**Distribuição de temperatura e salinidade com a profundidade; a estratificação da densidade**

traduzido pelo [Aurea Ciotti](mailto:ciotti@csv.unesp.br).

As discussões das aulas anteriores se concentraram nos processos de interação entre os oceanos e a atmosfera e portanto nelas vimos as distribuições de temperatura e salinidade apenas na camada superficial, onde as variações regionais e sazonais são grandes. Todavia, a maior parte dos oceanos contém água com temperaturas e salinidades relativamente uniformes ( [Figure 5.1](http://www.es.flinders.edu.au/%7Emattom/IntroOc/por/notes/figures/fig5a1.html)).

Se a temperatura de superfície é bem baixa, a convecção provocada pelo resfriamento pode alcançar profundidades maiores, e isso é o que ocorre nas regiões polares. Aqui, as águas resfriadas na superfície descendem até o fundo do oceano. Esse processo repõe as águas profundas e é responsável pelas correntes abaixo dos 1.000 metros. As regiões que apresentam convecção profunda são o Mar de Weddell e o Mar de Ross localizados no oceano Antártico, e também no ártico no Mar da Groenlândia e no Mar do Labrador.

A temperatura média dos oceanos é 3,8°C; até no equador a temperatura médias é baixa com cerca de 4,9°C. A camada onde a temperatura muda drasticamente com a profundidade é conhecida como termoclina permanente. Essa fica localizada entre 150-400 metros nos trópicos e entre 400-1000 metros nas regiões subtropicais. A [figura 5.2](http://www.es.flinders.edu.au/%7Emattom/IntroOc/por/notes/figures/fig5a2.html) mostra a distribuição da temperatura e da salinidade através do Oceano Pacífico como um exemplo. Note a uniformidade de ambas propriedades abaixo dos 1000 metros de profundidade. Note também que nas várias regiões oceânicas tanto a temperatura como a salinidade decrescem com a profundidade. Um decréscimo na temperatura resulta num aumento da densidade, e assim, a estratificação da temperatura produz uma estratificação de densidade estável. Um decréscimo em salinidade por outro lado, resulta em uma densidade menor. Sozinha, a estratificação pela salinidade produziria uma estratificação de densidade instável. Nos oceanos, o efeito da diminuição da temperatura é muito mais forte do que o da diminuição da salinidade, e assim no final o oceano permanece estratificado de maneira estável. Em contraste com a distribuição em profundidade da temperatura, os perfis verticais de salinidade exibem um valor mínimo intermediário. Esses mínimos estão relacionados a formação de massas de água nas frentes Polares, aonde os valores de precipitação são altas, e esses detalhes serão vistos mais adiante no curso. Em grandes profundidades, a salinidade aumenta novamente porque a água próximo ao fundo se origina em regiões polares aonde ela descende durante o inverno; o congelamento durante esse processo aumenta a sua salinidade.

**Propriedades Acústicas**

A luz e o som são as duas formas principais para transmitir informações usadas em comunicação animal e humana. Na terra, o som é atenuado em distâncias bem mais curtas que a luz, e essa se torna a maneira preferida de comunicação em longa distância. A situação oposta ocorre nos oceanos: enquanto a luz não consegue penetrar mais que poucas centenas de metros em água, o som na água pode percorrer distâncias bem grandes, e assim é usado em várias aplicações como medidas de fundo, comunicação, e medidas sob a água tanto por animais e humanos. Informações detalhadas sobre a velocidade do som (isso é a velocidade de fase das ondas sonoras) é essencial para essas aplicações.

A velocidade do som *c* é uma função da temperatura *T*, salinidade *S* e pressão *p* e varia ente 1400 m s-1 e 1600 m s-1. No oceano aberto, ela é influenciada pela distribuição de *T* e de *p*, mas nem tanto pela de *S*. Ela diminui com o decréscimo de *T*, *p* e *S*. A combinação da variação nesses três parâmetros com a profundidade produzirá um perfil de velocidade do som com um mínimo bem marcado em profundidades intermediárias: a temperatura decresce rapidamente nos primeiros 1000 metros e assim domina o perfil da velocidade do som, i.e., *c* diminui com a profundidade. Em regiões com águas mais profundas que 1000 metros, as mudanças de temperatura abaixo dessa faixa se tornam bem reduzidas e assim *c* começa a ser determinada pelo aumento de pressão com a profundidade, i.e., a pressão aumenta com a profundidade, i.e., *c* aumenta com a profundidade. Mudanças verticais de salinidade são muito pequenas para ter uma influência, mas a salinidade média vai determinar se *c* é baixa (se a salinidade média for baixa) ou alta (se a salinidade média for alta) em média.

