

# Propagação do som no oceano

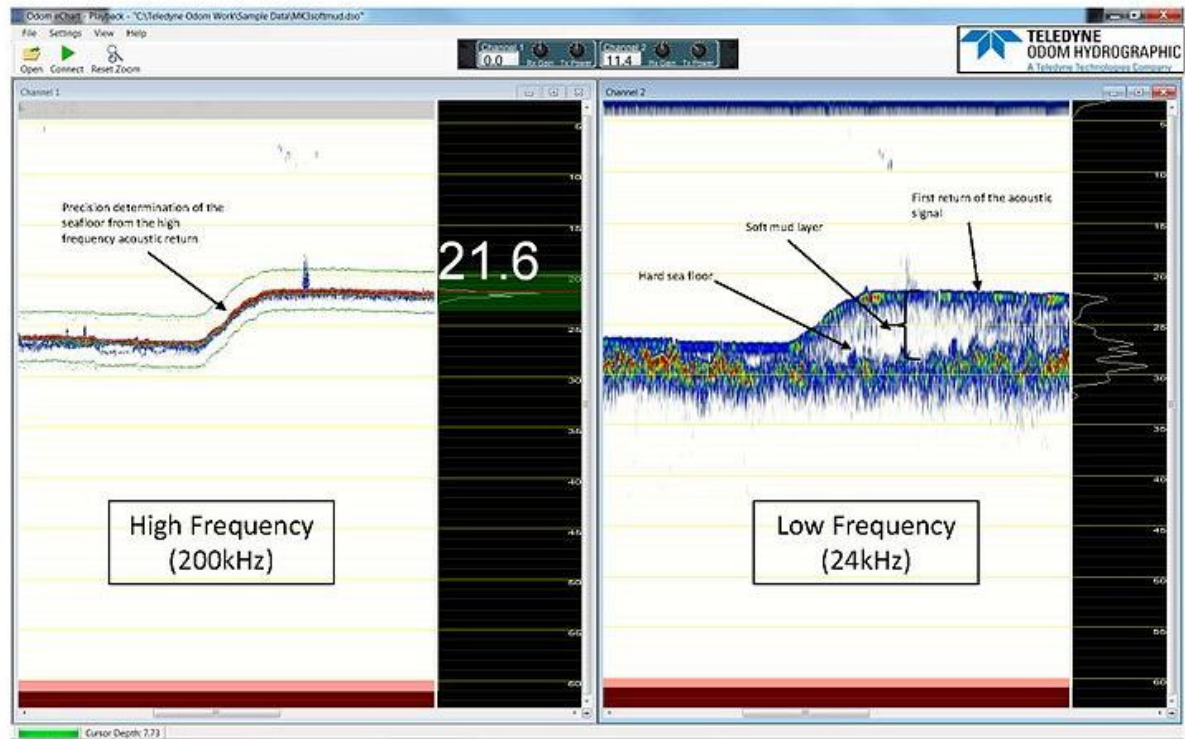
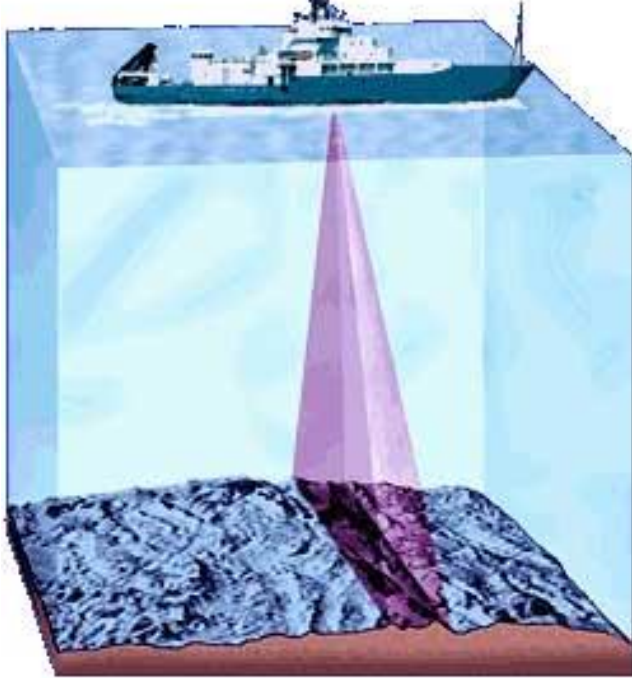
<http://osl.iacm.forth.gr/SoundTrace.htm>

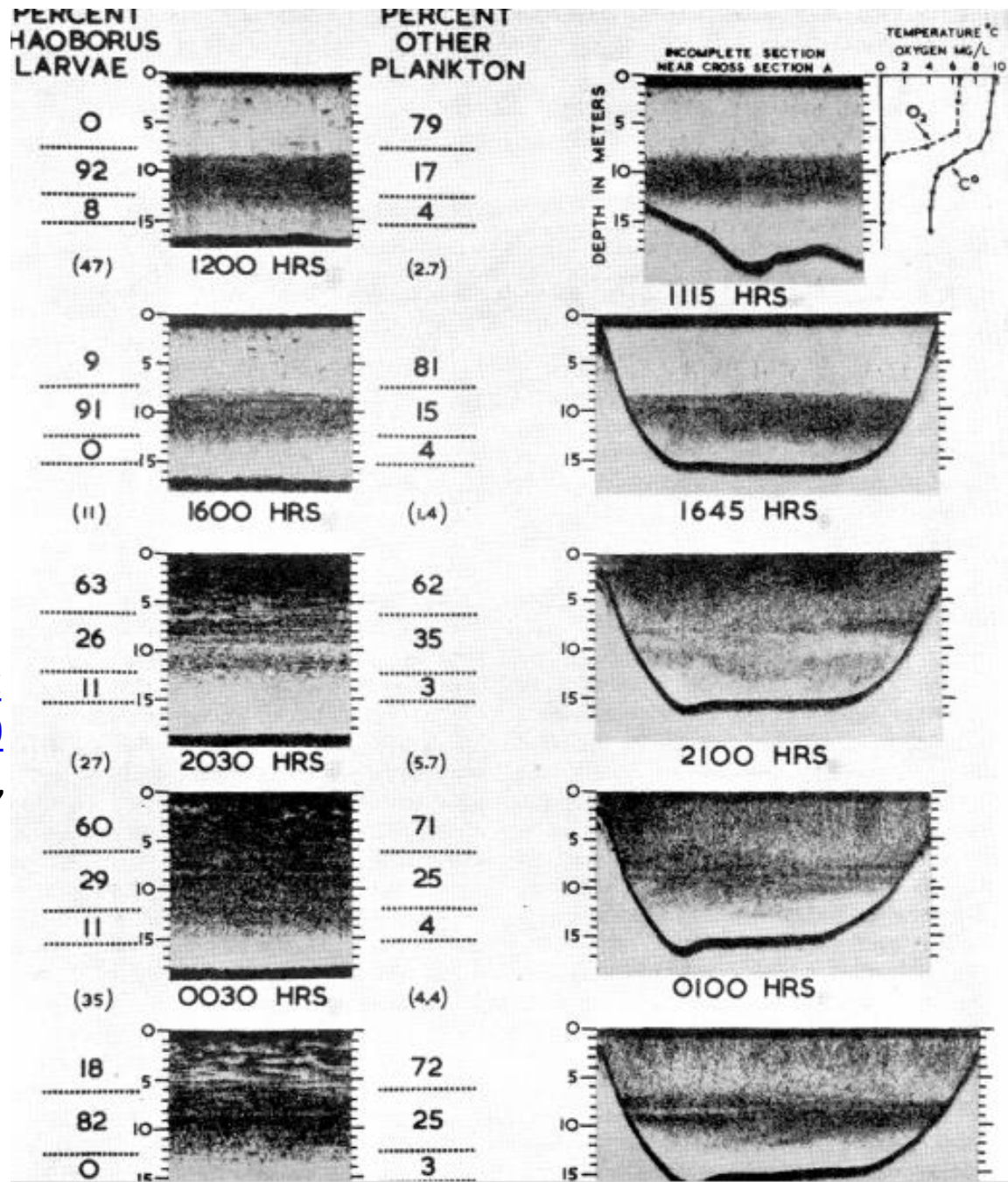
<http://deepseanews.com/2012/10/bending-sound/>

[http://misclab.umeoce.maine.edu/boss/classes/SMS\\_598\\_2005/PDFs/Physics%20Today%20October%202004-%20Shallow-Water%20Acoustics.htm](http://misclab.umeoce.maine.edu/boss/classes/SMS_598_2005/PDFs/Physics%20Today%20October%202004-%20Shallow-Water%20Acoustics.htm)

# Usos do som no oceano

- O som, ou energia acústica, envolve a vibração do meio através do qual, se propaga, deslocando-se melhor através dos sólidos e líquidos, menos bem através dos gases e não se propaga no vácuo. Ao contrário da luz, o som tem inúmeras aplicações em oceanografia:
  - - detecção e localização de cardumes e de submarinos
  - - determinação da batimetria do fundo do mar
  - - comunicações submarinas
  - - sistemas de posicionamento: indústria do petróleo
  - - controle das redes de pesca
  - - correntômetros acústicos, perfiladores de correntes
  - - dispositivos acústicos para liberação de fundeios e de amarras de embarcações

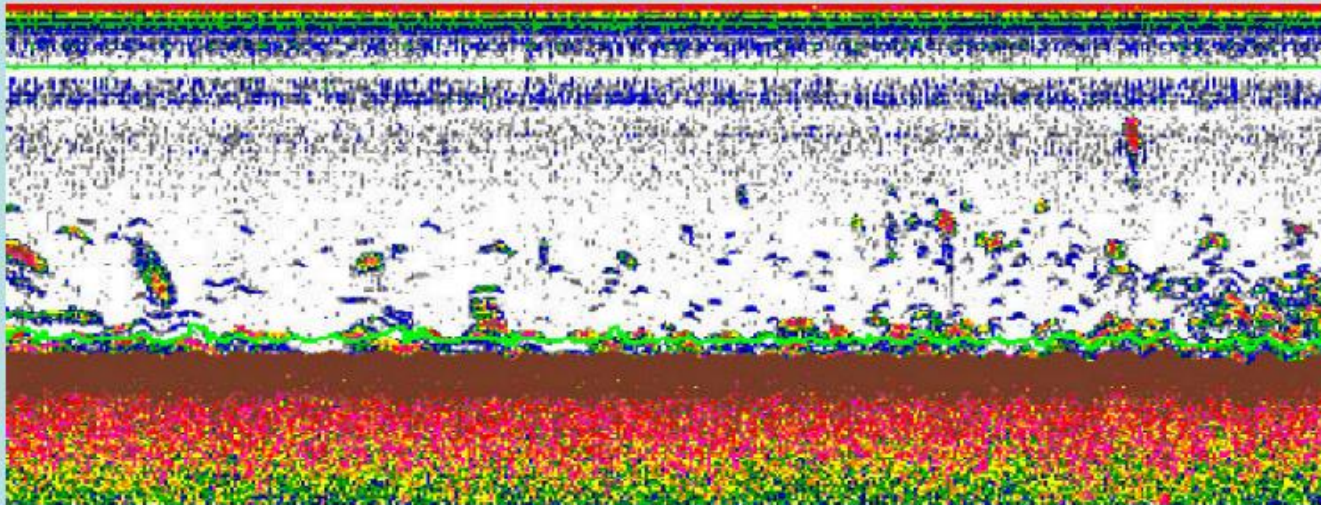




[http://aslo.org/lo/toc/vol\\_9/issue\\_1/0087.pdf](http://aslo.org/lo/toc/vol_9/issue_1/0087.pdf). Northcote, 1965



# Counting fish in the Bristol Channel/ Severn Estuary with Echosounders on Ships of Opportunity



Ian Horsfall and Rob Fidler

Institute of Environmental Sustainability  
Swansea University

Funded by Welsh Energy Research



Swansea University



Institute of  
Environment  
Sustainability

# Single Beam or Multi Beam?

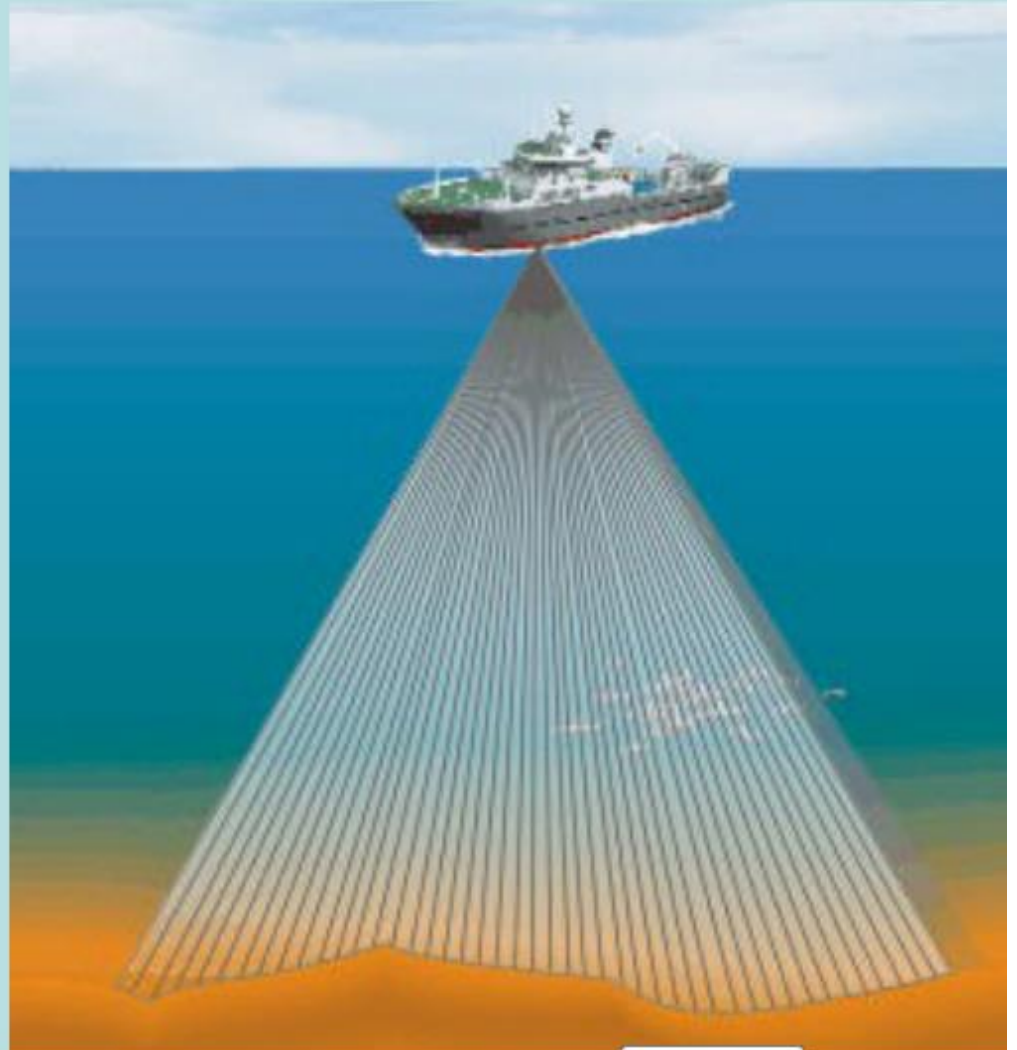
Multiple narrow sonar beams give:  
higher resolution  
wider ship track

But:

More expensive

Less ship tracks

Not multi-frequency



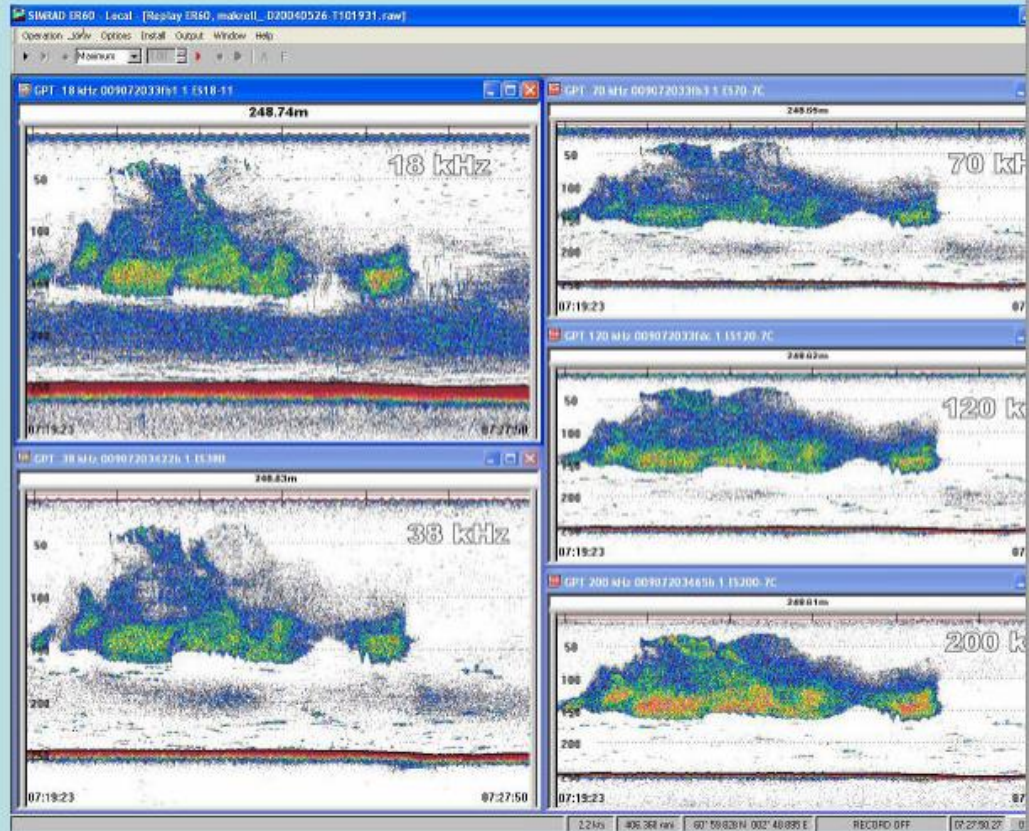


# Why Multi-Frequency?

Multiple frequencies used to identify targets

e.g. fish-jellyfish  
mackerel-cod

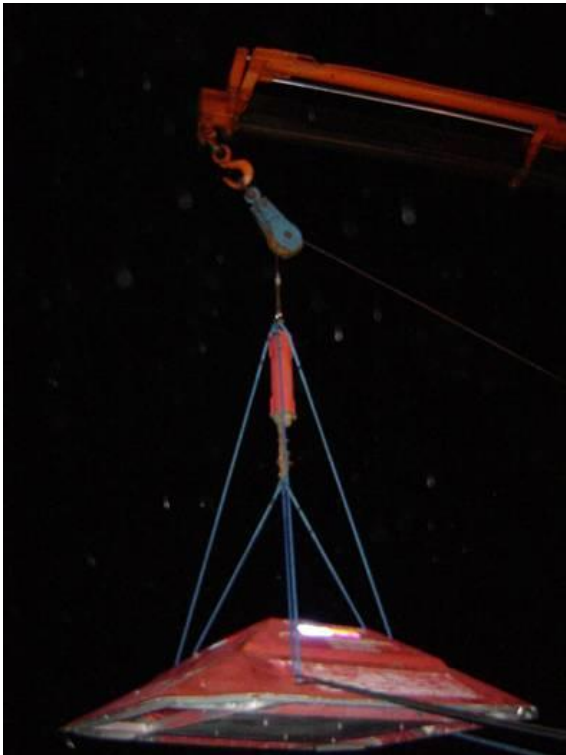
Acoustic ground discrimination now also uses several frequencies simultaneously



