

- ⑧ Distribuição espacial e variação temporal dos parâmetros físicos do oceano (2) - oxigênio dissolvido; nutrientes (nitratos, fosfatos, silicatos); transparência; fréons; carbono-14.

OXIGÊNIO DISSOLVIDO

Além dos sólidos dissolvidos na água do mar, também há gases. Um dos que tem sido usado como uma característica da água é o oxigênio. A unidade de representação da concentração de oxigênio no SI é $\mu\text{mol/Kg}$ embora na literatura seja ainda mais comum a representação em mL/L.

$$1\text{mL/L} = 43,3\mu\text{mol/Kg} \quad (S = 34,7, t = 3,5^\circ\text{C}, \sigma_t = 27,96)$$

água do mar média

A gama de valores encontrados no mar vai de 0 - 8mL/L mas a grande maioria dos valores situa-se no intervalo 1 - 6mL/L.

A principal fonte do oxigênio dissolvido na água do mar é a atmosfera e a água à superfície está normalmente perto da saturação. Algumas vezes nos 10 a 20m superficiais a água do mar encontra-se super-saturada com oxigênio produzido pela fotossíntese das plantas marinhas. Abaixo da camada superficial a água está normalmente menos saturada devido ao consumo de oxigênio pelos organismos vivos e pela oxidação de detritos.

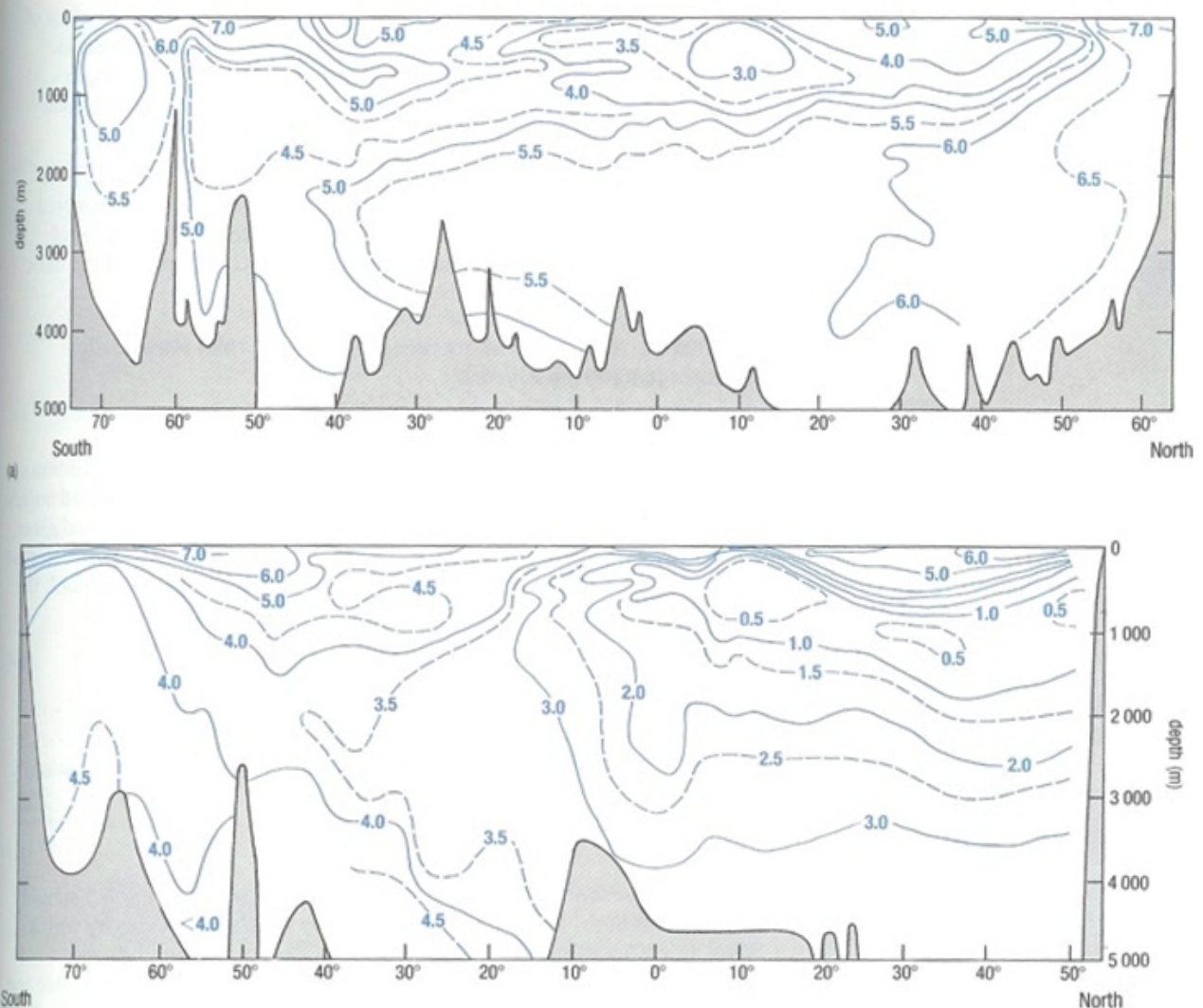
Valores baixos de oxigênio dissolvido indicam que a água está afastada da superfície há muito tempo tendo o oxigênio sido consumido pelos organismos biológicos e detritos. (No mar Negro cujas águas têm um tempo de residência de ≈ 3000 anos não existe oxigênio abaixo da camada superficial)

