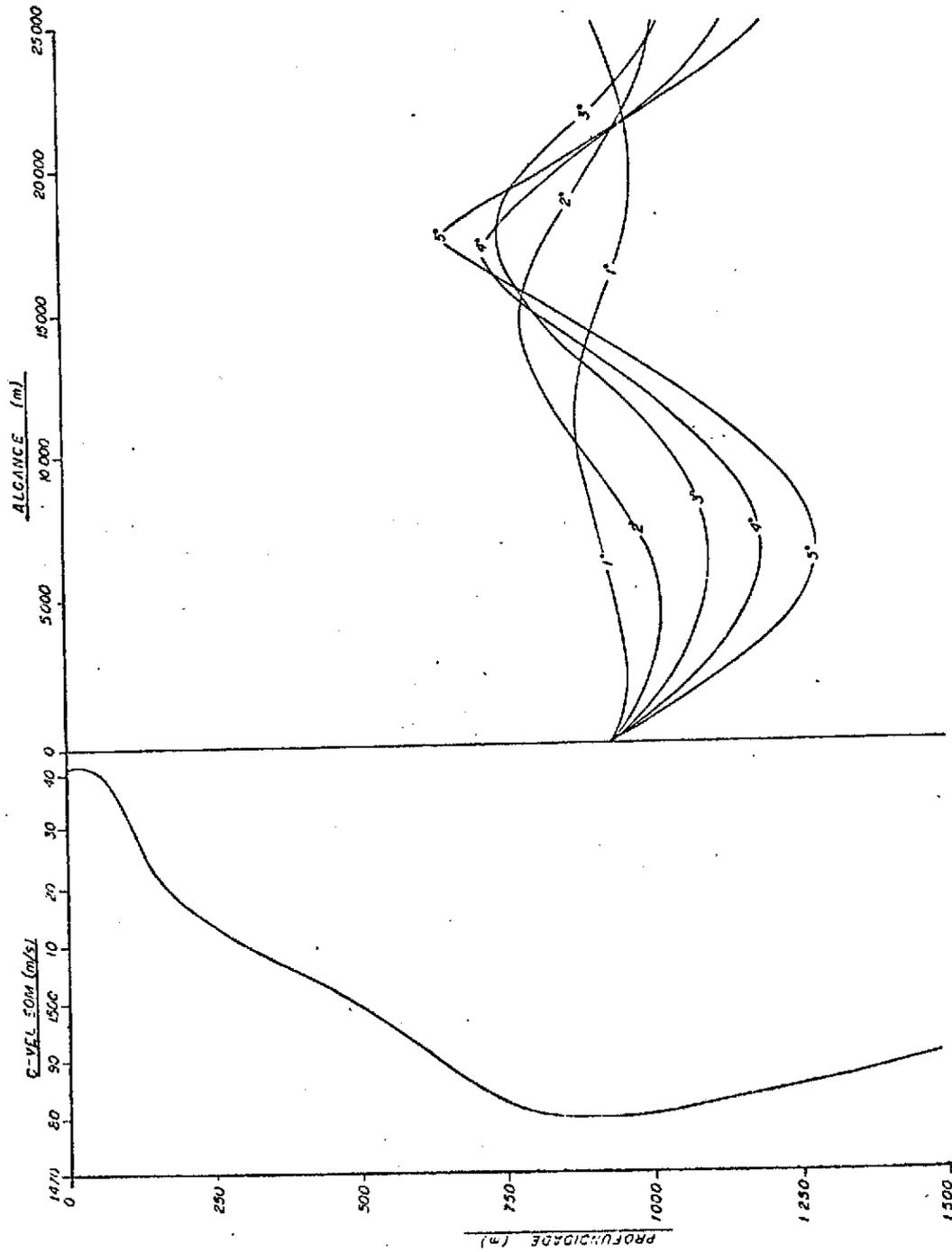


Fig. 5 - Exemplo de Canal Acústico.

Da análise dos diagramas de raios, chegou-se a conclusão para as duas maiores áreas, onde os alcances são mais longos, que para o :

- a) mês de julho: durante o inverno a termoclina sazonal tende a fundir-se e ser quase indistinguível com a camada de fundo; com isso a variação da temperatura na coluna é pequena e, portanto, a velocidade do som também o é. Lembrando-se que a curvatura dos raios sonoros é dada pela relação  $d\theta/ds = kdc/dz$ , conclui-se que com pequenos gradientes da velocidade do som, tem-se pequenas curvaturas e, então, maiores alcances dos raios sonoros antes de eles atingirem os contornos naturais (superfície e fundo) do mar.
- b) mês de novembro: em oceano aberto, nas épocas mais quentes do ano, a agitação dos mares misturam as camadas superiores das águas, tornando-as quase isotérmicas. Nessa região de maiores alcances, no mês de novembro, circula a corrente do Brasil, que é uma corrente quente. Dessa forma, tem-se uma camada mais espessa, onde os gradientes térmicos e, conseqüentemente, os da velocidade do som são pequenos e, portanto, os alcances dos raios sonoros são maiores.

Verificou-se que o mês de julho foi a época em que ocorreu o maior número de zonas de sombra. Para isso acontecer pode ter havido um resfriamento na superfície maior do que na camada subsuperficial, com um gradiente térmico positivo até cerca de 20 metros e a partir daí um gradiente negativo, ou pode ter ocorrido uma infiltração das águas da corrente do Brasil, em camadas subsuperficiais, ocasionando uma elevação da temperatura nessas camadas. Essas infiltrações foram descritas por Signorini (1974).

Como o som se refrata para as regiões de mínimas velocidades do som, haverá a partir de certa distância da fonte uma bifurcação dos raios sonoros e, conseqüentemente, uma região de sombra.

Este trabalho deve ser considerado como uma primeira aproximação do que realmente ocorre com a propagação do som na região de estudo, pois as variáveis utilizadas foram medidas somente no período de um ano, em intervalos de meses.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- JEAN, R.W. *Ray tracing in Fortran IV - RAYTR*. Victoria, Canada, Defence Res. Board Canada, 1968. 41p. Tech-Memo, 68-5.
- NEUMANN, G.; PIERSON, Jr., W.J. Physical and Chemical Properties of Sea Water. In: *Principles of Physical Oceanography*. New York, Prentice Hall, 1966, 3, 36-69.
- ROSSBY, T. On monitoring depth variations of the main thermocline acoustically. *Journal of Geophysical Research*, 74 (23): 5542-5546, 1969.
- SIGNORINI, S.R. *Contribuição ao estudo da circulação e do transporte de Volume da corrente do Brasil entre Cabo de São Tomé e a Baía da Guanábara*. Dissertação de Mestrado em Oceanografia Física. São Paulo, Instituto Oceanográfico da USP, 1974.
- UNESCO: *Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards*. International Oceanographic Tables. Paris Godalming Survey, 1966. 218 p.
- VIGOUREX, P.; HERSEY, J.B.; Sound in the Sea. In: Hill, M.M.N., ed. *The Sea*, New York, Intersciences, 1962. V.2, p. 476-497.
- WILSON, W.D. Equation for the Speed of Sound in Sea Water. *Journal Acoustical Society America*, 32 (10): 1357 . 1960.