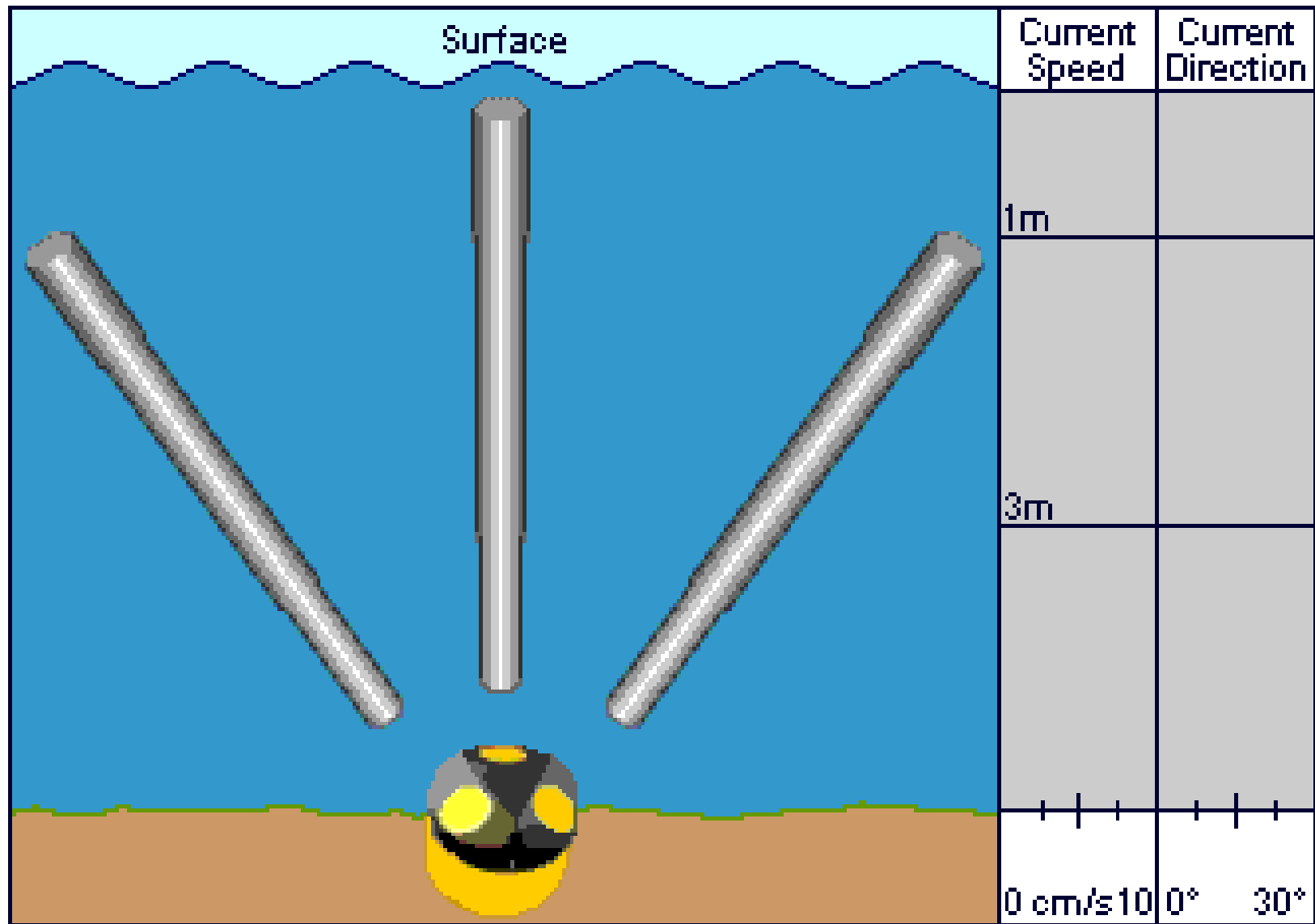


ADCP com sensor de temperatura e salinidade para cálculo da velocidade do som

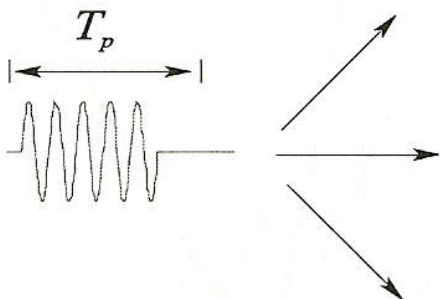
Dif. 16 ups – erro de 1% nas medições de velocidade de corrente







transmitted  
pulse  $F_0$



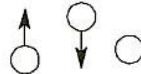
target moving  
towards



moving away



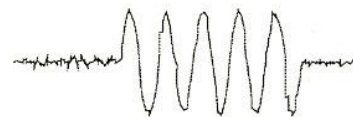
stationary or  
moving across



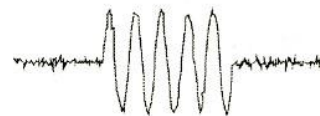
received signal  $F_D$



$$F_D < F_0$$



$$F_D > F_0$$



$$F_D = F_0$$

SonTek, Inc

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

V - velocidade relativa entre fonte e alvo

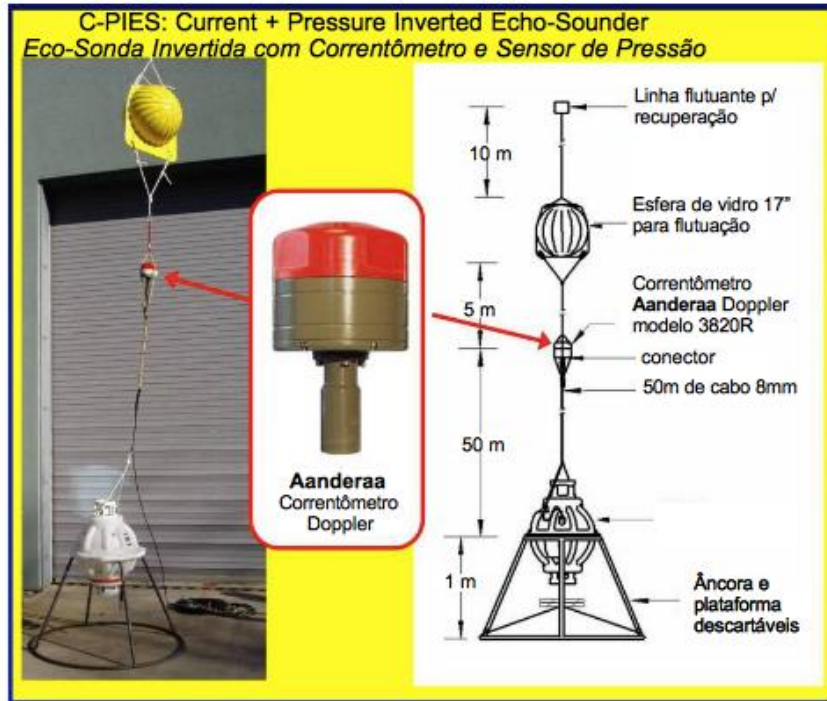
C - velocidade de propagação do som

$F_S$  - freqüência de transmissão do som

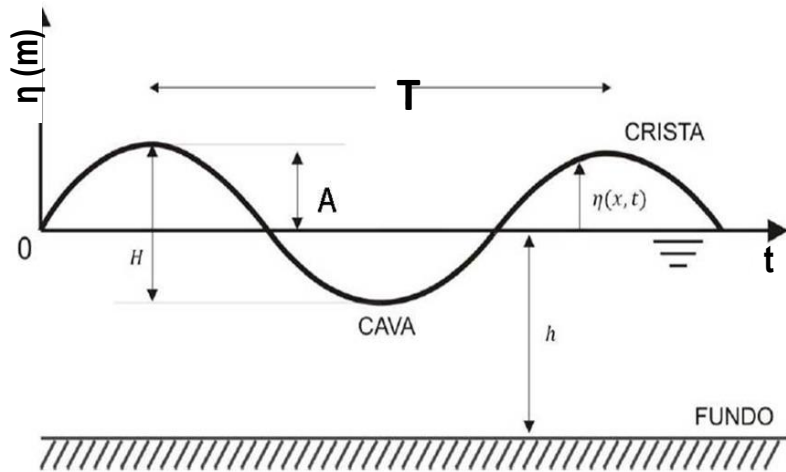
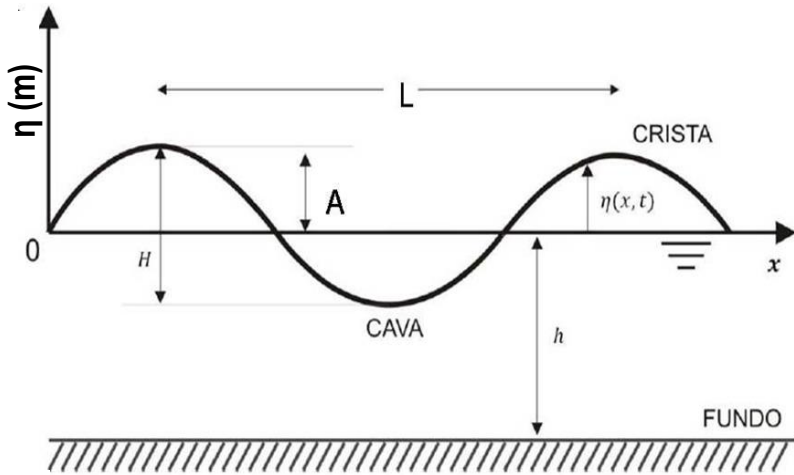
$F_D$  - mudança na freqüência de transmissão (Efeito Doppler)



Foto: Chico Vicentini







As ondas sonoras são caracterizadas pela sua amplitude (intensidade ou altura do som) e pela frequência ( $f=1/T$ ) ou comprimento de onda ( $L$ ). A velocidade de propagação é:

$$C = f \cdot L = L/T$$

Os comprimentos de onda do som com interesse em oceanografia vão de 50m a 1mm que, se a velocidade média do som na água do mar for 1500m/s corresponde a frequências entre 30Hz e 1,5MHz.

Assim como a luz, o som é atenuado e dispersado (scattering)

# Assim como a luz, o som é atenuado e dispersado (scattering)

Propagação do Som é isotrópica – forma uma esfera com centro na fonte. A perda de energia ocorre à medida em que o som se afasta da fonte causada por:

a) – **espalhamento** – proporcional ao quadrado da distância percorrida. É independente da frequência

b) - **Atenuação** = Absorção + dispersão

b1) Absorção- conversão da energia acústica em calor e energia química – reação com sais (MgSO<sub>4</sub>) – relaxação – depende da frequência

b2) Dispersão causada pela reflexão com material em suspensão, bolhas, organismos

# Como se mede a velocidade do som na água do mar?

The First Measurement of Sound Speed in 1826





A velocidade do som (c): de quais fatores depende?

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

E- módulo de elasticidade  
K – coeficiente de compressibilidade  
 $\rho$  - densidade

$$E = \frac{1}{K}$$

$$c_{s,t,p} = \sqrt{\frac{1}{K_{(s,t,p)} \rho_{(s,t,p)}}}$$

A velocidade do som é diretamente proporcional à salinidade ( $K \gg \rho - 1$  ups  $\rightarrow 1,3$  m/s), à temperatura pela variação de  $\rho$  ( $1^\circ\text{C} \rightarrow 3$  m/s) e à pressão ( $K \gg \rho - 100$  m  $\rightarrow 1,8$  m/s)

$$c = 1410 + 4,21T - 0,037T^2 + 1,14S + 0,018d$$

T – temperatura ; S – salinidade ; d – profundidade; c – m/s

$$c = 1410 + 4,21T - 0,037T^2 + 1,14S + 0,018d$$

T – temperatura ; S – salinidade ; d – profundidade; c – m/s – 6°C a 17°C

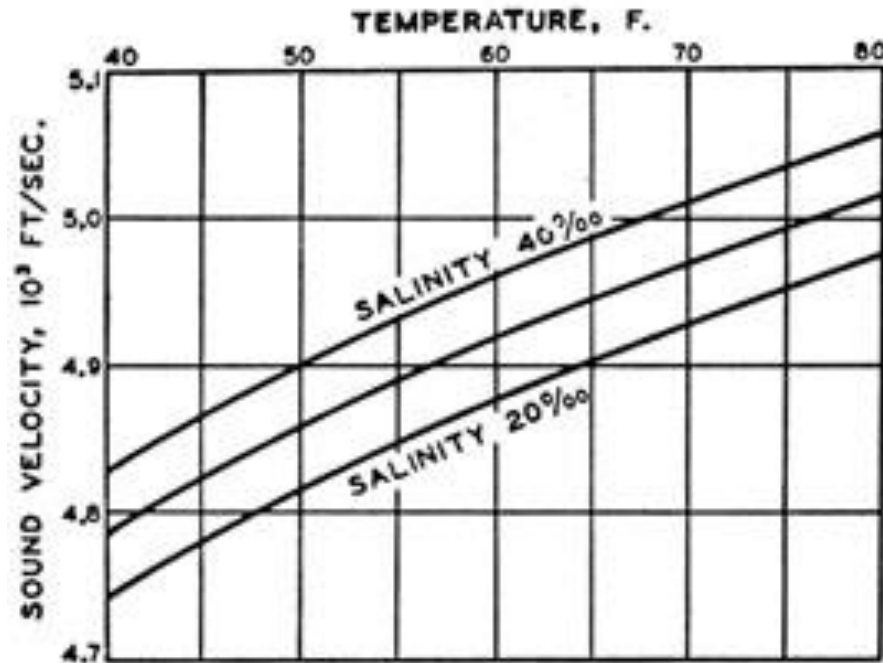
Fórmula de Wilson (1960)

$$C = 1449.2 + C_t + C_p + C_s + C_{stp} \rightarrow C - \text{polinômios}$$

$$C_{S,T,P} = C_w(T, P) + A(T, P)S + B(T, P)S^{3/2} + D(T, P)S^2 \quad (9)$$

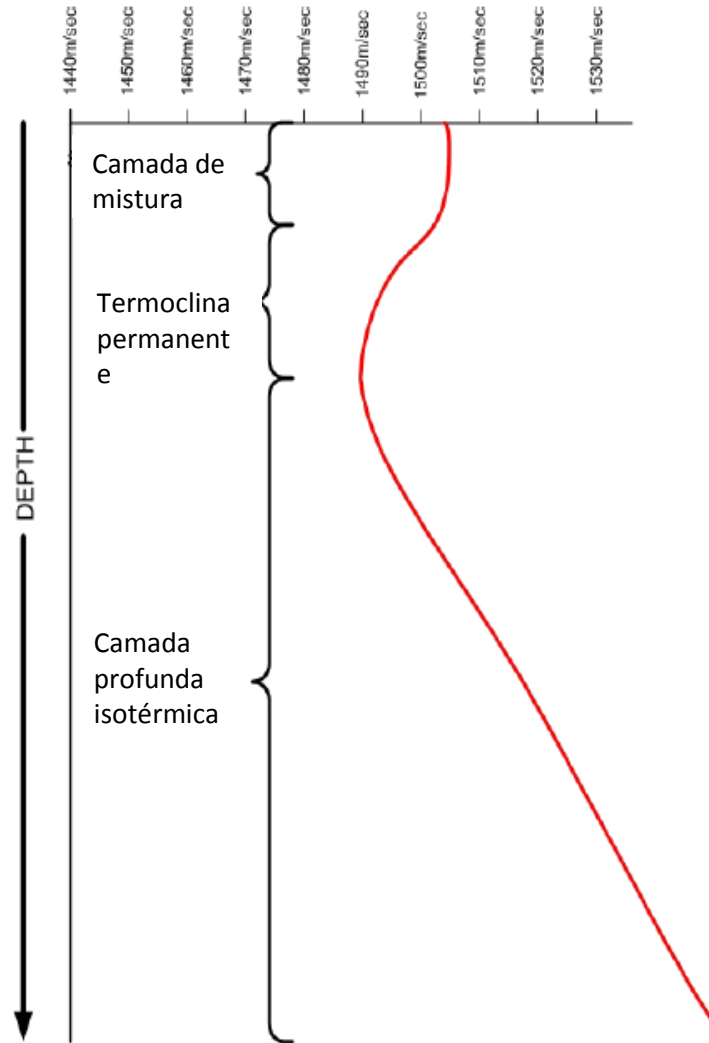
$C_w$ ,  $A(T,P)$ ,  $B(T,P)$   $D(T,P)$  são calculados através de polinômios e T, P e S são, respectivamente a temperatura em graus centígrados, a pressão em bar e a salinidade. A equação é válida para: a) temperatura entre 0°C e 40°C; b) salinidade entre 0 e 40 unidades e pressão entre 0 e 1000 bar (~10.000 m).

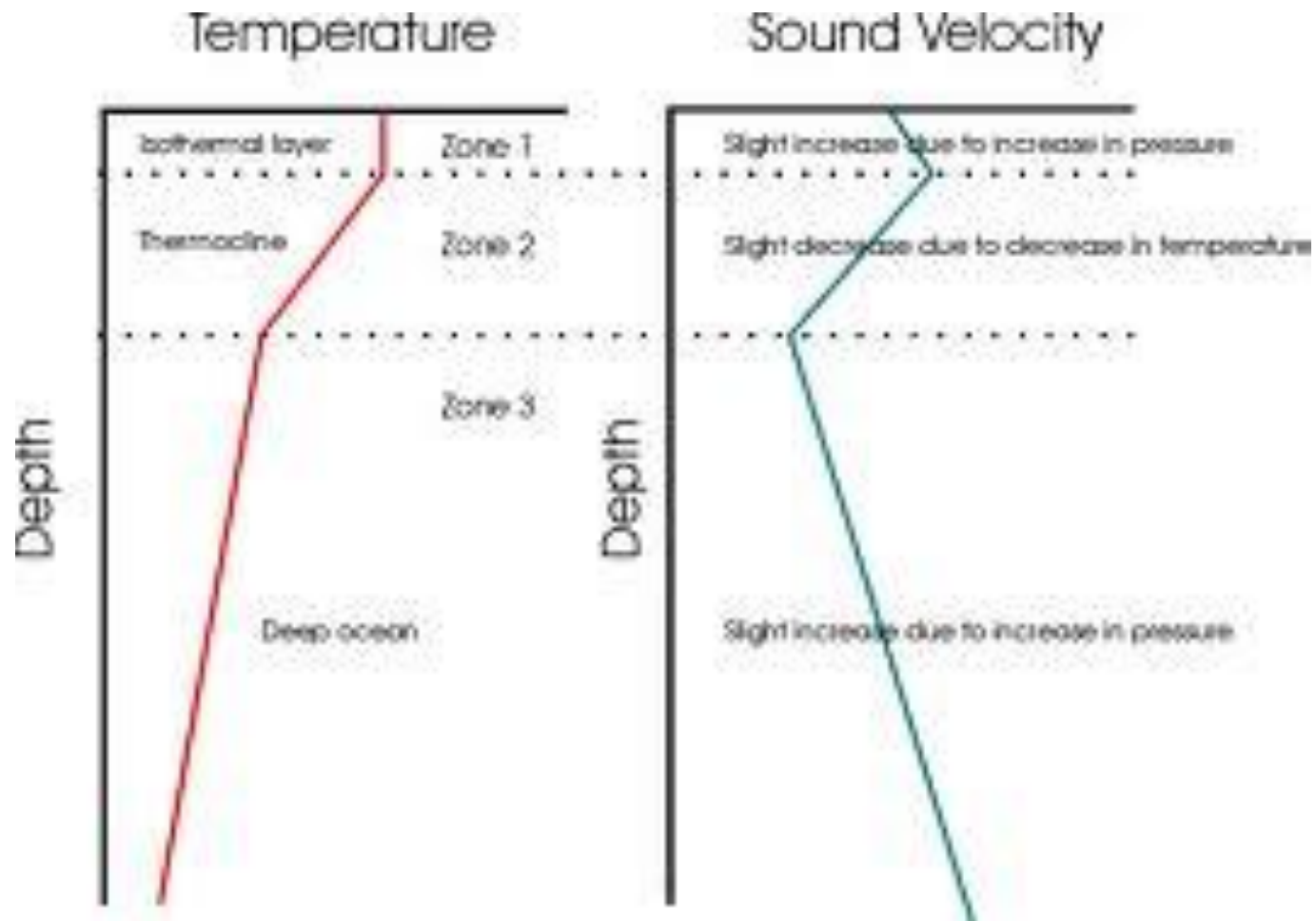
# Relações velocidade do som como função de Temp. e Sal.