↪ Distribuição do oxigênio no Atlântico e Pacífico

<u>Atlântico</u>	<u>Pacífico</u>
Valores altos junto à superfície	
Um mínimo nos 1000m superficiais entre os trópicos	
Valores altos abaixo dos 1000m (Água Profunda do Atlântico)	Valores baixos no Pacífico Norte
Distribuição idêntica em latitudes médias a Sul.	

A distribuição no Oceano Índico é semelhante à do Pacífico (Sul e Trópicos). Os valores mais baixos nas águas profundas do Pacífico em comparação com o Atlântico, indicam que esta água esteve longe da superfície por um período de tempo mais longo e que a circulação da água profunda pode ser mais lenta no Pacífico.

Figure 6.7 Sections showing dissolved oxygen (ml l⁻¹) in (a) the western Atlantic (cf. Figures 2.6 and 3.3) and (b) the Pacific (about 170° W).



Em certas regiões como o Mar Negro já referido e a Fossa de Cariaco (Mar das Caraíbas ao largo da Venezuela) não existe oxigénio, existindo antes sulfureto de hidrogénio resultante da redução do ião sulfato pelas bactérias. Isto indica que aí a água está estagnada há muito tempo.

O mínimo de oxigénio que se verifica abaixo da camada de mistura, até cerca dos 1000m de profundidade, entre os trópicos vê-se claramente nos perfis verticais e secções do Atlântico Ocidental, Pacífico médio, Pacífico oriental e Índico norte. A explicação para este mínimo é que esta água de profundidades intermédias se encontra em regiões de movimento mínimo onde a circulação e os fenómenos de mistura são reduzidos não havendo uma renovação de água. Outra explicação é que os detritos biológicos se acumulam nesta região devido ao aumento da densidade com a profundidade (estabilidade) e consomem o oxigénio. Nenhuma destas duas hipóteses é

aceite por si só, e o mínimo de oxigénio precisa ainda de ser explicado mais satisfatoriamente.

A produção e consumo de oxigénio no mar são essencialmente processos bioquímicos. É importante salientar que como o oxigénio é uma grandeza não conservativa tem de ser usado com cuidado sempre que seja considerado como uma propriedade para caracterizar uma massa de água.

OUTROS TRAÇADORES DO MOVIMENTO DAS ÁGUAS

Outras propriedades da água que podem ser utilizadas como traçadores dos fluxos ou como meios de identificar massas de água são os Nutrientes (fosfatos, nitratos e silicatos), Gases dissolvidos além do oxigénio e o Plâncton que deriva ao sabor das correntes. Todas estas características devem ser usadas com cuidado pois, como o oxigénio, são não-conservativas, ou seja podem ser produzidas ou consumidas dentro da massa de água em questão e as taxas de produção e consumo não são geralmente bem conhecidas. Elementos radioactivos também podem ser utilizados como traçadores e dado que as suas taxas de extinção são conhecidas, podem ser utilizados para estimar a idade da água oceânica.