A [figura 5.3](http://www.es.flinders.edu.au/%7Emattom/IntroOc/por/notes/figures/fig5a3.html) mostra exemplos de perfis de velocidade do som. Note as curvas do Mar de Weddell e do Mar Mediterrâneo: o Mar de Weddell não tem uma estratificação térmica, e então não existe influência da temperatura em *c*. O Mar Mediterrâneo mostra o efeito da salinidade em *c*: o perfil é similar àqueles de outras regiões tropicais, mas a maior salinidade do mar Mediterrâneo faz com que *c* aumente em todos os níveis.

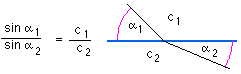
Se o seu navegador suporta JavaScript você pode checar a dependência da velocidade do som na temperatura, salinidade e pressão usando a calculadora de velocidade de som: entre um valor de temperatura, um valor para a salinidade e um valor para a pressão e pressione o botão de calcular. Comparando os seus resultados com aqueles de perfis de velocidade de som para diferentes regiões dos oceanos ([Figura 5.3](http://www.es.flinders.edu.au/%7Emattom/IntroOc/por/notes/figures/fig5a3.html)) e experimentando você pode ter uma idéia dos valores de temperatura e de salinidade que devam existir nessas regiões para produzirem as velocidades de som observadas.

|  |
| --- |
| **Calculadora de Velocidade do Som**  Parte superior do formulário  **Entre os seus valores:**  temperatura (°C):    salinidade:   pressão (dbar):   **c** =   m s-1    Parte inferior do formulário |

Cálculo baseado em Fofonoff, P. e R. C. Millard Jr (1983) Algorithms for computation of fundamental properties of seawater.Unesco Tech. Pap. in Mar. Sci. 44, 53 pp.

**Propagação do Som**

O som se propaga em raios assim com a luz faz. Assim, as leis de geometria óptica são também aplicáveis ao som:

1. O som viaja através de um caminho reto aonde a velocidade do som *c* é constante; ou ele se volta em direção a região de baixa *c*
2. Os raios de propagação são independentes.
3. Os caminhos do som são reversíveis
4. A lei de reflexão (ângulo de incidência = ângulo de refexão) é válida para o fundo do oceano, para a superfície e para objetos na superfície e interfaces.
5. A lei da refração é válida em interfaces: 

Como a estratificação no oceano é aproximadamente horizontal, a propagação do som na vertical ocorre praticamente ao longo de um caminho reto. Isso é base para as medidas de fundo através de eco: A profundidade é conhecida se a velocidade de propagação média do som é conhecida. Uma primeira estimativa é 1500 m s-1; mas existem tabelas de correções disponíveis para várias áreas do oceano global.

A [figura 5.4](http://www.es.flinders.edu.au/%7Emattom/IntroOc/por/notes/figures/fig5a4.html) mostra caminhos de som horizontais. O primeiro diagrama mostra a propagação da velocidade mínima do som (geralmente em torno de 1000 m). Os raios de som se curvam em direção da velocidade mínima do som e viajam naquela profundidade por distâncias grandes (elas podem atravessar oceanos inteiros). Esse canal de som é conhecido como canal de SOFAR (SOund Fixing And Ranging). Antes da introdução do Global Positioning System (GPS), o canal de SOFAR era usado para localizar navios e aeronaves com problemas, e também para posicionar bóias (com dois ou mais sensores de recepção) para o estudo das correntes oceânicas. O segundo diagrama mostra uma situação aonde uma camada de mistura com temperatura uniforme (tipicamente em torno de 100 m de espessura) é encontrada no topo da estratificação normal de temperatura. Nesse caso, a velocidade do som aumenta abaixo da superfície devido ao aumento da pressão antes do decréscimo normal devido a temperatura se torne mais importante. O máximo em velocidade de som resultante numa profundidade aproximadamente de 100 m cria uma zona de sombra, já que todos os raios de som se voltam contrário àquela profundidade.