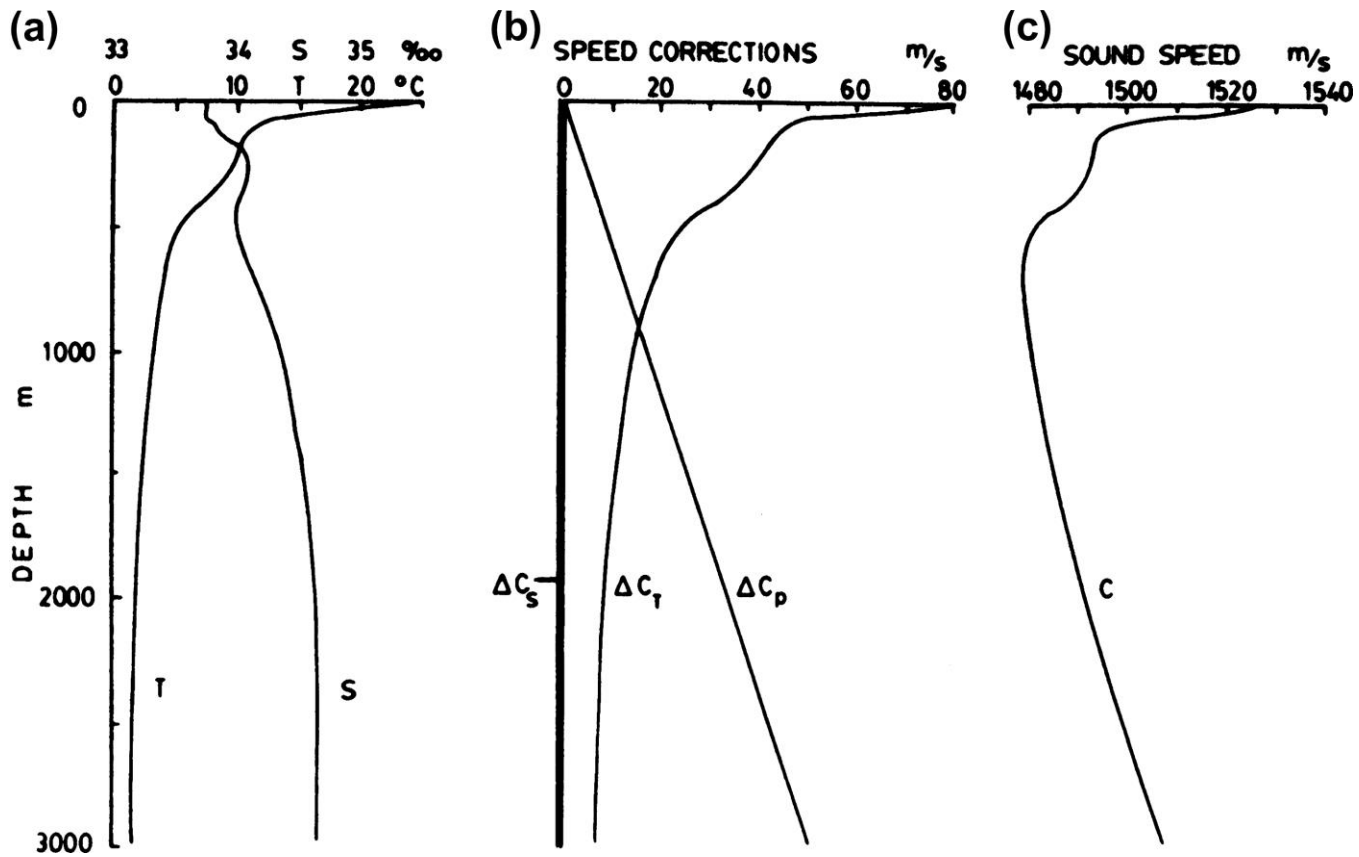
Quem causa este tipo de perfil vertical de velocidade do som para médias latitudes?



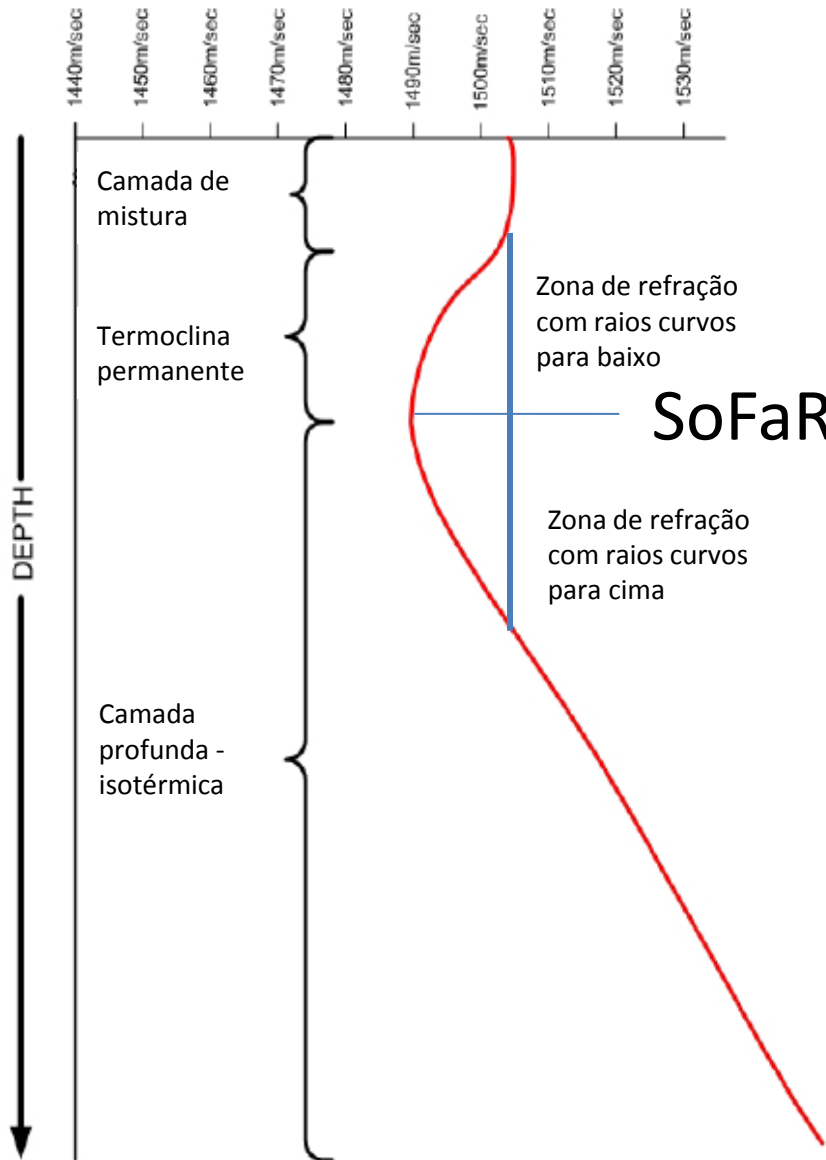


Como fica um perfil de velocidade do som em altas latitudes?

Quais as consequências desses perfis?



For station Papa in the Pacific Ocean at 39°N, 146°W, August, 1959: (a) temperature (°C) and salinity (psu) profiles, (b) corrections to sound speed due to salinity, temperature, and pressure, (c) resultant in situ sound-speed profile showing sound-speed minimum (SOFAR channel).



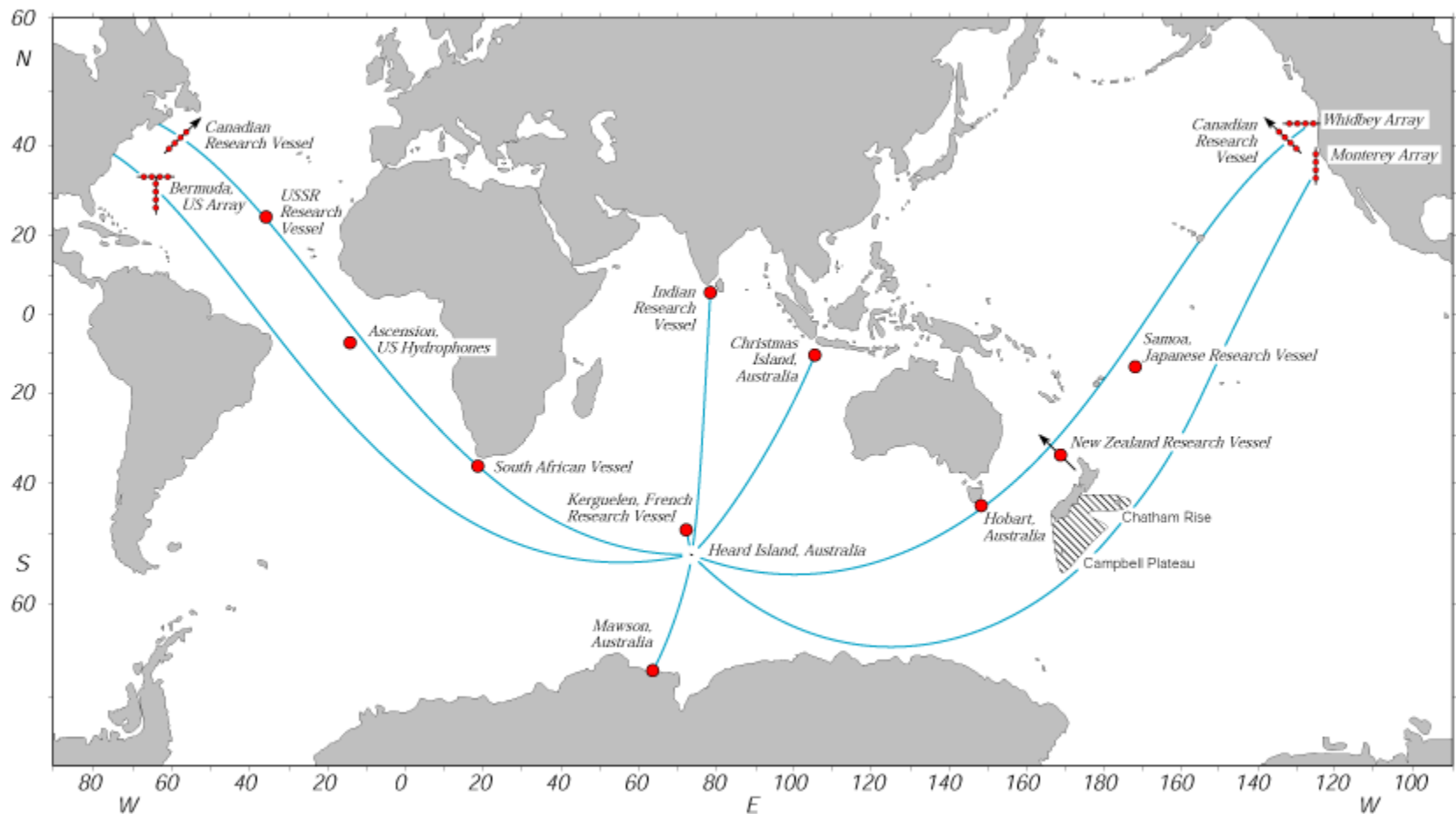
# SoFaR – Sound Fixing and Ranging

Zona de refração com raios curvos para baixo

Zona de refração com raios curvos para cima

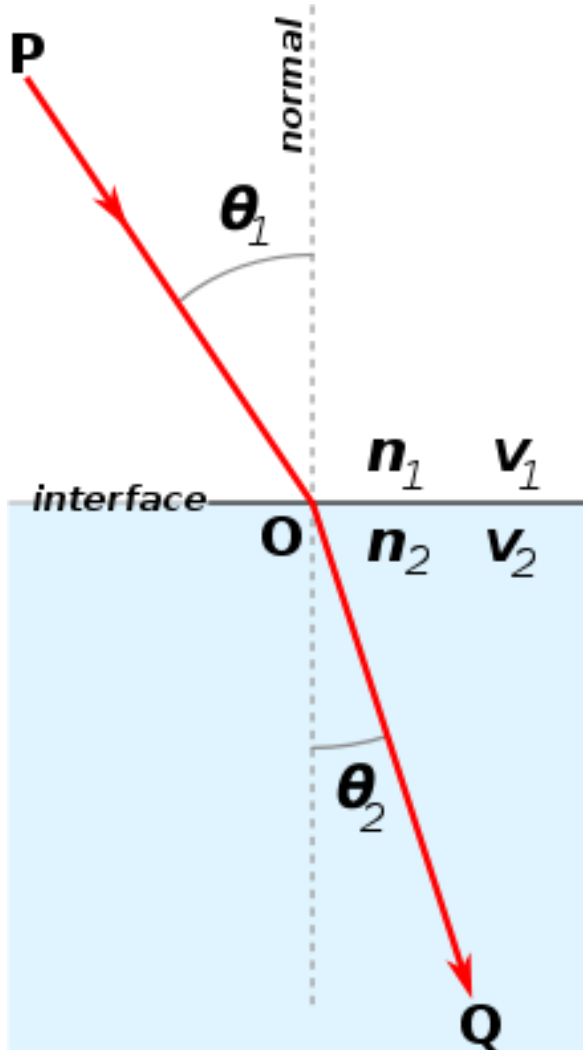
## SOFAR – sistema de posicionamento e distância por som – Canal SOFAR

é uma região de águas profundas no [oceano](#), centrado sobre o local onde a [velocidade do som](#) é mínima. O canal SOFAR atua como um guia de ondas para a [acústica](#) e [ondas de som](#) de baixa frequência. Dentro do canal elas podem viajar milhares de [milhas](#) antes de dissiparem-se.<sup>1</sup> Esse fenômeno é um fator importante na guerra submarina. O canal de som profundo foi descoberto e descrito independentemente pelo Dr. [Maurice Ewing](#) e [Leonid Brekhovskikh](#) na [década de 1940](#). (Wikipedia)





## As leis de Snell



$$\alpha_i = \alpha_r \rightarrow \text{reflexão}$$

refração

$$\text{sen } \theta_i \cdot n_i = \text{sen } \theta_r \cdot n_2$$

$$\frac{\text{sen } \theta_i}{\text{sen } \theta_r} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

Se  $v_2 > v_1$  – o raio se afasta da normal

$n$  – índice de refração

$V$  – velocidade do som na camada 1 e 2

$i$  e  $r$  referem-se aos ângulos de incidência e refração

Se  $v_2 > v_1$  – o raio se afasta da normal  
 $n$  – índice de refração  
 $V$  – velocidade do som na camada 1 e 2  
 $i$  e  $r$  referem-se aos ângulos de incidência e refração

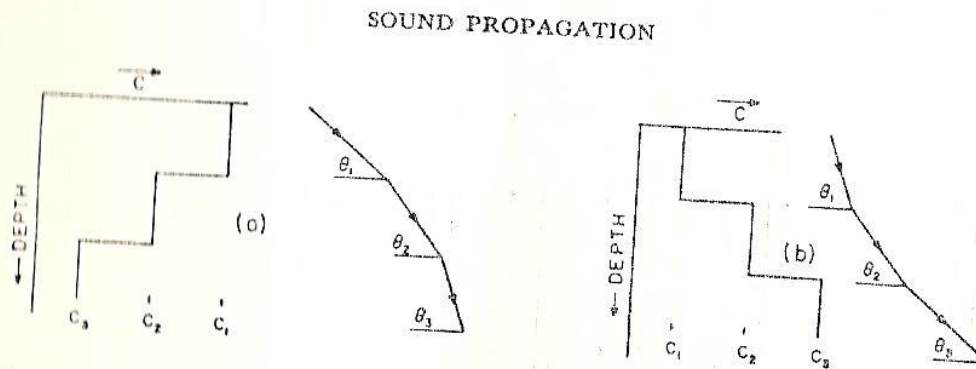
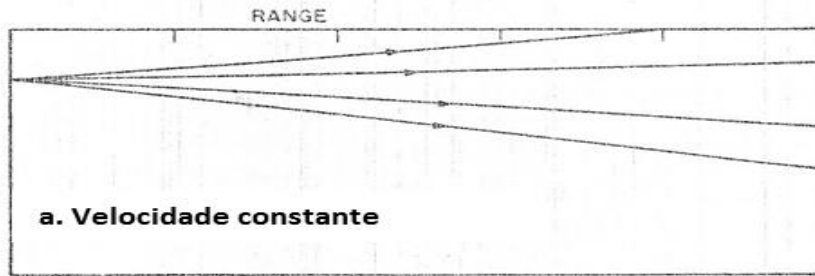
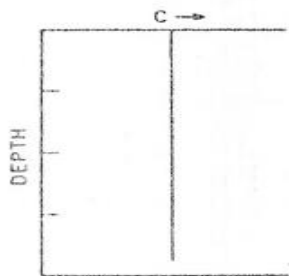
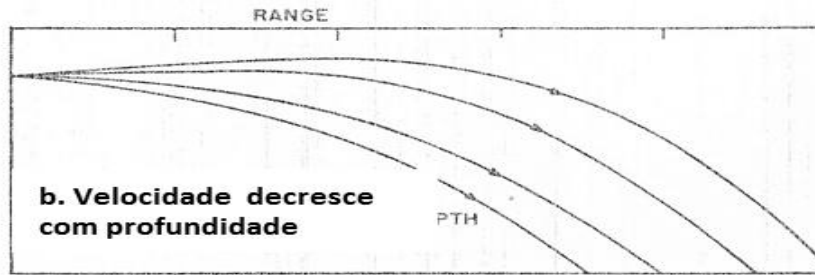
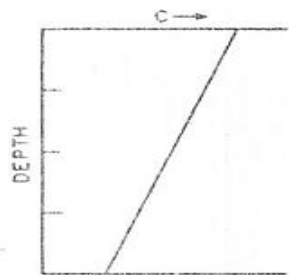


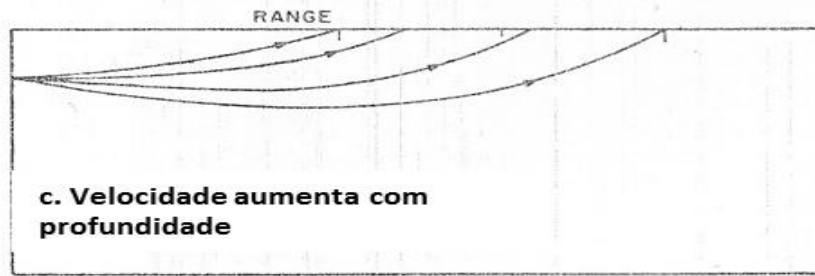
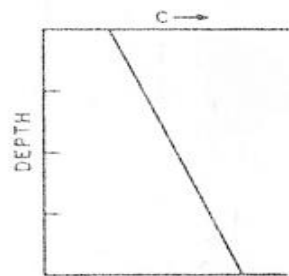
Fig. 16.3 Refraction of ray travelling into regions of progressively lower (a) and higher (b) propagation speed.