↪ Nutrientes (Nitratos, Fosfatos, Silicatos)

Analisando secções verticais Norte-Sul ao longo do Pacífico e ao longo do Atlântico, podemos ver o seguinte:

Para os 3 nutrientes os valores são baixos nas primeiras centenas de metros superficiais com valores superiores nas águas mais profundas.

No Pacífico estas distribuições mais profundas têm a forma de um máximo a profundidades médias estendendo-se em cunha de Norte para Sul com os núcleos para o fosfato e o nitrato aos 1000/2000m e para o silicato aos 2000/3000m.

Estes valores decrescem de Norte para Sul. No Sul existe também um máximo (menos acentuado) associado à água Antártica de fundo (ABW - Antarctic Bottom Water).

No Atlântico as cunhas que se verificam a profundidades médias e que também se estendem de Norte para Sul são Mínimos associados com a Água Profunda do Atlântico Norte (NADW - North Atlantic Deep Water). No Sul há máximos associados também à Água Antártica do fundo (ABW).

Os valores nos núcleos das profundidades médias são superiores (no Pacífico em relação ao Atlântico) de um factor de 2 para os fosfatos e nitratos e de um factor de 3 a 10 para os silicatos. Isto é atribuído à circulação a profundidades médias e fundas

que é mais lenta no Pacífico do que no Atlântico Norte. Os valores de oxigénio menores no Pacífico também são atribuídos à mesma causa.

Um aspecto particular das concentrações de fosfatos e nitratos é que a relação entre os dois é sempre cerca de 1 átomo de Fósforo para 15 de Azoto. O porquê deste "ratio" não é conhecido.

Os valores baixos de nutrientes na camada superior do oceano devem-se à sua utilização pelo fitoplâncton na zona eufótica, enquanto que o aumento dos níveis de nutrientes nas camadas inferiores deve-se à sua formação em processos biológicos que se verificam nos detritos que "caem" dos níveis superiores.

O reabastecimento de nutrientes para a camada superficial é feito principalmente por processos físicos de difusão vertical, advecção e afloramento. O afloramento (upwelling) que se verifica ao longo das margens orientais dos oceanos são a razão para a alta produtividade biológica aí observada.

Nos 200 - 300m superficiais, os processos físicos de afloramento e afundamento (up- and downwelling) associados com divergências e convergências modificam localmente a distribuição dos nutrientes. No Pacífico equatorial valores elevados à superfície de fosfatos e silicatos ocorrem nas regiões de afloramento junto ao equador associado à divergência Equatorial Sul e entre a Contra-Corrente Equatorial Norte e a Corrente Equatorial Norte, cerca dos 10°N. Estas regiões têm alta produtividade biológica.

A distribuição de nutrientes no Atlântico tem grandes similaridades com a distribuição da salinidade com um mínimo correspondente à Água Profunda do Atlântico Norte (NADW) estendendo-se em cunha de Norte para Sul e valores mais elevados na Água Antártica Intermédia e de Fundo (AAIW e AABW) que se estende de Sul para Norte.

No Índico, valores de fosfato nas camadas superficiais são baixos (normalmente abaixo dos 1µM/Kg) entre os 10°N e os 40°S aumentando depois mais para Sul para 1,5µM/Kg. A profundidade médias à uma cunha de valores máximos acima dos 2µM/Kg, que se situa nos 1000m a Norte e que desce até aos 2000m a 25°S. A Sul dos 50°S toda a coluna de água apresenta valores acima dos 2µM/Kg.

Valores baixos de silicatos limitam-se aos 200m superficiais entre os 10°N e 25°S e 50°S até à Antártida, mas descem até aos 800m entre 25° - 45°S. Nas águas profundas a distribuição é diferente da do Pacífico e Atlântico com os silicatos a aumentar continuamente para o fundo a todas as latitudes até valores de 120µM/Kg e mais. Não existe uma cunha a profundidades médias como nos outros oceanos.

