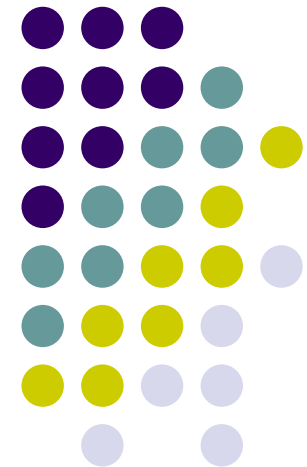


Estado Médio Observado do Oceano

Estrutura da temperatura média
dos oceanos

Variabilidade da temperatura

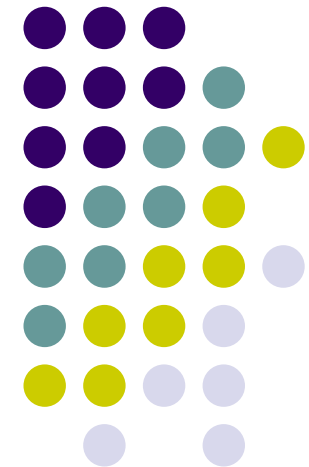


Introdução:

► O oceano é uma componente muito importante do sistema climático. Os oceanos são um importante veículo de transporte de energia das latitudes baixas para as latitudes altas, de forma a reduzir o gradiente de temperatura Norte-Sul.

► A temperatura é uma propriedade termodinâmica dos fluidos, e é devida à actividade energética das moléculas e dos átomos no fluido.

► A variação da temperatura no oceano vai desde o ponto de congelação, que é cerca de -1.7°C (dependendo da salinidade), até um máximo de cerca de 30 ou 31°C nos oceanos tropicais. Esta variação é relativamente pequena quando comparada com a variação da temperatura do ar.



Estrutura da temperatura média dos oceanos:

Distribuição Global da Temperatura:

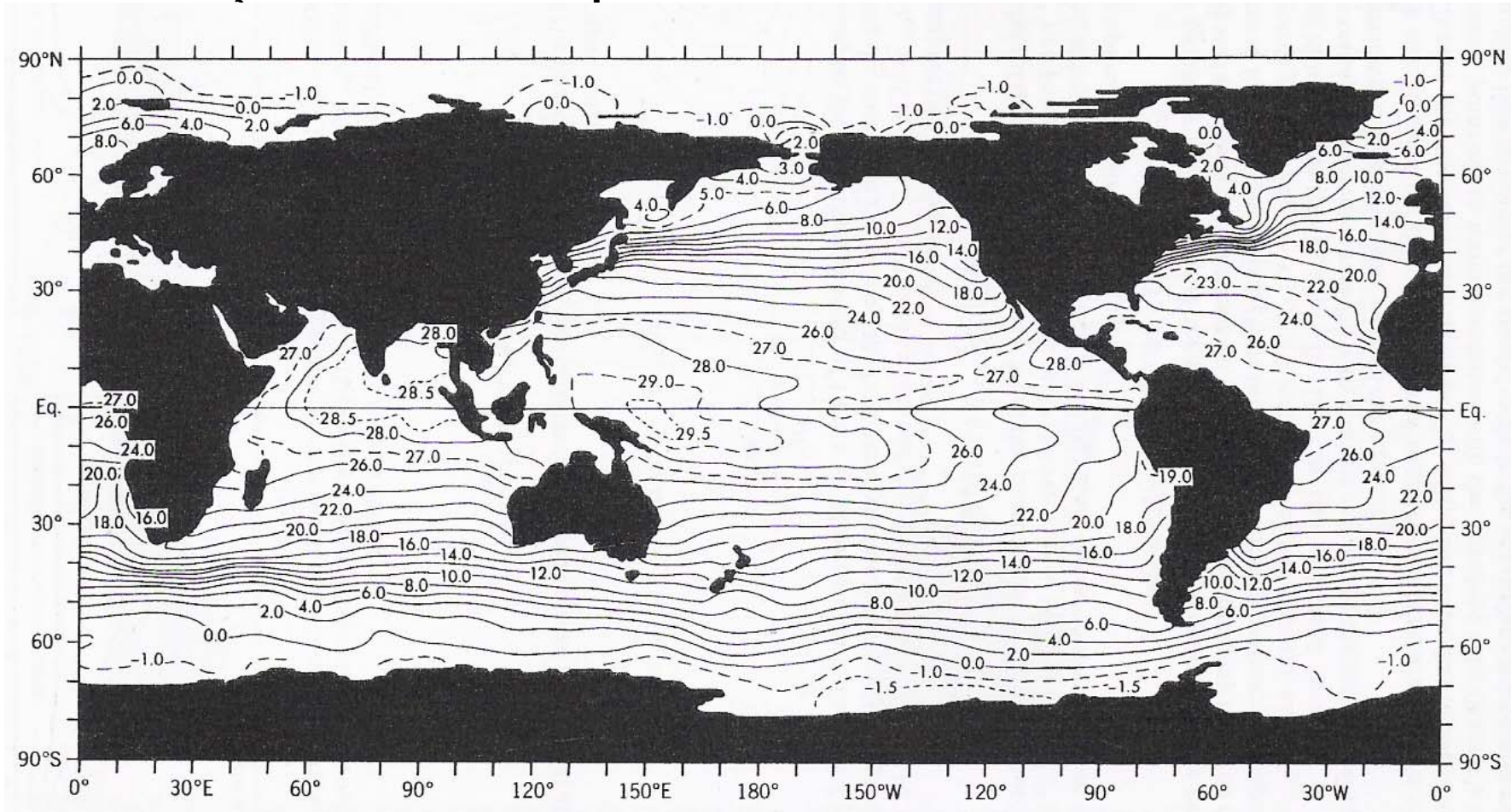
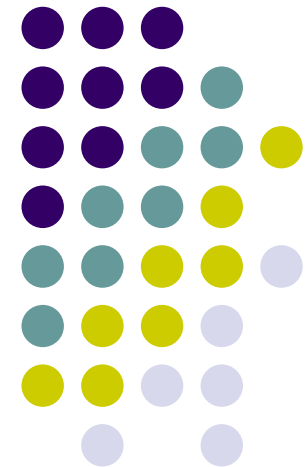