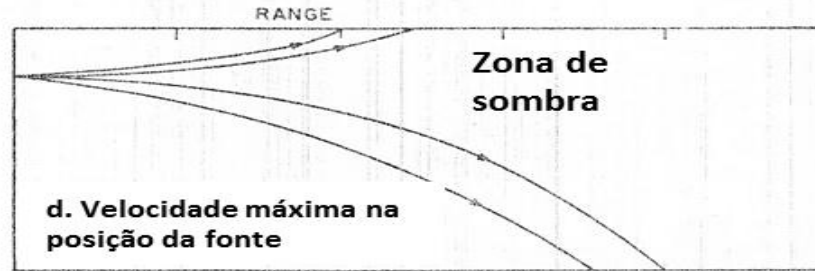
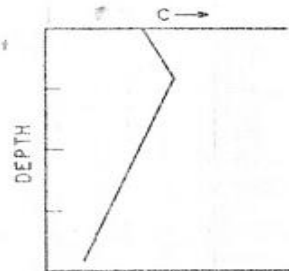
**a. Velocidade constante**



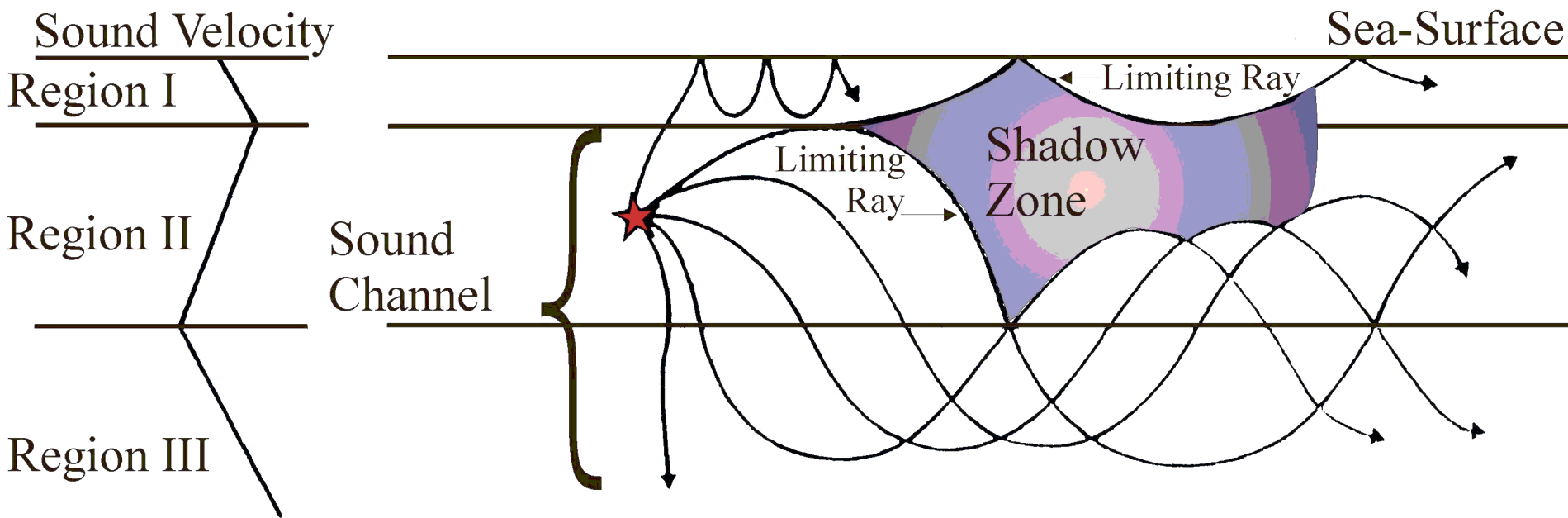
**b. Velocidade decresce com profundidade**



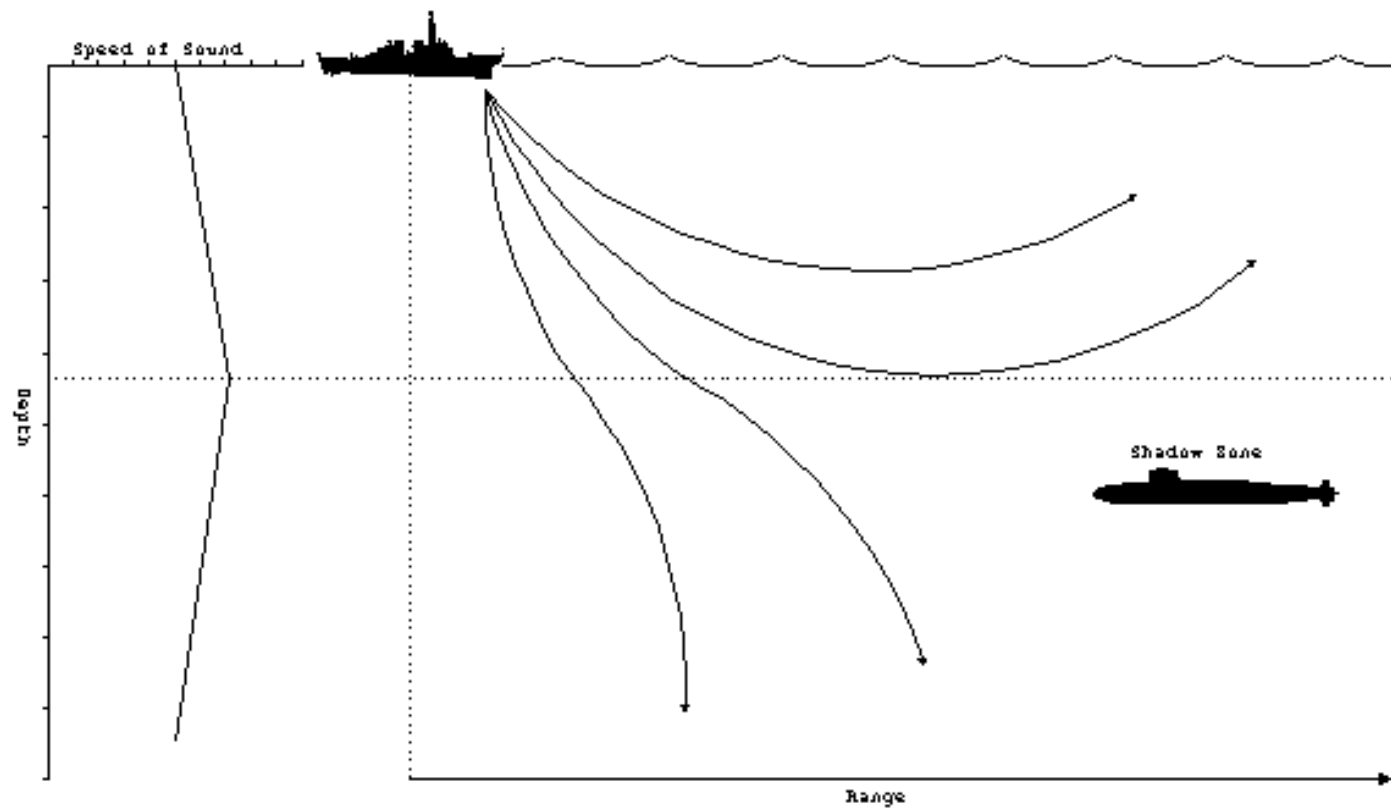
**c. Velocidade aumenta com profundidade**



**d. Velocidade máxima na posição da fonte**

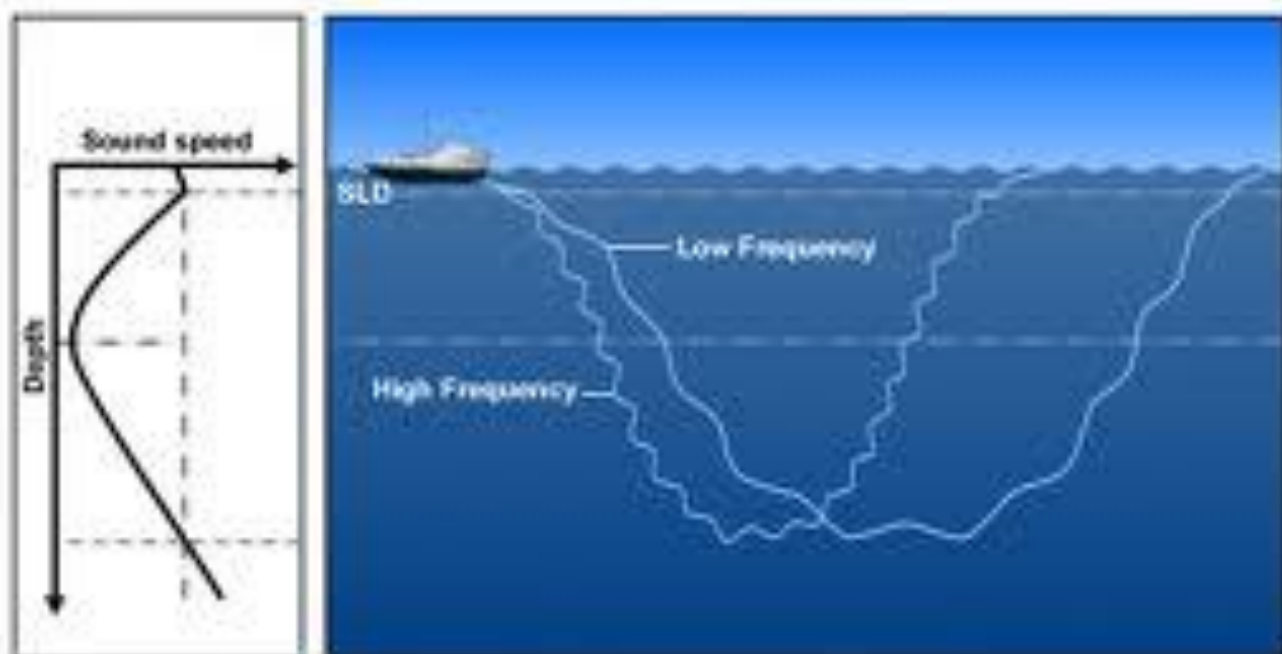


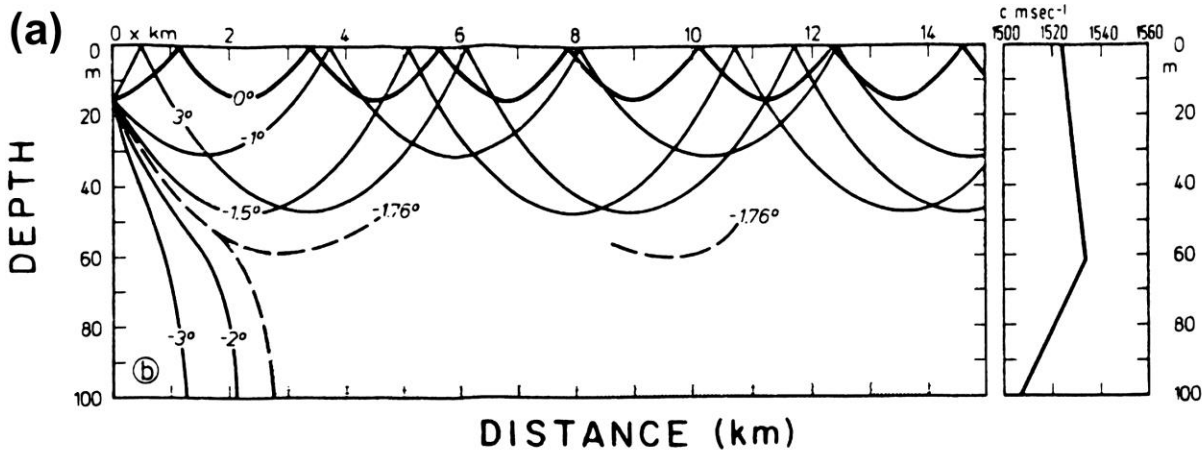
A intensidade da zona de sombra depende da posição da fonte



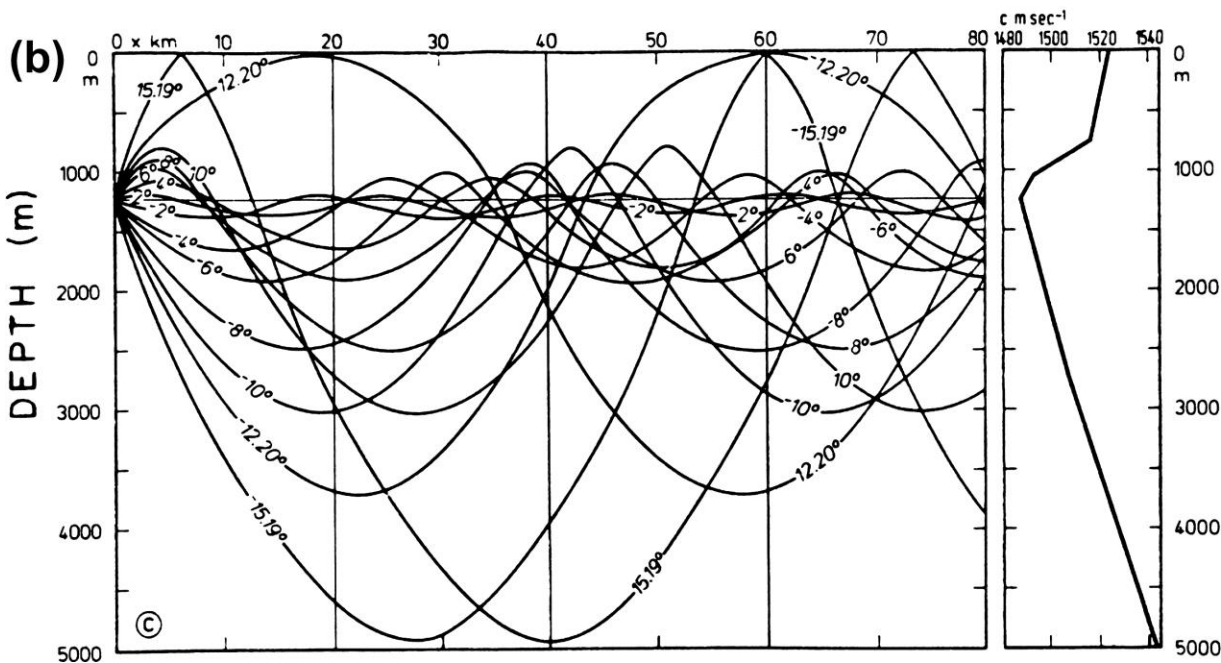


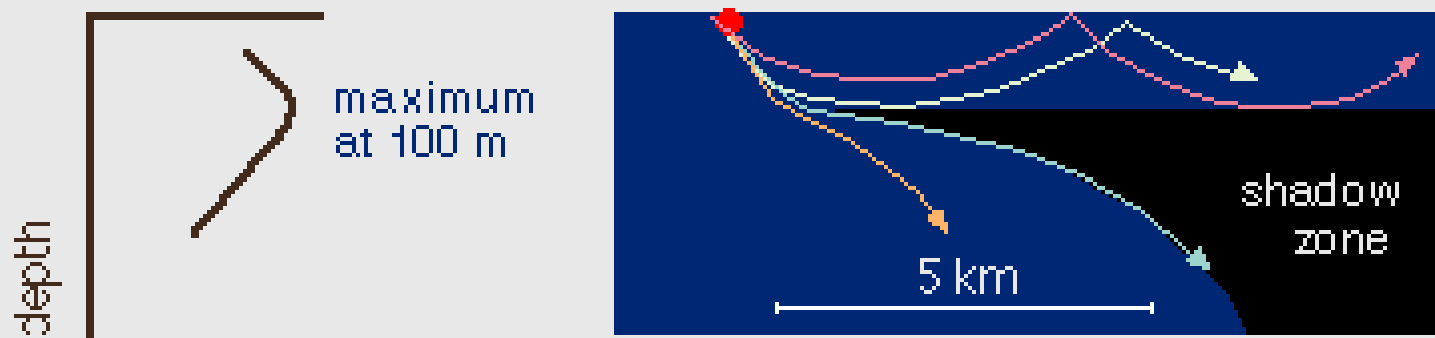
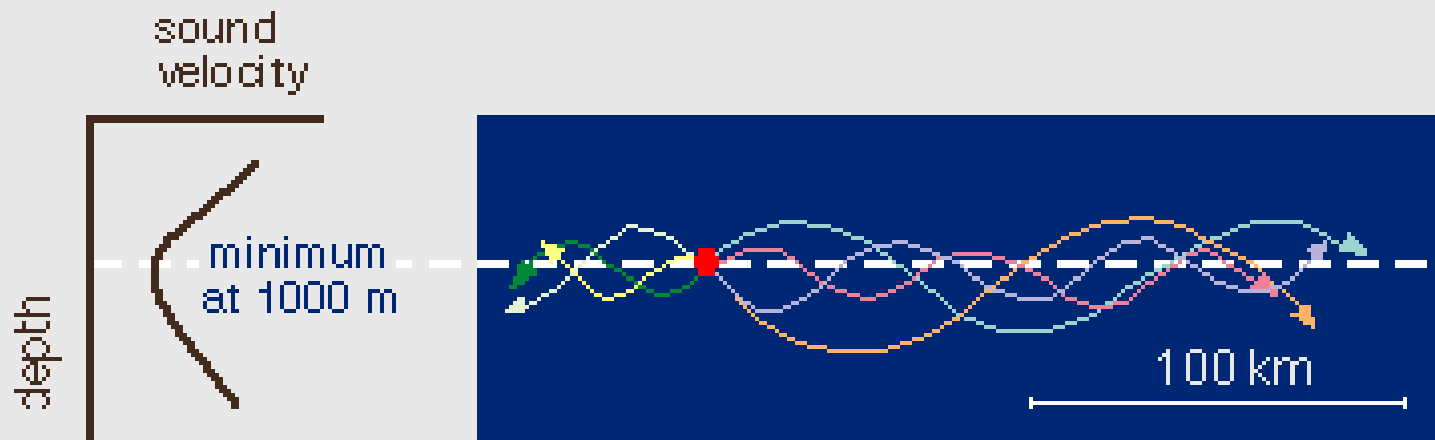
## Effect of Frequency on Sound Propagation and the Convergence Zone (CZ)