Typical Distributions of Water Characteristics in the Oceans

61

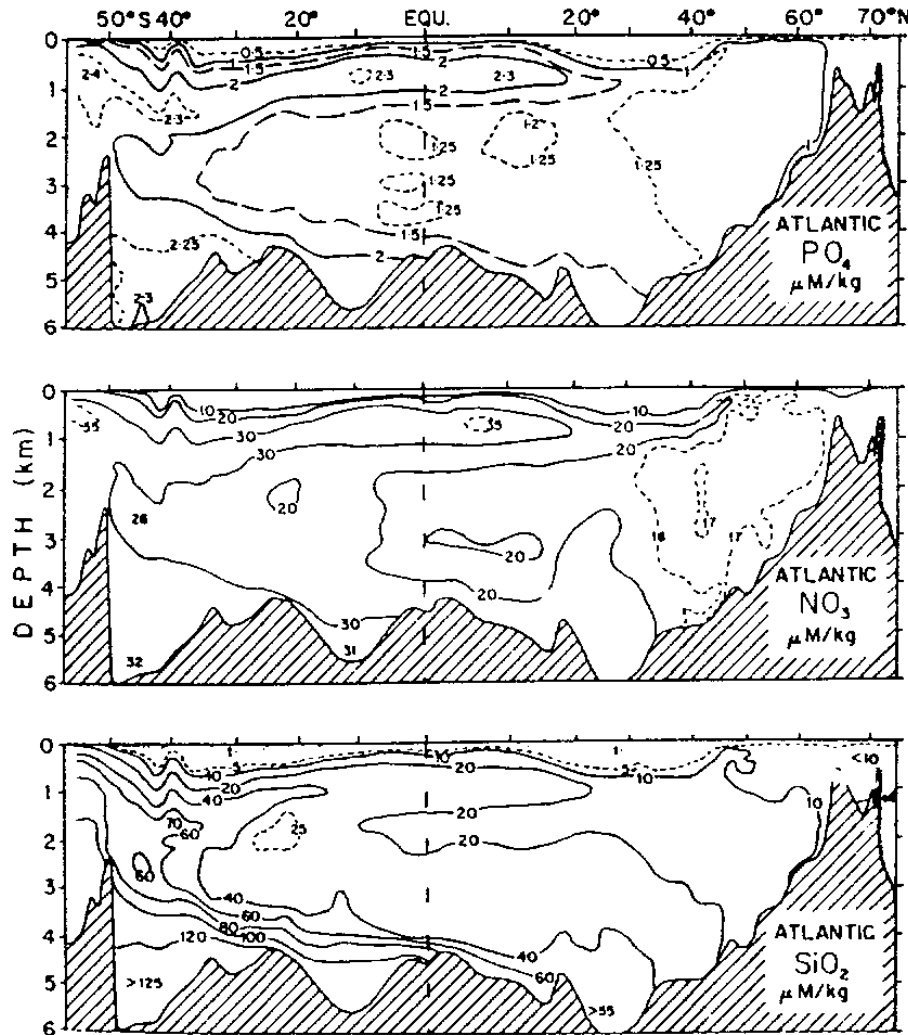


FIG. 4.15. Atlantic Ocean—south north vertical section of nutrients along the western trough (data from GEOSECS Atlas, Bainbridge, 1976).