**Nutrientes, oxigênio e metais traços que limitam o crescimento nos oceanos**

Justus von Liebig descobriu o que ficou conhecido como a "Lei dos mínimos"; na agricultura, a lei diz que a produtividade de um ecossistema é limitada pelos nutrientes que são totalmente retirados primeiro. Em terra o elemento limitante pode ser o fósforo, o nitrogênio ou o potássio (dependendo do tipo de solo). Nos oceanos, a Lei de Liebig indica que os elementos limitantes devem ser

|  |  |
| --- | --- |
| fósforo | (na forma de fosfato orgânico ou inorgânico) |
| nitrogênio | (na forma de nitrato, nitrito ou amônia) |
| silício | (na forma de silicato) |

Em terra os nutrientes entram para os solos pela decomposição de matéria orgânica morta. Nos oceanos os nutrientes retirados da solução pelas plantas (fitoplâncton) ocorrem na zona eufótica (a camada superficial iluminada pelo sol) aonde a fotossíntese ocorre. A maioria dos nutrientes são removidos da zona eufótica e transferidos para as camadas mais profundas como organismos mortos (detritos) que sedimentam até o fundo dos oceanos. Nas camadas mais profundas, a matéria orgânica é remineralizada, i.e., os nutrientes voltam como solução. Esse processo requer oxigênio. Assim,

* os oceanos não podem manter um ecossistema altamente produtivo a não ser onde existe injeções de nutrientes para a zona eufótica (ressurgência)
* a concentração dos nutrientes geralmente aumenta com a profundidade ([Figura 5.5](http://www.es.flinders.edu.au/%7Emattom/IntroOc/por/notes/figures/fig5a5.html)), enquanto a concentração de oxigênio ([Figura 5.6](http://www.es.flinders.edu.au/%7Emattom/IntroOc/por/notes/figures/fig5a6.html)) diminui. Mudanças nessa regra geral acontecem por advecção de massas de água diferentes.

Oxigênio e nutrientes são ligados num ciclo de tomadas e reposições, de forma que uma razão relativamente fixa de suas concentrações é encontrada em águas oceânicas:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| AOU : C : N : P = | 212 | : | 106 | : | 16 | : | 1 | em peso atômico |
| = | 109 | : | 41 | : | 7.2 | : | 1 | em gramas |

UAO (utilização aparente de oxigênio) = concentração de saturação - concentração observada

C = carbono N = nitrogênio P = fósforo

As últimas três décadas do último século tem visto um grande progresso na compreensão da química dos oceanos, e não se tornou claro que fosfato, nitrato e silicato não são os únicos nutrientes que limitam o crescimento nos oceanos. Em mais de 40% das regiões oceânicas o crescimento parece ser limitado pelo suprimento de ferro (Fe). A razão para essa diferença entre ecossistemas terrestres e marinhos é encontrada no começo da evolução da Terra.

Como descrito na Aula Introdutória, a composição da atmosfera é o resultado da presença da vida na Terra (compare a [figura](http://www.es.flinders.edu.au/%7Emattom/IntroOc/por/notes/figures/intro1fig1.html)). As primeiras formas de vida que se desenvolveram (os procariotas, que são basicamente algumas moléculas circundadas por uma membrana e uma parede celular) encontraram uma atmosfera que continha principalmente dióxido de carbono (CO2). Eles usaram os elementos químicos disponíveis nos oceanos para o armazenamento, transporte e transferência de energia. Ferro é um dos mais abundantes elementos e se tornou essencial para muitas funções celulares.

O aparecimento da fotossíntese nas plantas mudou a contribuição relativa do C, O e do Fe dramaticamente. Conforme os níveis de oxigênio na atmosfera aumentavam, o oxigênio inicial foi reduzido pelo ferro disponível, criando vastos depósitos de óxido de ferro na crosta terrestre. Eventualmente, o suprimento de ferro livre foi reduzido, e o oxigênio que começou a acumular permitiu que a evolução de formas de vida superiores iniciasse. Mas formas de vida marinhas primitivas ainda requerem ferro para as suas funções celulares, e isso parcialmente explica porque o ferro nos oceanos é um elemento limitante adicional e em várias situações o fator limitante em si. Experimentos no campo tem demostrado que a produtividade oceânica pode aumentar dramaticamente quando o ferro é adicionado na zona eufótica.

[[http://www.es.flinders.edu.au/%7Emattom/IntroOc/images/links.gif](http://www.es.flinders.edu.au/~mattom/IntroOc/notes/links/lecture05links.html)](http://www.es.flinders.edu.au/%7Emattom/IntroOc/notes/links/lecture05links.html)© 1996 - 2003 M. Tomczak. Last updated 23/4/03

Parte superior do formulário

contact address:

Parte inferior do formulário

Fonte: <http://www.es.flinders.edu.au/~mattom/IntroOc/por/notes/lecture05.html>, em 26/01/2010.