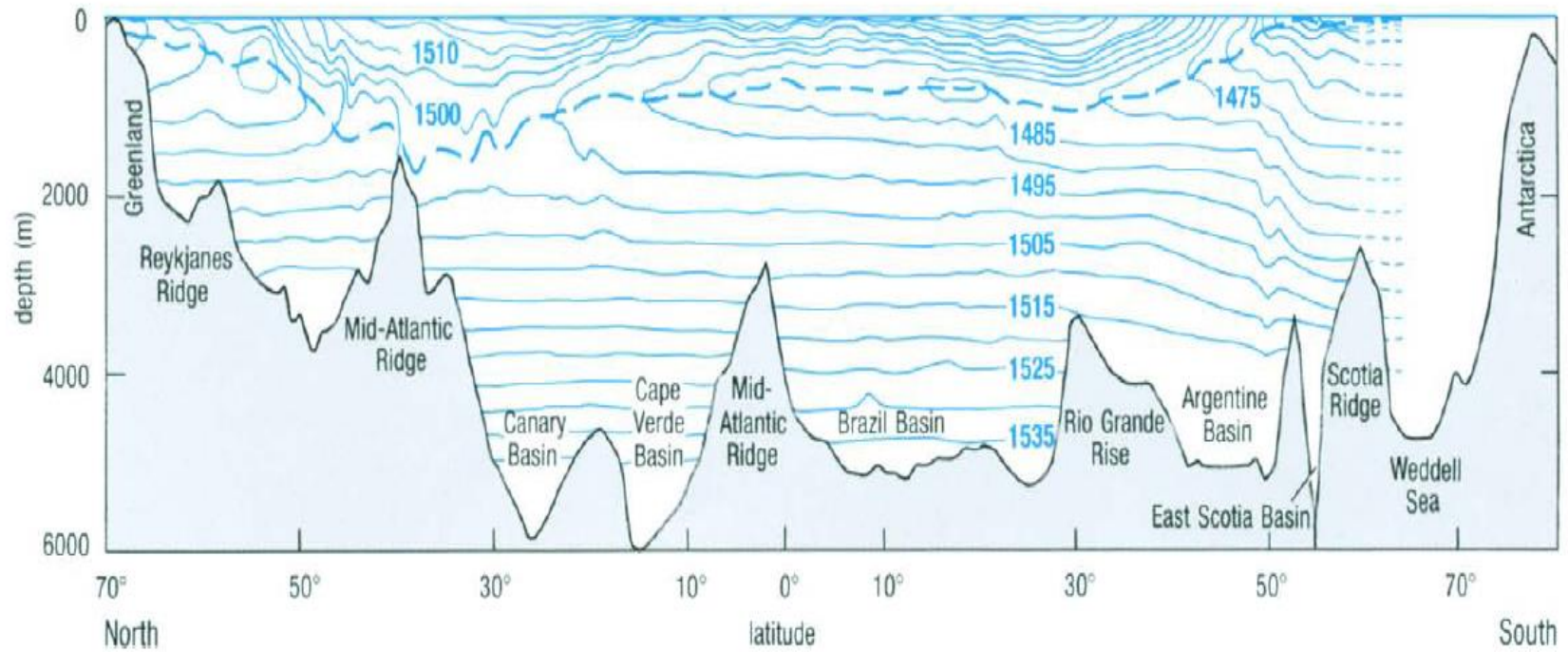


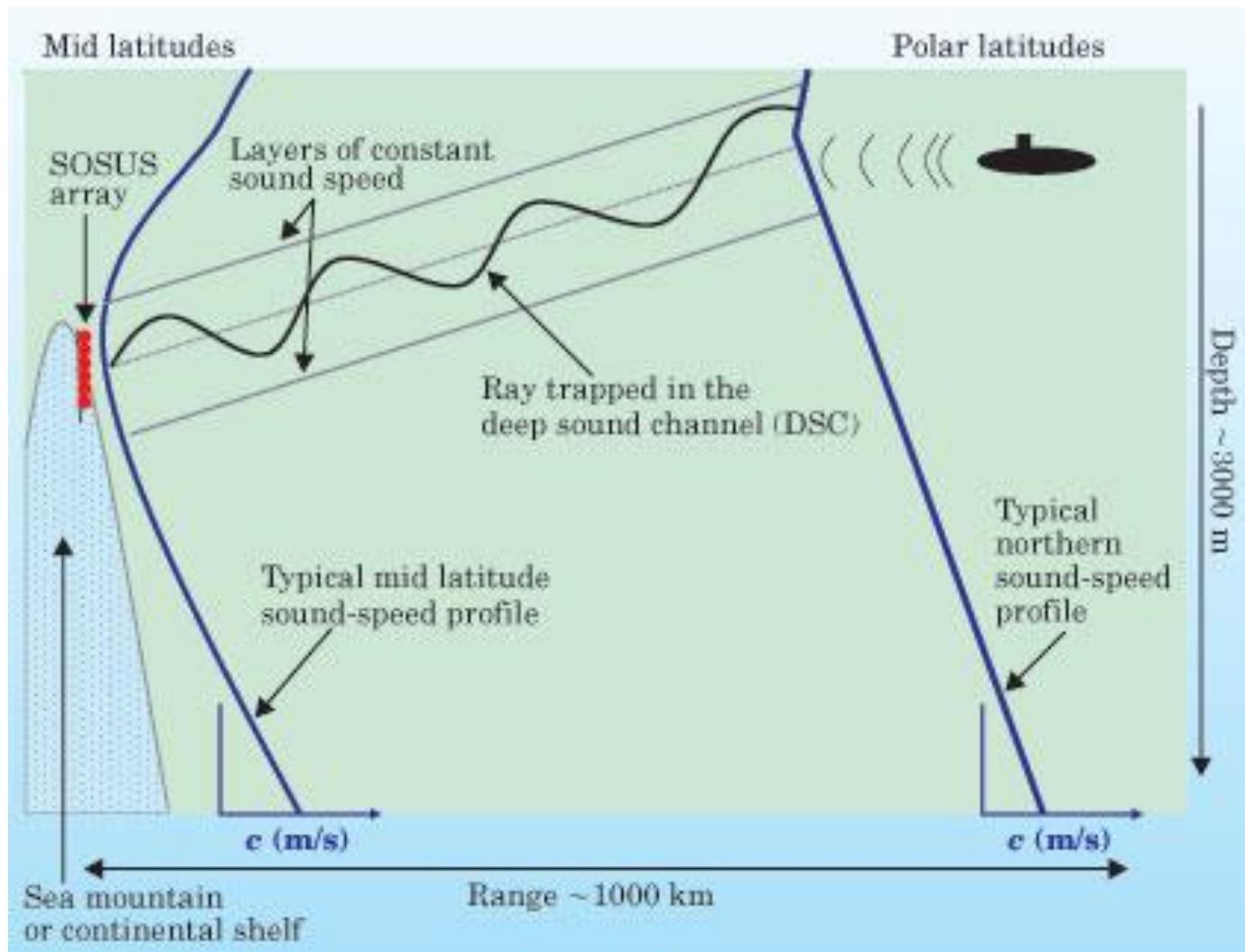


Sound ray diagrams: (a) from a shallow source for a sound-speed profile initially increasing with depth in upper mixed layer to a shallow minimum and then decreasing, and (b) from a sound source near the speed minimum in the sound channel for a typical open ocean sound-speed profile.



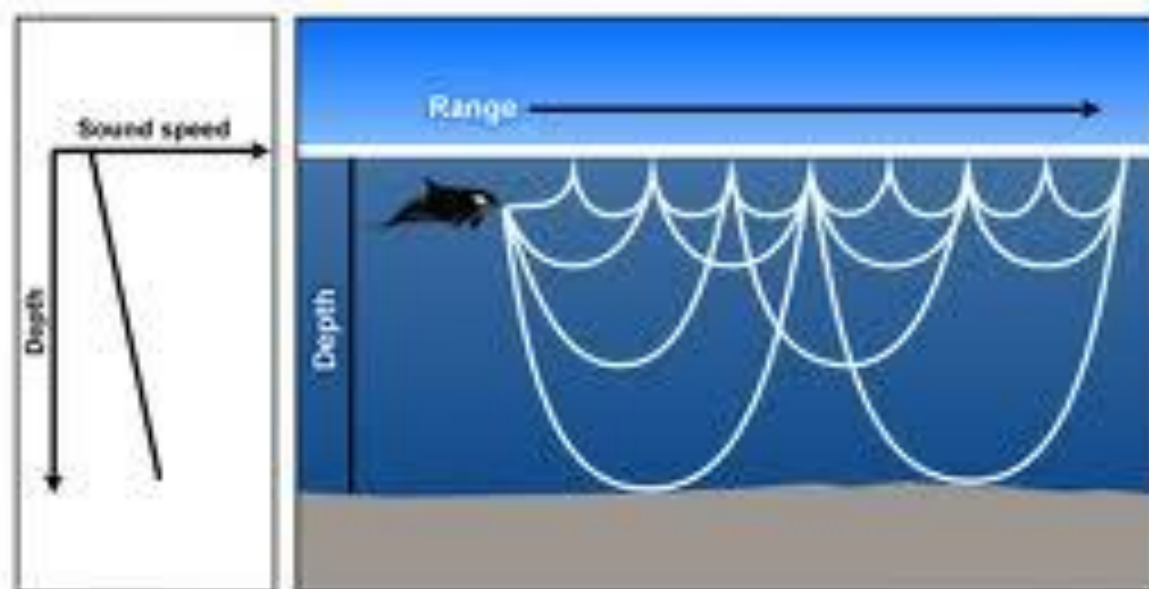








## Sound Propagation Paths in the Arctic Ocean



# Propagação da Luz na Água do Mar

Onde usar luz no mar?

- Processos de variação da luz com produção fitoplânctonica;
- Determinação de propriedades da coluna de água: concentração de fitoplâncton; oxigênio dissolvido; concentração de material em suspensão; CDOM; concentração de nutrientes (nitrato absorve UV); sensoriamento remoto – calibração de sensores com dados de mar.

# Como vocês acham que a radiação solar pode influenciar os oceanos???

- Aquecimento das camadas superficiais (Faixa do infravermelho termal)
- correntes e ondas

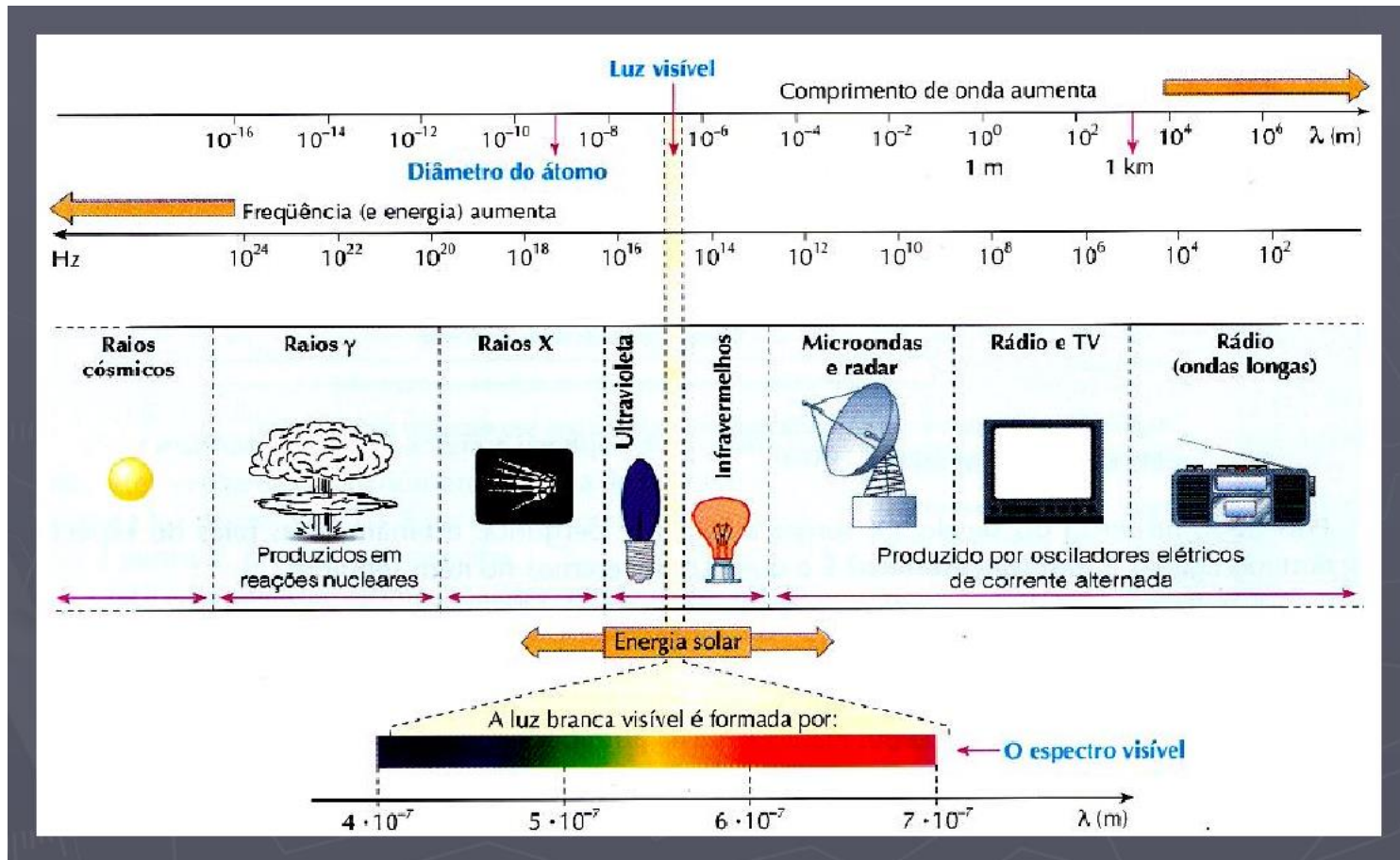
## E a radiação visível ou luz visível???

- Fotossíntese => fitoplâncton
- Fotodegradação=> matéria orgânica

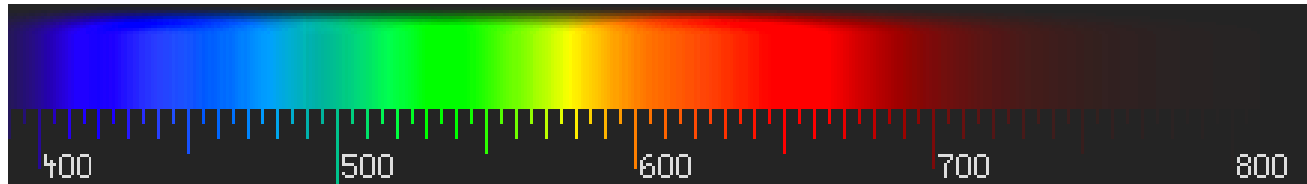


- Sol → Luz visível

O Sol é a fonte de luz visível mais comum que conhecemos.  
Ele emite radiação em todo o espectro eletromagnético

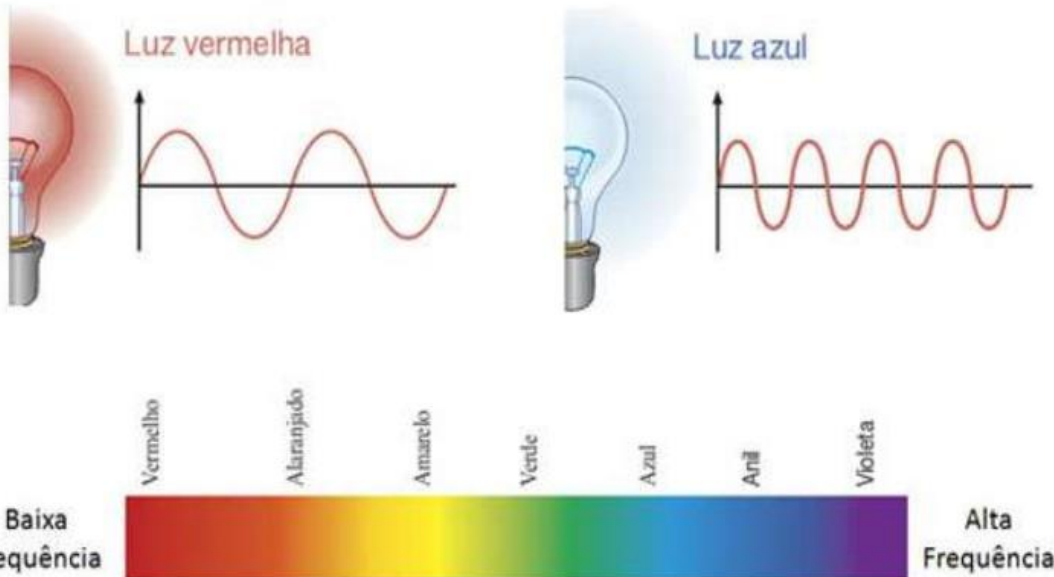


# LUZ VISÍVEL



Comprimento de onda =  $\lambda$   
Unidade:  $10^{-9}$  metros = 1 nanômetro (**nm**) = 10 Ångstroms (Å)

**Cor da Luz**  
A cor da luz está relacionada com a frequência de vibração da onda luminosa:



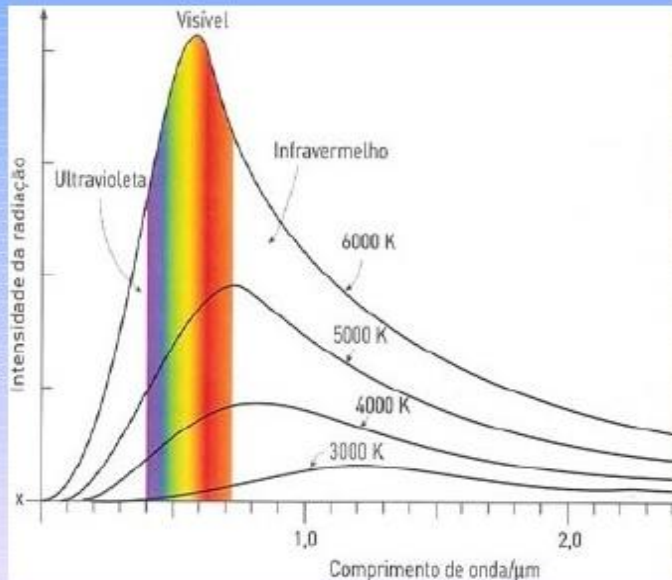
Cor	Comprimento de onda
Vermelho	~ 625-740 nm
Laranja	~ 590-625 nm
Amarelo	~ 565-590 nm
Verde	~ 500-565 nm
Ciano	~ 485-500 nm
Azul	~ 440-485 nm
Violeta	~ 380-440 nm



# ***A radiação emitida pelo sol é mais intensa na região que definimos como visível com um pico de emissão no amarelo. Porquê???***

Segundo a Lei de Wien : "*Para um corpo negro, o produto do comprimento de onda da radiação mais intensa pela temperatura absoluta é uma constante, de valor igual a  $2,898 \times 10^{-3} \text{ m K.}$ "*

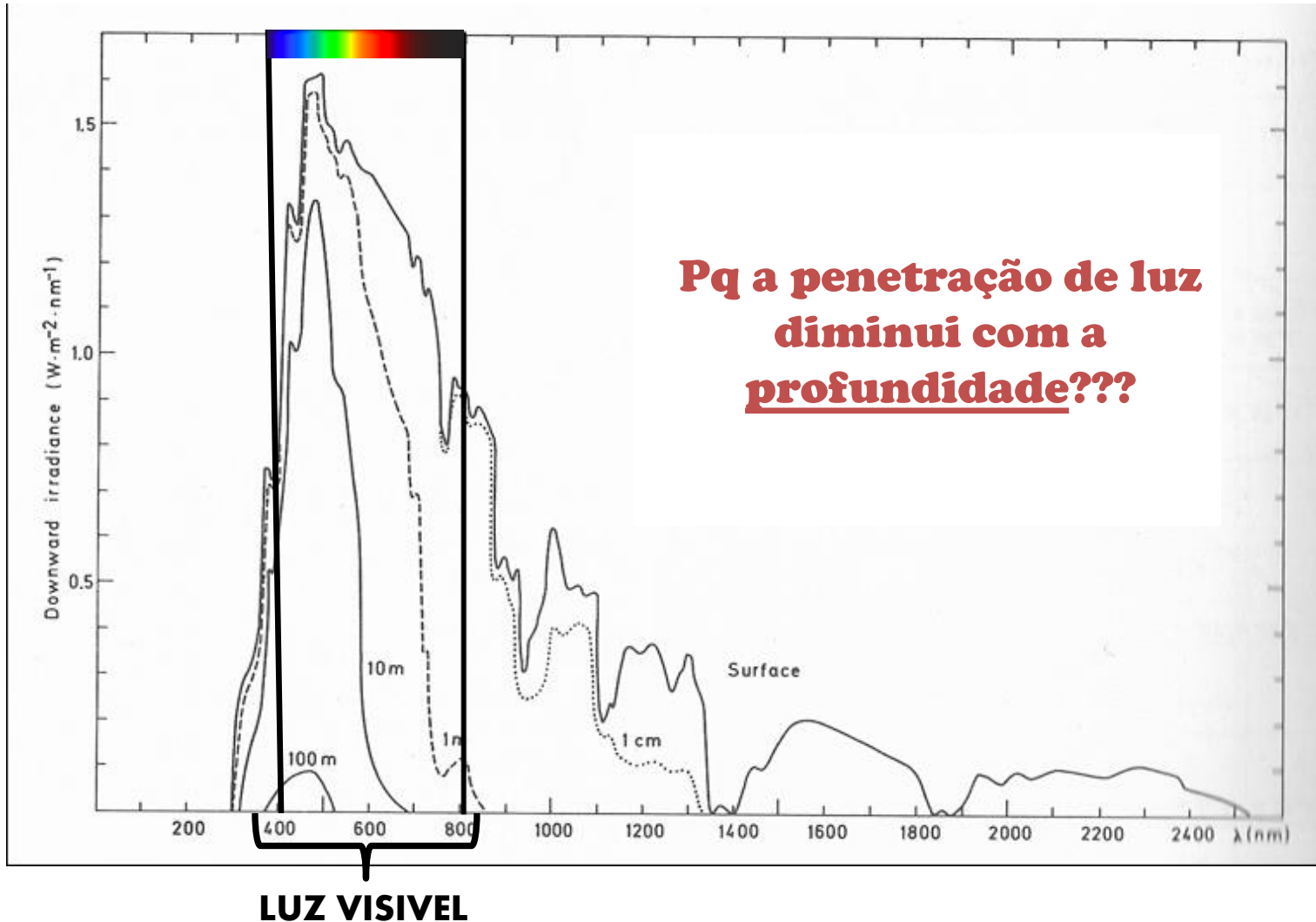
## **•Lei de Wien**



$$\lambda_{max} = \frac{0,0028976}{T}$$

surve) radiação  
 A temperatura do SOL está  
 forma que: toda  
 entre 5000 a 6000k  
 em todos os  
 resultando em um pico  
 radiação possível  
 máximo de emissão próximo  
 ao amarelo (550nm).  
 e da direção. O  
 os. Portanto, as  
 radiação solar e

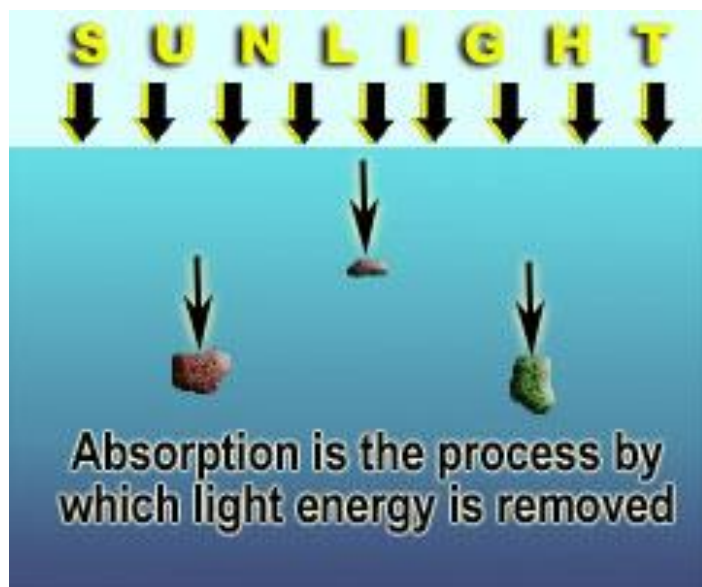
*O espectro de energia da radiação incidente no mar para superfície, 1cm, 1m, 10m e 100 m de profundidade.  
(Jerlov,1976)*



A luz visível sofre alterações, ou seja é **atenuada** (minimizada, reduzida, diminuída enfraquecida), ao encontrar corpos de água devido a interação entre a radiação eletromagnética com a massa de água.