60

Descriptive Physical Oceanography

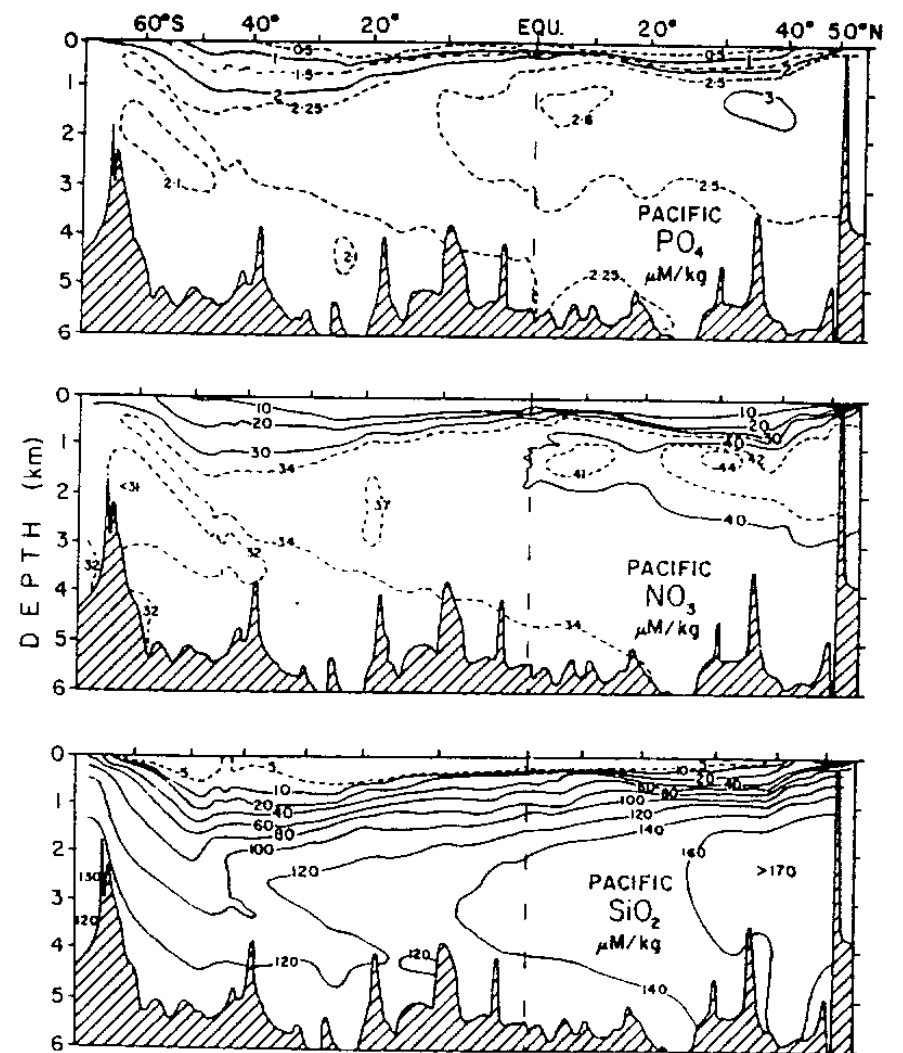


FIG. 4.14. Pacific Ocean—south north vertical section of nutrients along the 180° ($\pm 10^\circ$) meridian (data from GEOSECS Atlas, Craig *et al.*, 1981).

↳ Transparência do oceano superficial através de medições com o disco de Secchi

Profundidades de Secchi baixas correspondem a concentrações elevadas de Clorofila-A.

O aspecto mais importante é a diminuição abrupta da profundidade de Secchi acima dos 30° Latitude correspondendo a altas produtividades nas altas latitudes. No Pacífico Norte há uma variação sazonal na posição da frente transparente que migra cerca de 1000Km duma posição mais a Norte ~ 18°N em Março - Maio. Esta migração é atribuída ao aumento do afloramento e conseqüente aumento da produção biológica nas latitudes elevadas.

As grandes profundidades de Secchi no Atlântico são no Mar dos Sargãos, uma região de produtividade biológica notavelmente baixa.

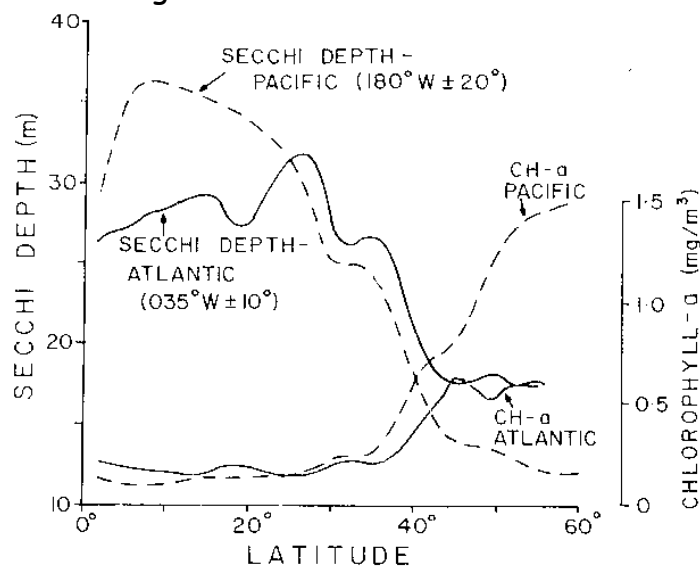


FIG. 4.16. Mean Secchi disc depths as functions of latitude in the Pacific and Atlantic Oceans.