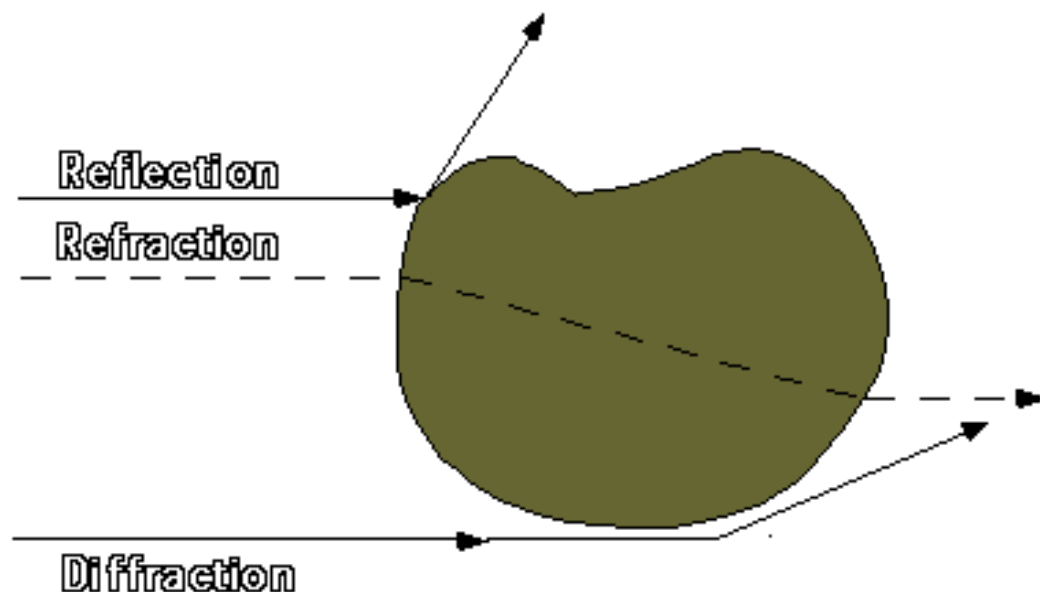
Essa interação se dá através de processos como **absorção** e **espalhamento**.

### Absorção $a(\lambda)$



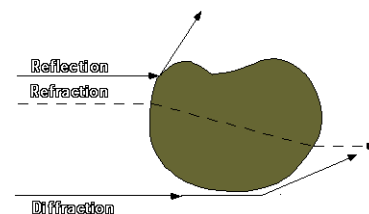
Conversão dos fótons de energia luminosa a outros tipos de energia (térmica, química, etc). Exemplo: Fotossíntese

### Espalhamento $b(\lambda)$



Causas do espalhamento:

- Reflexão
- Refração
- Difração



Atenuação  $c(\lambda) = \text{Absorção } a(\lambda) + \text{Espalhamento } b(\lambda)$



**Propriedades ópticas inerentes = IOP**

A absorção e o espalhamento caracterizam as principais IOP, ou seja propriedades cuja as magnitudes resultam dos componentes óticos do meio aquático independentemente da distribuição do campo de luz radiante. (Preisendorfer, 1961)

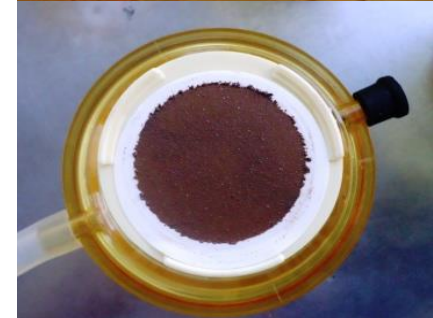
# Atenuação da luz = Absorção + Dispersão

- 1 - Absorção - Corresponde a transformação da energia eletromagnética em outras formas de energia, usualmente calor ou energia química (Fotossíntese).
- Os absorvedores na água são os seguintes:
  - (a) Algas (fitoplâncton) que usa a luz como fonte de energia para realização da fotossíntese.
  - (b) Matéria particulada de origem orgânica e inorgânica em suspensão .
  - (c) Compostos orgânicos dissolvidos.
  - (d) As moléculas de água
- 2 – Dispersão/Espalhamento - Corresponde as sucessivas mudanças de direção da luz ao se refletir no material em suspensão . O espalhamento da maioria das partículas se dá na mesma direção da propagação da luz para ângulos de incidência pequenos, isto é o espalhamento da luz defletida é pequeno em relação a sua direção de propagação original. Quanto maior a quantidade de material em suspensão maior é o espalhamento ( mais turva é a água) e absorção da energia da luz incidente
- **Absorção remove a luz enquanto a dispersão muda a direção da luz. Dispersão não remove diretamente a luz, mas aumenta a probabilidade dela ser absorvida por aumentar a distância que a luz deve percorrer.**

Que materiais podem interagir com a com a radiação incidente em um corpo de água???

## Componentes opticamente ativos:

- Fitoplâncton – também inclui cianobactérias, bactérias e fungos.
- CDOM – matéria orgânica dissolvida colorida.
- Detritos – material particulado em suspensão orgânicos e inorgânicos
- Água pura – moléculas H<sub>2</sub>O



**A absorção e o espalhamento total da água do mar, portanto, são propriedade aditivas, ou seja é a resultante das interações com relativa a cada componente opticamente ativo e podem ser descrito como:**

$$a(\lambda) = a_w(\lambda) + a_\phi(\lambda) + a_d(\lambda) + a_g(\lambda)$$


  
 água      fitoplâncton      detritos      m.o. dissolvida colorida  
 (gelbstoff ou CDOM)

$$b(\lambda) = \underbrace{b_{b_w}(\lambda) + b_{b_\phi}(\lambda) + b_{b_d}(\lambda)}_{\text{Espalhamento pra trás (back scatter)}} + \underbrace{b_{f_w}(\lambda) + b_{f_\phi}(\lambda) + b_{f_d}(\lambda)}_{\text{Espalhamento pra frente (forward scatter)}}$$

Espalhamento pra trás  
(back scatter)

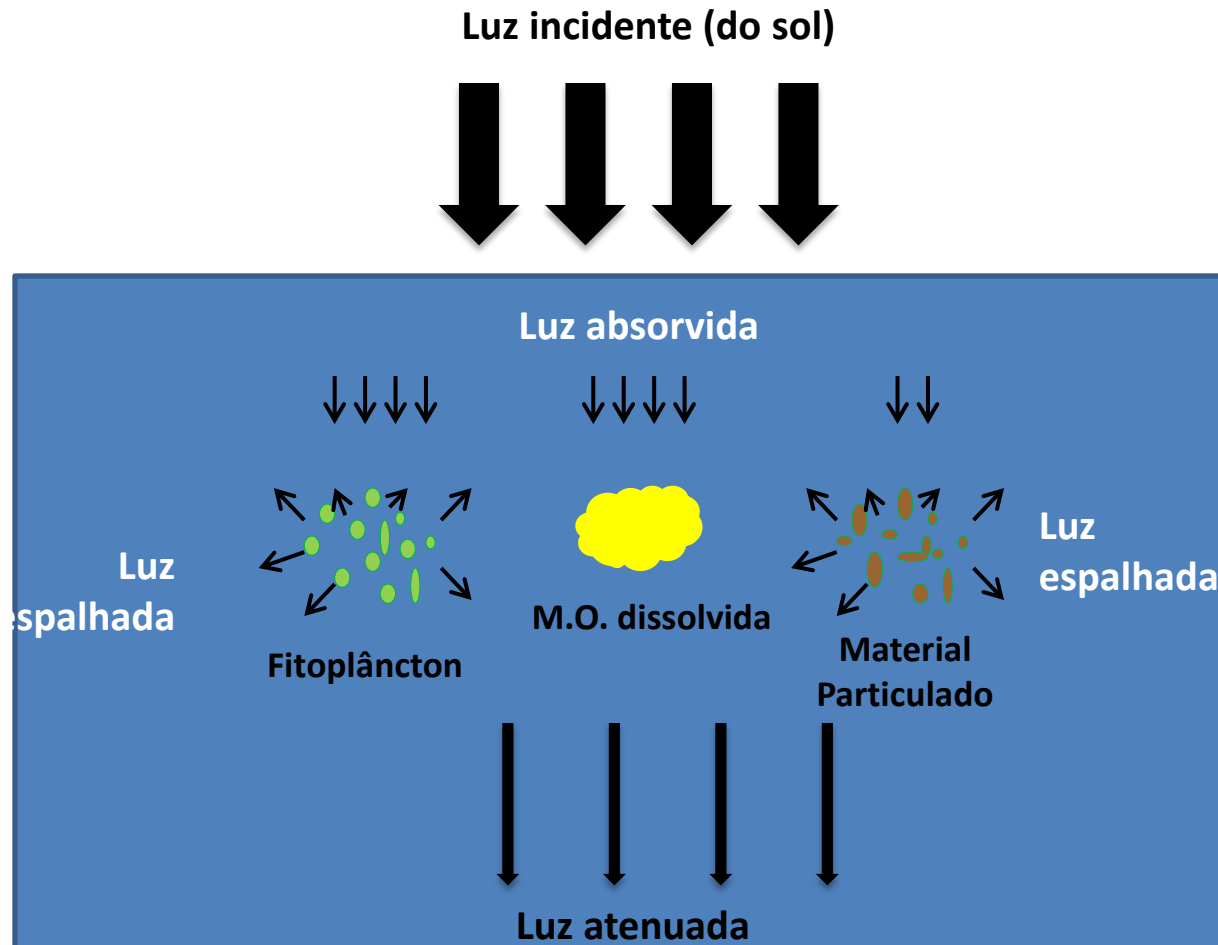
Espalhamento pra frente  
(forward scatter)

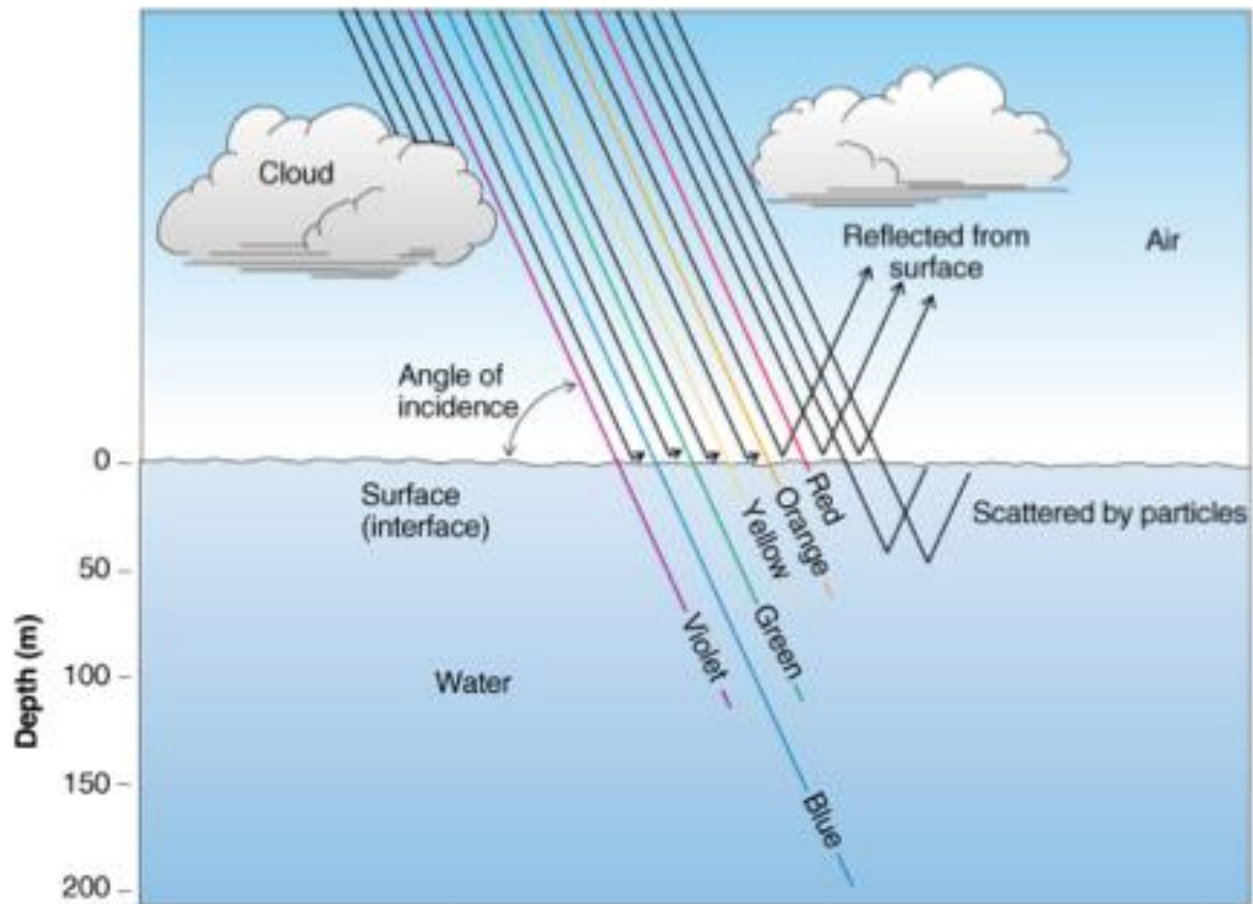


# Espalhamento nos oceanos

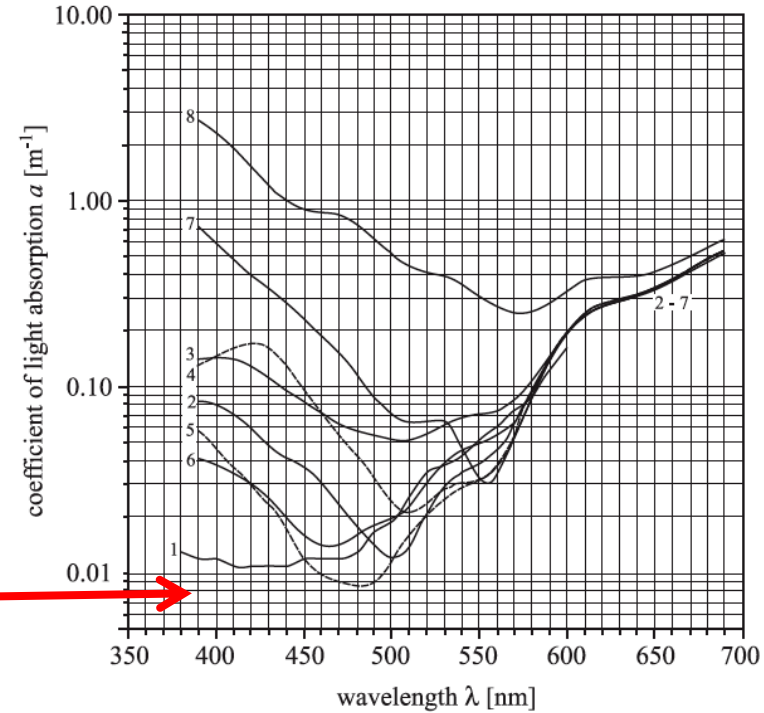
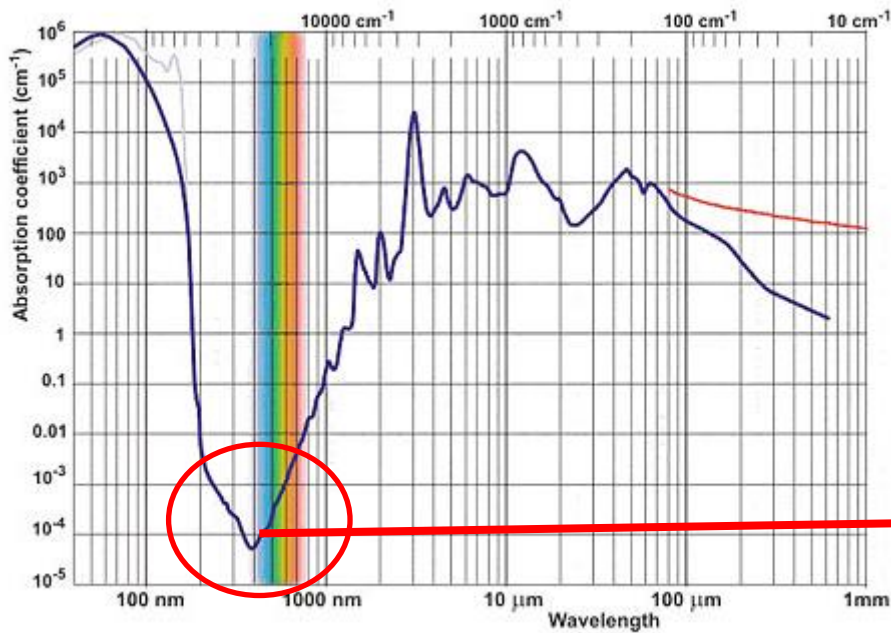
- **Superfície:** reflexão e refração. O estado do mar (ventos) afeta o espalhamento.
- **Interior:** a luz é espalhada pelas moléculas de água, fitoplâncton marinho, partículas minerais, etc.
- **Fundo** (águas rasas): luz é refletida pelos sedimentos, corais, etc.
- É de especial interesse o **retroespalhamento** porque ele determina os fótons que emergem da água e retornam ao nossos olhos.