A produtividade máxima a que foi observado um disco de Secchi foi de 79m (com 4 testemunhas!!) no Mar de Weddel em 1986, o que é espantoso pois a profundidade de Secchi calculada para a água destilada é de 80m. Em águas costeiras, valores de 10 a 2m são comuns e junto à saída de rios e estuários valores inferiores a 1m são esperados.

↳ Os Fréons

Um grupo de substâncias que tem vindo a ser usado recentemente em Oceanografia é o dos Clorofluorocarbonatos (CFCs) cujo nome comercial é Fréon. Os fréons são relativamente fáceis e baratos de medir no mar em pequenas quantidades de água por contraposição a alguns traçadores radioactivos como o ³⁹Ar e o ⁸⁵Kr que só é possível medir com exactidão em centenas de litros de água.

Não existe fonte natural de CFCs e desde que começaram a ser fabricados nos anos 30, a sua concentração na atmosfera tem aumentado quase exponencialmente.

Diferentes CFCs aumentaram, no entanto a taxas diferentes. A razão entre o Fréon11 (CCl_3F) e o Fréon12 (CCl_2F_2) na atmosfera subiu de praticamente \emptyset a meio dos anos 40 para aproximadamente 0,6 a meio dos anos 70. A razão Fréon11 : Fréon12 da água a uma determinada profundidade no oceano é a medida da concentração relativa dos dois Fréons na atmosfera quando a água esteve pela última vez à superfície (depois de considerar as diferentes solubilidades). É assim possível "datar" a água, ou seja determinar quando é que ela se formou.

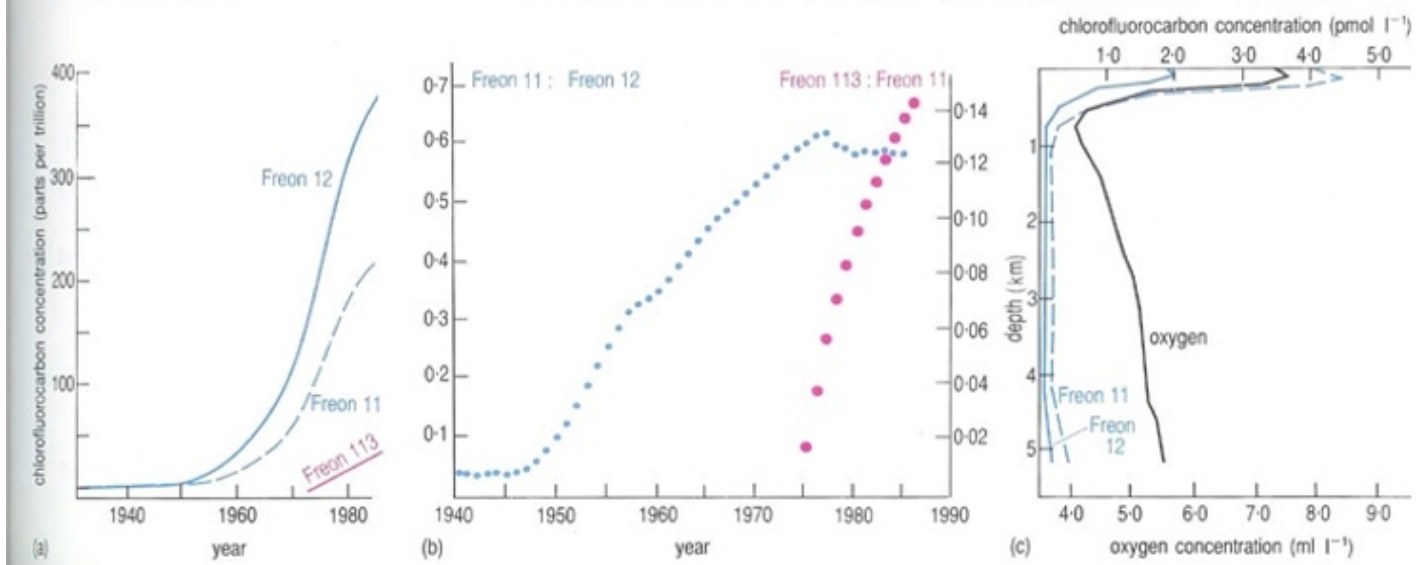
A razão Fréon11 : Fréon12 parou de aumentar em 1973 mas aí, uma produção significativa de Fréon113 - um novo fréon - começou em 1975. A partir daí a sua concentração na atmosfera aumentou tão rapidamente que ele pode ser usado para determinar com exactidão o ano em que uma dada massa de água se formou (desde que depois de 1975).