# A luz na água do mar





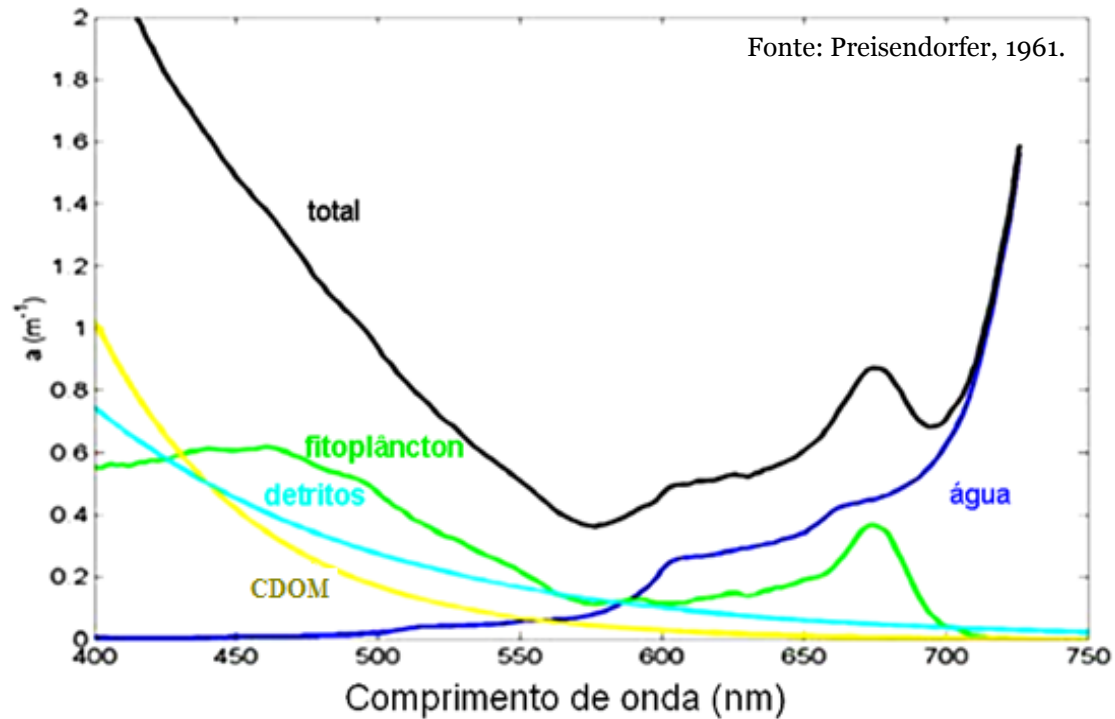
# Absorção pela água pura (esq.) e pela água do mar



Coeficiente de absorção para águas de várias regiões oceânicas:  
1 Pacífico Central  
7 e 8 Mar Báltico

# Espectros de absorção

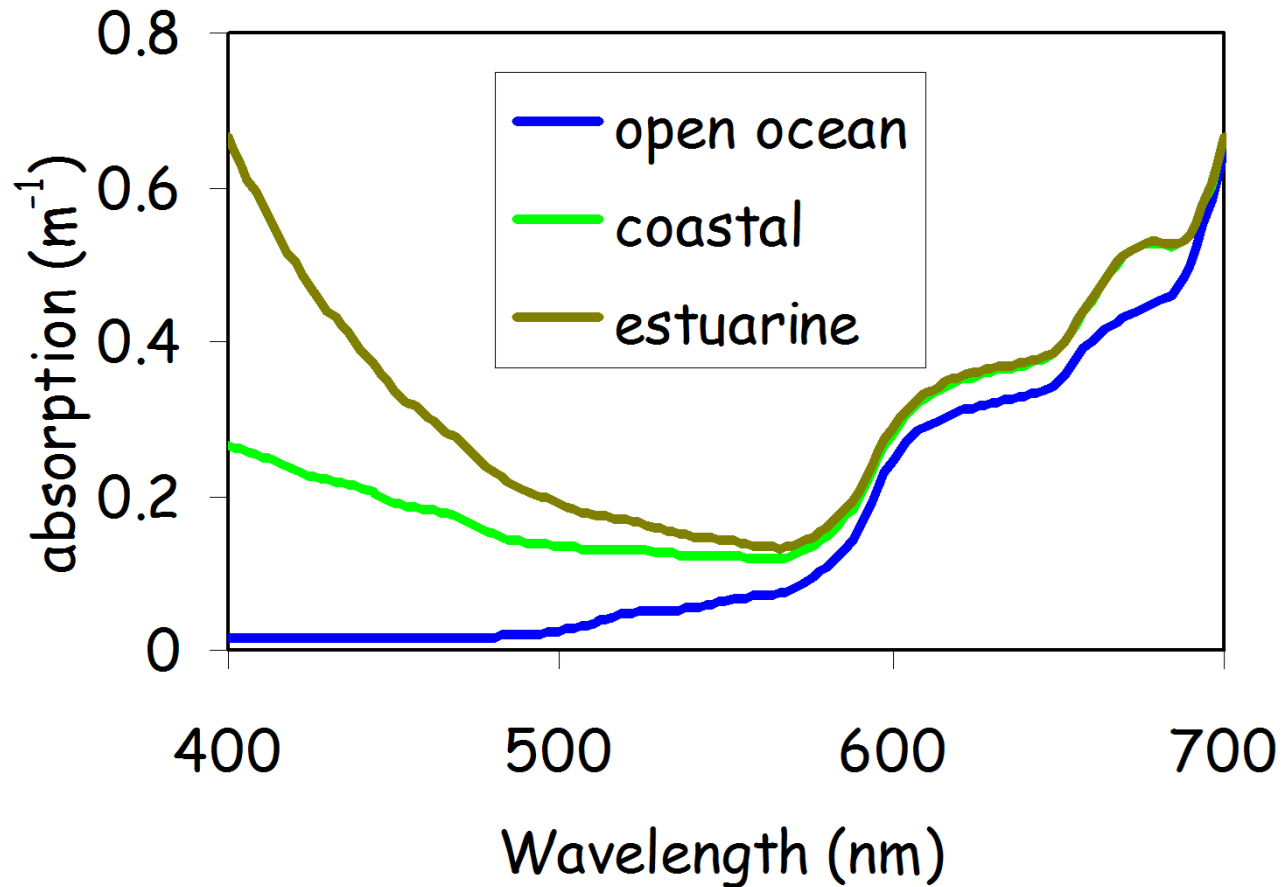
$$a_T(\lambda) = a_w(\lambda) + a_{ph}(\lambda) + a_d(\lambda) + a_{det}(\lambda)$$



# Coors dos oceanos

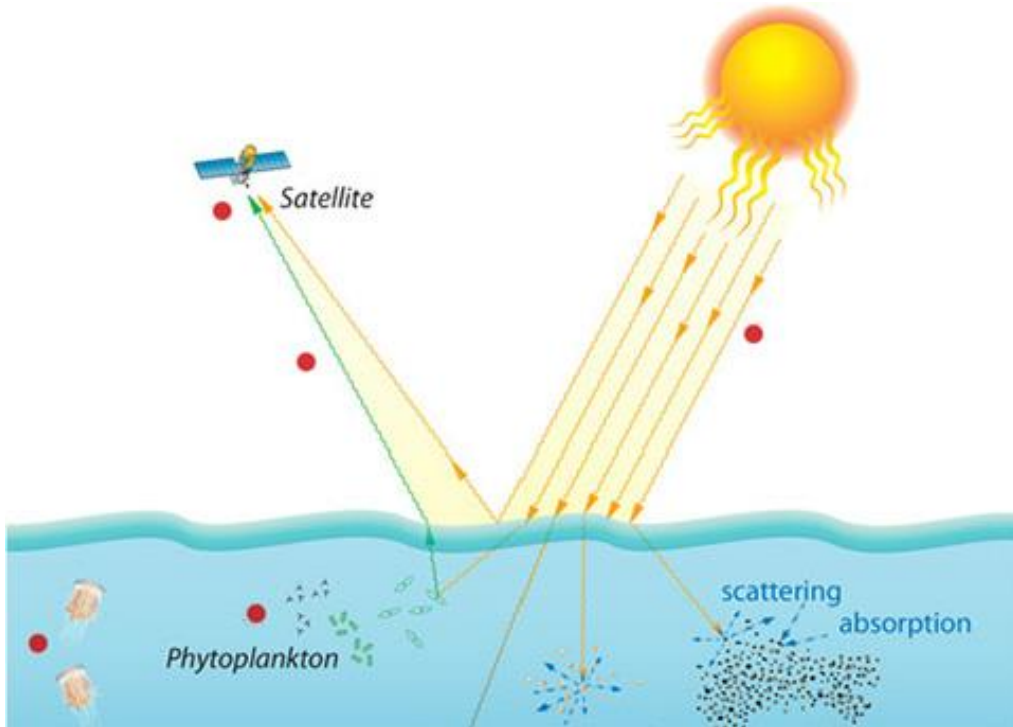


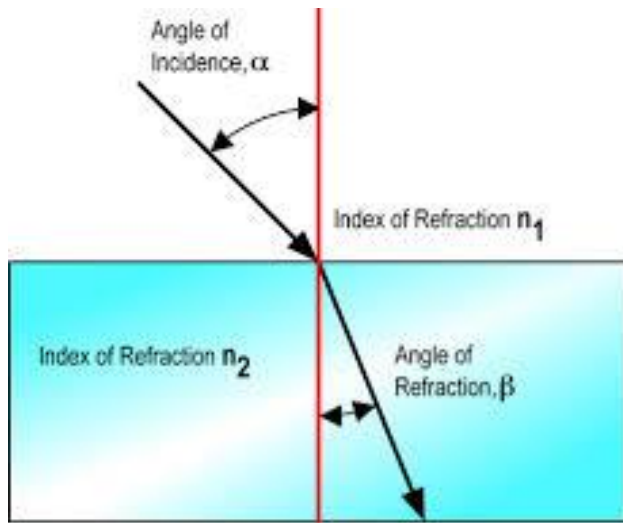
# A absorção de luz em diferentes ambientes marinhos



A absorção é forte para todas as águas na região do **VERMELHO** e é variável na faixa do **AZUL**







$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

Incidência da luz na superfície oceânica –  
obedece às leis de Snell

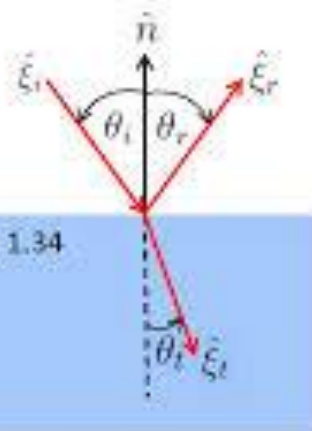
- a) Reflexão –  $\hat{i} = r$
- b) Refração

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{c_1}{c_2}$$

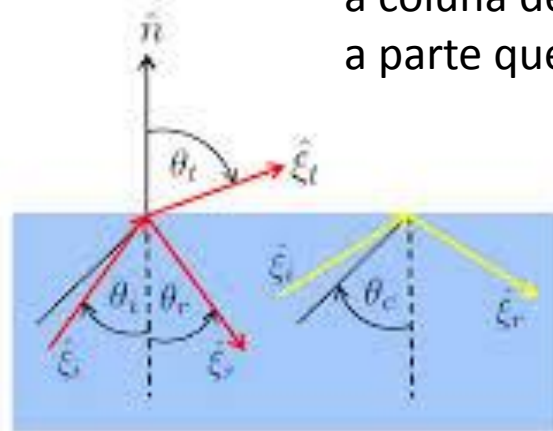
Velocidade da luz no ar  $\sim 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

Velocidade da luz na água  $\sim 2.2 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

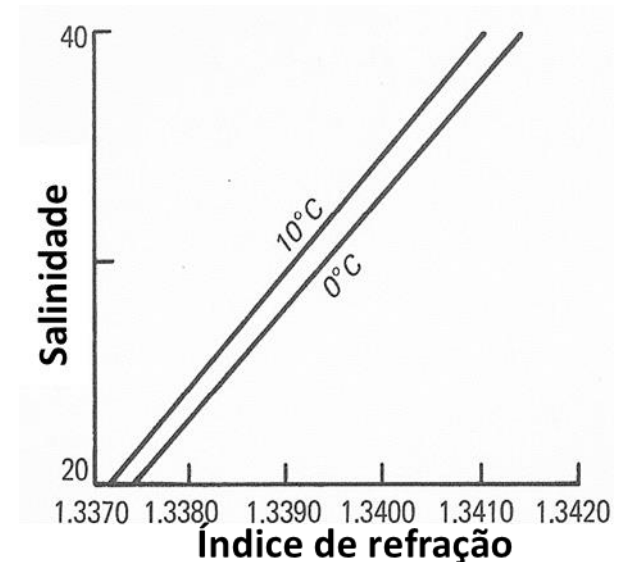
Parte da energia é usada para aquecer  
a coluna de água. O que acontece com  
a parte que se propaga?



a. air-incident case



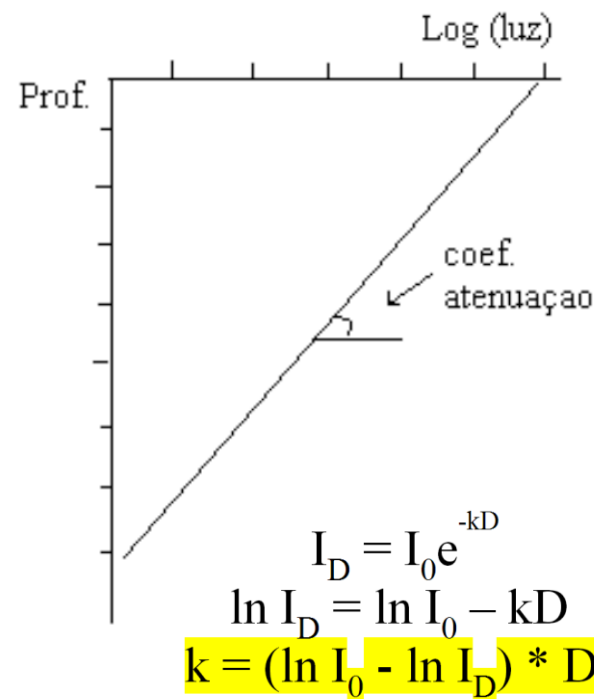
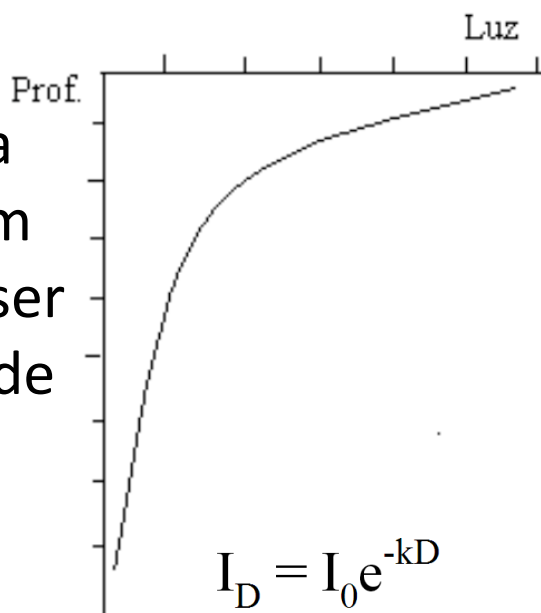
b. water-incident case



# Então pq a penetração de luz diminui com a profundidade???

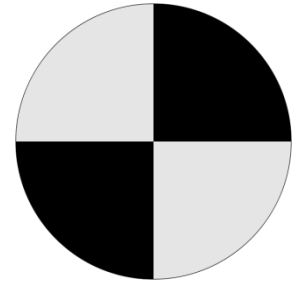
Como resultado do somatório dos processos de absorção e espalhamento da luz, a intensidade da luz é reduzida exponencialmente com a profundidade no meio aquático, processo este denominado de **atenuação da luz**.

A atenuação de luz com a profundidade (D) dá-se em escala logarítmica, e pode ser estimada pelo coeficiente de atenuação (k).



Onde:  $I_0$  e  $I_D$  são, respectivamente, as intensidades luminosas na superfície e na profundidade.

# O disco de Secchi (1865)



- Utilizado para medir a transparência da água em oceanos e lagos.
- A profundidade (DS) na qual o disco deixa de ser visível é tomada como medida de transparência.

- Aproximação

**oceanos**

$$k = 1,7/DS$$

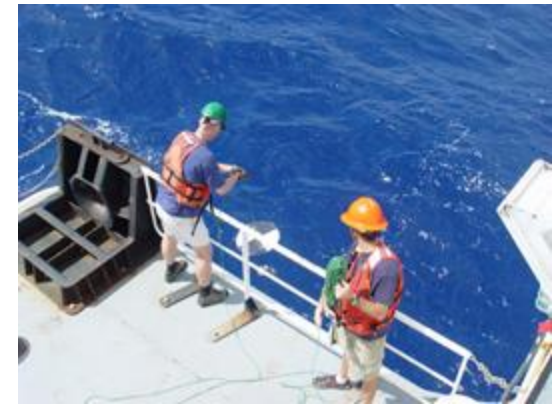
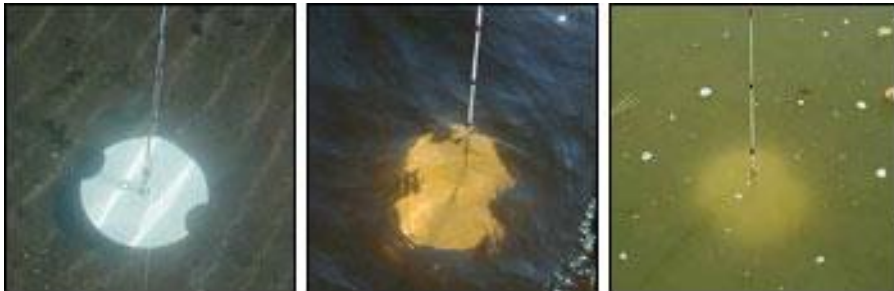
(Poole & Atkins, 1929)

**águas turvas**

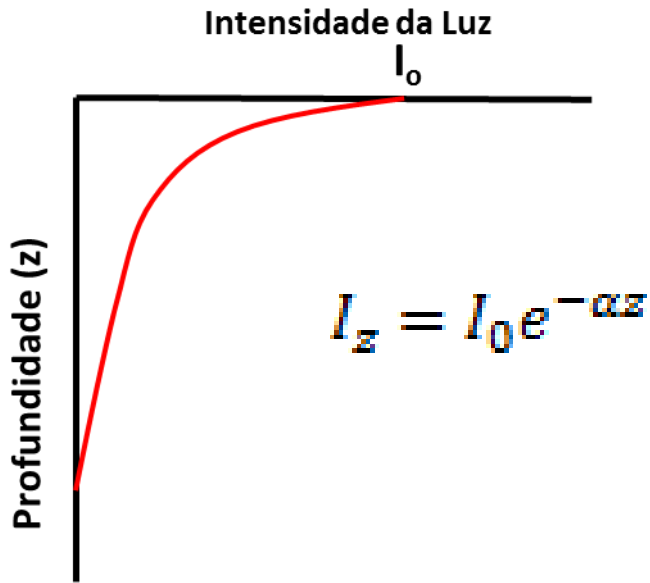
$$k = 1,44/DS$$

(Holmes, 1970)

- Limitações: Subjetivo, **depende do campo de iluminação** (não é IOP)