O Fréon13 tem-se revelado particularmente útil no estudo de massas de água que mergulham e se espalham muito rapidamente - por exemplo a Água Profunda do Atlântico Norte (NADW - North Atlantic Deep Water).

Figure 6.31 (a) The increases in the atmospheric concentrations of Freon 11 (CCl_3F) and Freon 12 (CCl_2F_2) between 1940 and 1975. Since 1975, concentrations have remained more or less constant and so Freon 11 : Freon 12 ratios are not very useful for 'aging' recently formed water masses. By the end of the period covered by this diagram, Freon 113 was also being produced.

(b) Changes in the Freon 11 : Freon 12 ratio and the Freon 113 : Freon 11 ratio, up until 1987.

(c) Concentration-depth profiles of Freon 11, Freon 12 and oxygen, in the South Atlantic at about 55° S. (1 pmol (= picomol) is 10^{-12} mol.) Note that despite its lower concentrations in the atmosphere, Freon 11 has higher concentrations in seawater than does Freon 12 because it is more soluble.



↪ Carbono-14 (^{14}C) e Tritium (^3H)

Dois traçadores radioactivos, têm sido usados em oceanografia. Ambos são introduzidos na atmosfera através das explosões nucleares. A sua introdução no oceano é feita através da chuva e da descarga dos rios. Ambos são também produzidos naturalmente na atmosfera através do bombardeamento dos raios cósmicos.

O período de semi-vida de tritium é de cerca de 12 anos.

O período de semi-vida de carbono-14 é de 5700 anos.

O ^{14}C é ideal para estudar as escalas temporais das misturas oceânicas. O ^{14}C natural é o traçador mais usado para calcular idades e tempos de mistura dos oceanos.

A razão $^{14}\text{C} : ^{12}\text{C}$ mais elevada é encontrada na atmosfera e nas águas superficiais em equilíbrio com a atmosfera. Quando as águas da superfície mergulham o ^{14}C começa a decair com o tempo para ^{14}N . Quanto mais velha for a água, ou seja à quanto mais tempo estiver afastada da superfície, mais pequena será a razão $^{14}\text{C} : ^{12}\text{C}$.

A razão $^{14}\text{C} : ^{12}\text{C}$ pode ser medida com um Espectrómetro de Massa e o resultado é usado para calcular a sua idade.

Dados dos isótopos de Carbono têm sido usados para estimar os tempos de residência da água no oceano profundo em cerca de 1500 anos. No entanto, é agora conhecido que o carbono em forma particular mergulha da superfície para o fundo muito mais rapidamente do que se julgava.

Aquelas estimativas foram assim revistas. No Atlântico Norte, o tempo médio de residência da água mais fria do que 4°C é provavelmente de cerca de 200 anos. Na Bacia Europeia é de cerca de 13 anos, enquanto que na Bacia da Guiné é de mais de 938 anos.

Cálculos recentes baseados na distribuição de ^{14}C nas águas abissais indicam tempos médios de residência (ou de substituição) para águas abaixo dos 1500m de:

510 anos - Pacífico

250 anos - Índico

275 anos - Atlântico

Considerando o volume das massas de água em questão, estes tempos de residência podem ser usados para estimar as taxas de formação das diferentes massas de água.