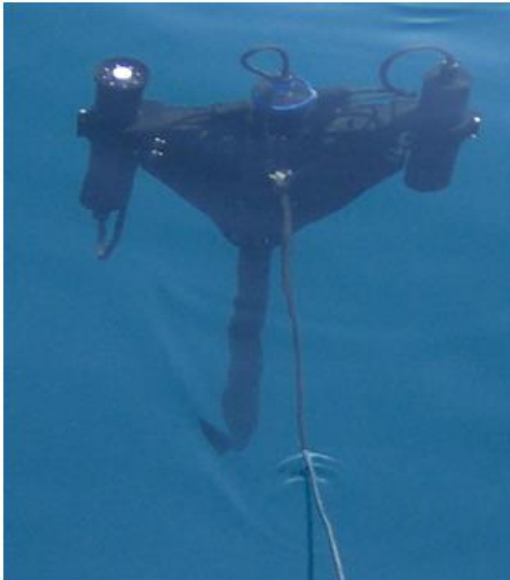


# Atenuação da luz

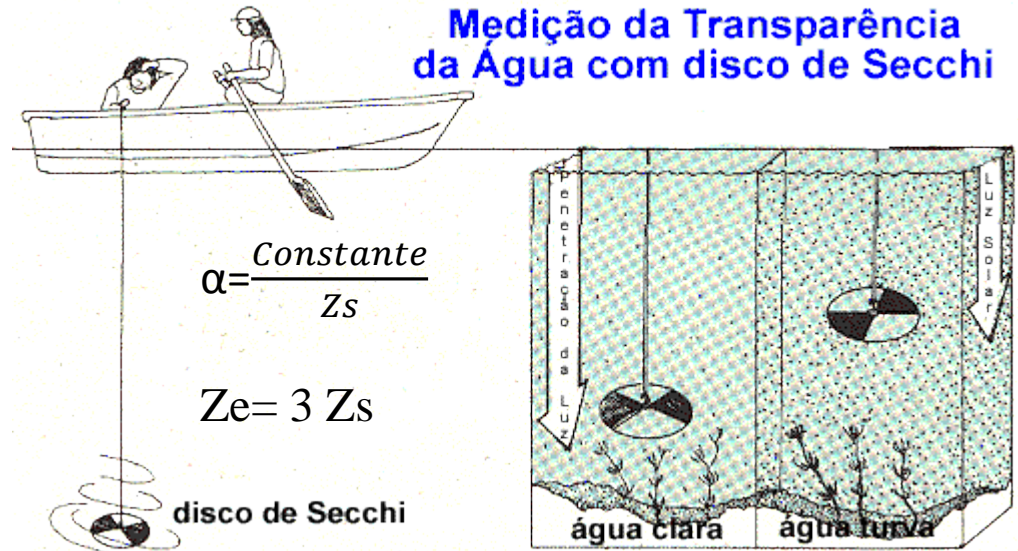


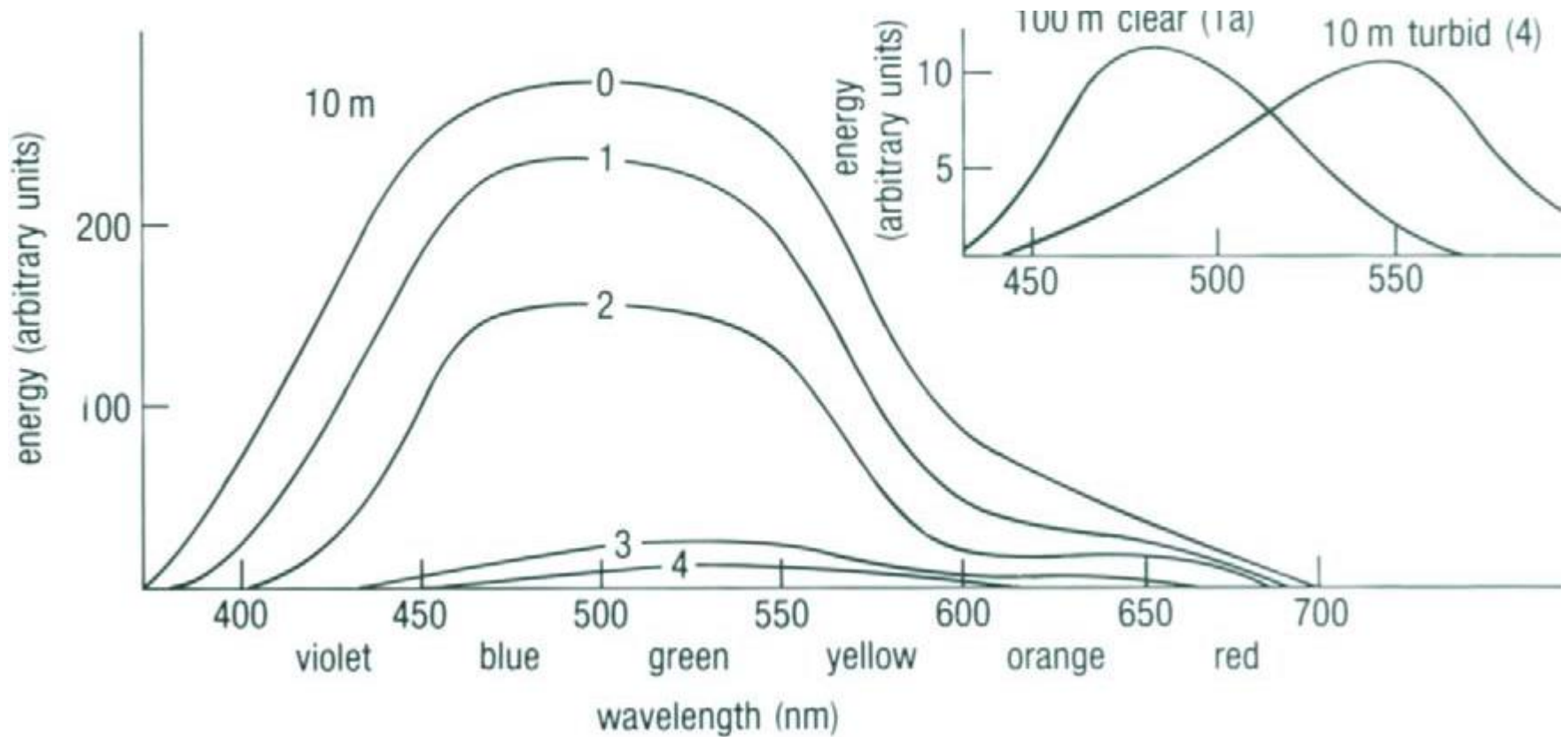
$$I_{\lambda z} = I_{\lambda 0} e^{-z \alpha_{\lambda}}$$

Disco de Secchi – 10% da luz incidente – relações com MS locais



Medição da Transparência da Água com disco de Secchi





Energy spectra at a depth of 10 m for: pure water (0), clear oceanic water (1), average oceanic water (2), average coastal water (3), and turbid coastal water (4).  
*Inset.* An energy spectrum at 100 m depth in clear oceanic water (1a) compared with that for 10 m in turbid coastal water (4).



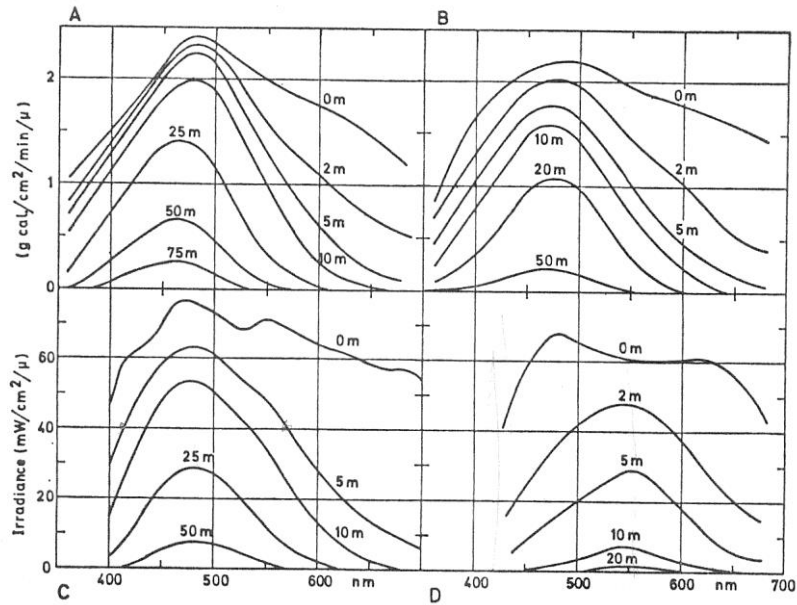


Fig.45. Spectral distributions of downward irradiance for high solar elevations. A. Eastern Mediterranean. B. Caribbean Sea (after JERLOV, 1951). C. Off Japan (after SASAKI et al., 1958a). D. Baltic Sea (after AHLQUIST, 1965).

$K_d = 0.26 + 0.016[\text{Chl}] + 0.074[\text{TSS}]$  para Chesapeake Bay

$$K_d = K(W+\text{DOC}) + k_c[\text{Chl}] + k_s[\text{TSS}]$$



# Porque o mar é azul?

Dispersão pela água é molecular  $\lambda \gg D$

Intensidade da dispersão de Rayleigh

$$I_{\theta} = \frac{\pi^2 \eta K T (n^2 - 1)^2 (n^2 + 2)^2 (1 + \cos^2 \theta)}{18 \lambda^4} I_0$$

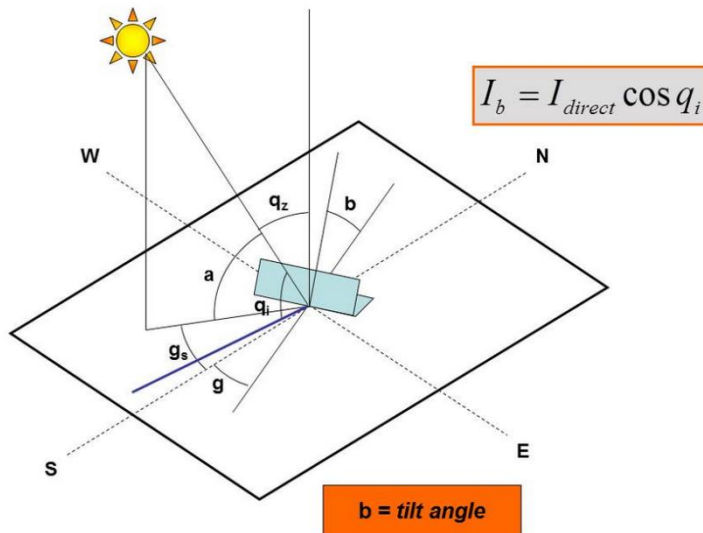
Isto é,  $I_{\theta}$  é inversamente proporcional a  $\lambda^4$

⇒ Quanto menor o comprimento de onda maior a

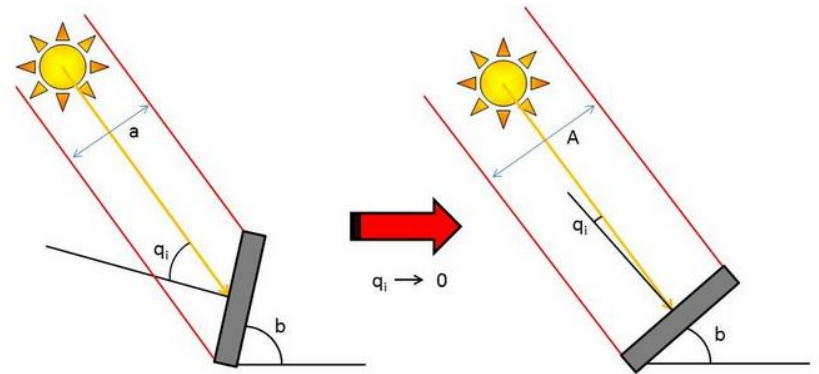
⇒ A luz azul é mais dispersada que o restante dos comprimentos de onda

Agora vamos falar de propriedades ópticas que dependem do campo de iluminação...

### Ângulos Solares



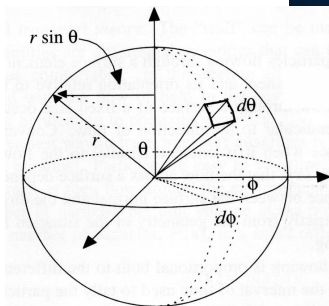
### Efeitos do Ângulo de Incidência



# PROPRIEDADES OPTICAS APARENTES = **AOP**

AOP são aquelas propriedades que dependem tanto do material presente no meio como a IOP, mas também depende da estrutura geométrica direcional da distribuição da radiação (feixes de luz).

Ou seja: As AOP são dependentes das **condições de iluminação** da água do mar



# Então porque estudar AOP?

Um dos principais objetivos de estudar a luz na água é aprender algo sobre um corpo de água, como por exemplo, a concentração de clorofila, a partir de medições ópticas.

**O ideal** seria medir IOP que nos dizem muito sobre os tipos e concentração dos constituintes da água. No entanto, é muito difícil de medir IOP *in situ*.

**Por outro lado**, era relativamente fácil medir as variáveis radiométricas (intensidade da luz, radiância, reflectância, irradiância... emergente e incidente) utilizando sensores a bordo de aviões.

# Como medir a luz?

Como descrever a quantidade de luz que existe?? Para onde está indo???

Diferentes formas de quantificar luz:

- Energia [ $\text{W m}^{-2}$ ]. Útil quando estamos interessados em taxas de aquecimento
- Número de fótons [Einstein = Mol ( $6.023.1023$ ) fótons  $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ]. Útil para a fotossíntese, fotoquímica...
- E as AOP???

# Principais AOP

- Radiância ( $L(\lambda)$ )
- Irradiância ( $E(\lambda)$ )
- Reflectância ( $R(\lambda)$ )

A cor da água é definida pelas variações espectrais de sua reflectância na superfície.

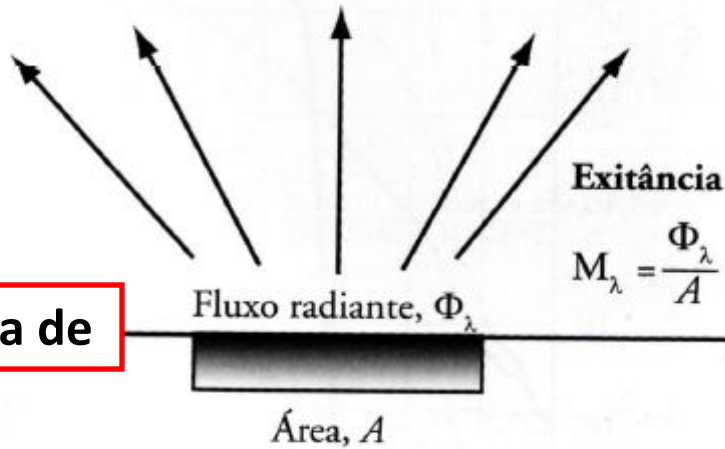


Vamos Simplificar...

# Irradiância

**Emitância (M)**

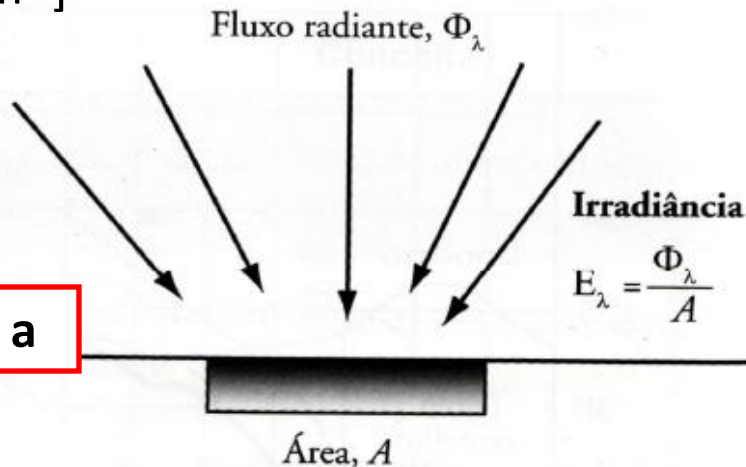
[Watts.m<sup>-2</sup>]



Para fora de

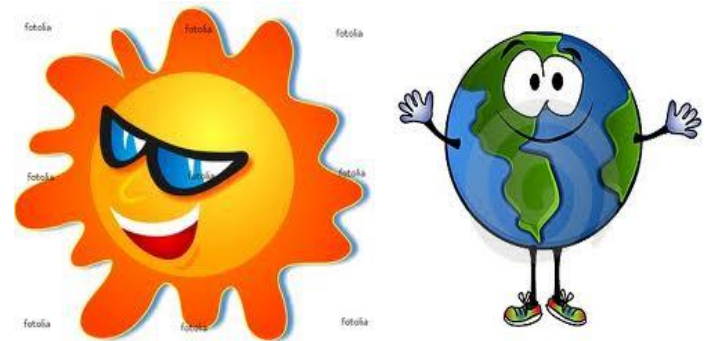
**Irradiância (E)**

[Watts.m<sup>-2</sup>]



Em direção a

**Emitância do Sol =  $63,4 \times 10^6$  W.m<sup>-2</sup>**



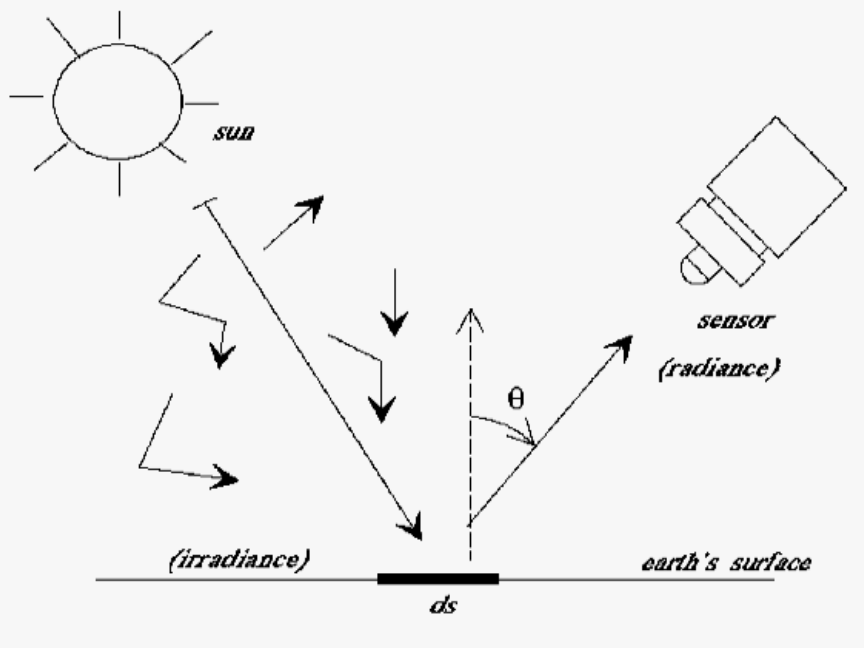
**Irradiância (emitância do Sol que chega na Terra) =  $1373$  W.m<sup>-2</sup>**



# Radiância

- A **radiância espectral ( $L(\lambda)$ )** é a medida da energia radiante por unidade de tempo, superfície e **unidade angular** (ângulo sólido).

## Medimos Radiância com satélites



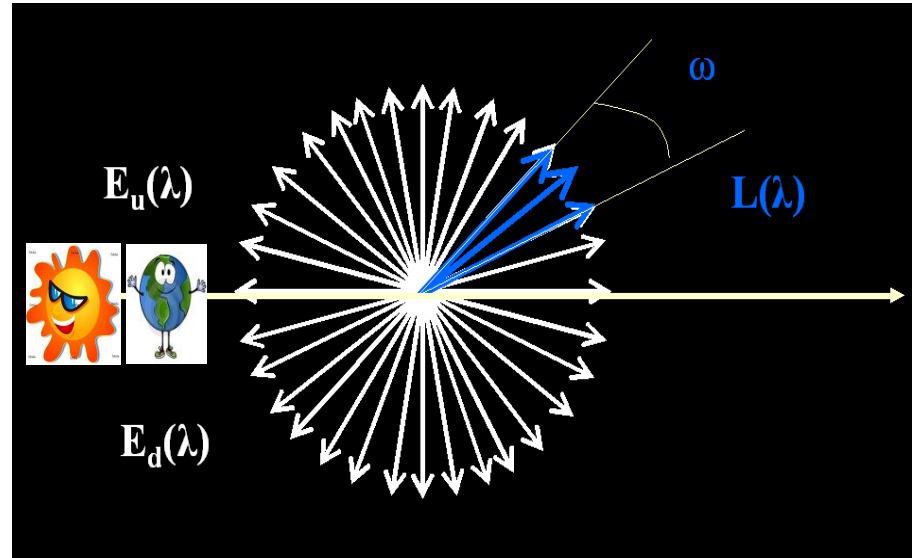
Water Leaving Radiance -  $L_w(\lambda)$   
radiância emergente da água é  
o parâmetro medido pelo  
sensor quando as correções  
atmosféricas foram efetuadas



sr = esterradiando  
(unidade de ângulo sólido)

# Radiância e Irradiância

A irradiância ( $E(\lambda)$ ) é calculada a partir da radiância espectral ( $L(\lambda)$ )



Irradiância descendente/incidente →

Quantidade de Luz que chega no corpo d'água

Irradiância ascendente/emergente →

Quantidade de Luz que retorna do corpo d'água

Irradiância → 
$$E(\lambda) = \int_{4\pi} L(\lambda, \theta, \varphi) \cos \theta d\omega$$