Figura 1: Distribuição Global da temperatura na superfície do oceano para condições médias anuais, em °C.

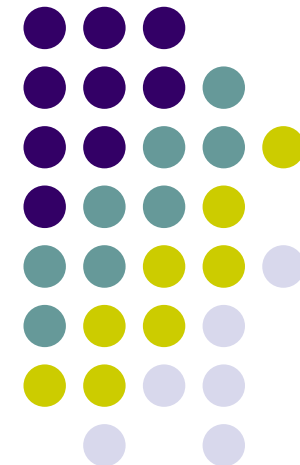
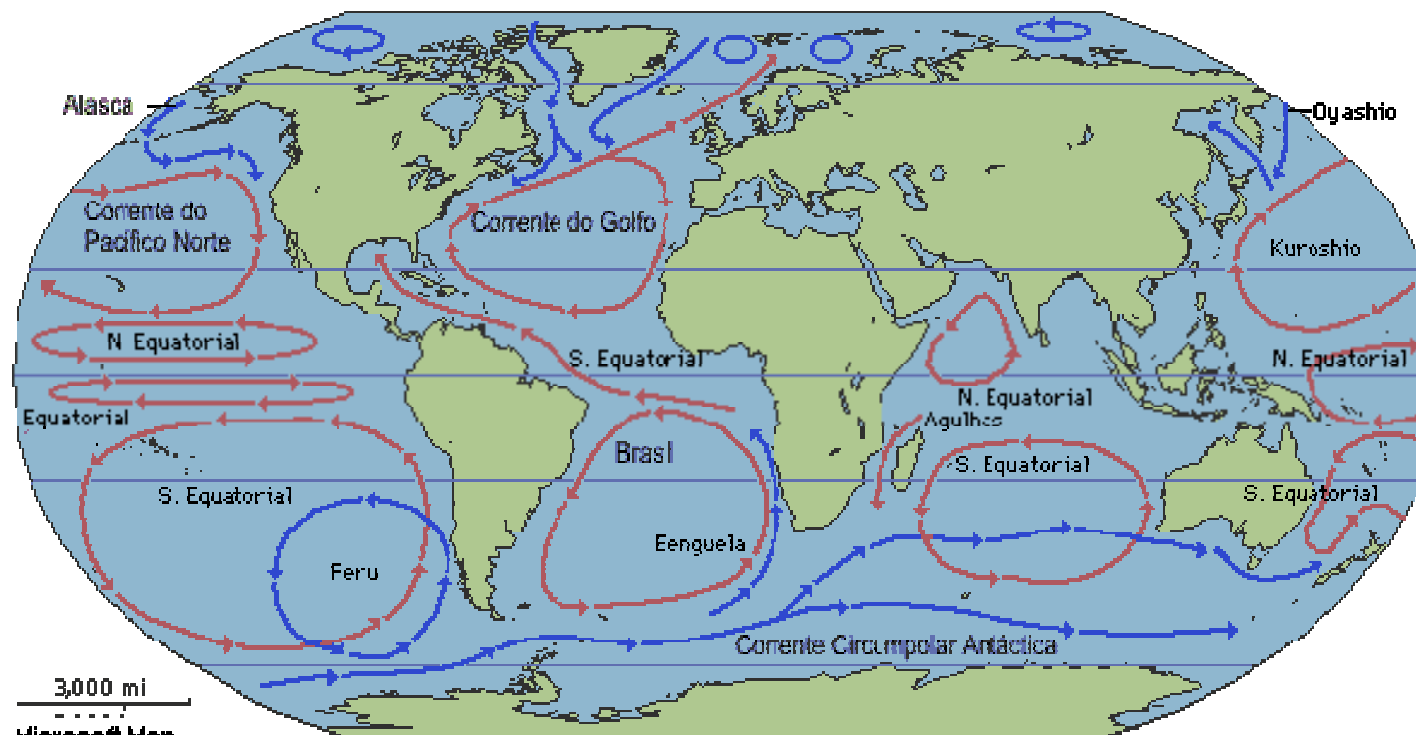
► Tal como esperado, os maiores valores de temperatura são encontrados nas regiões tropicais com máximos no Oeste dos oceanos Pacífico e Índico.

► No entanto os maiores gradientes Norte-Sul são encontrados nas latitudes médias e altas, sendo mais pronunciados no Hemisfério Sul.

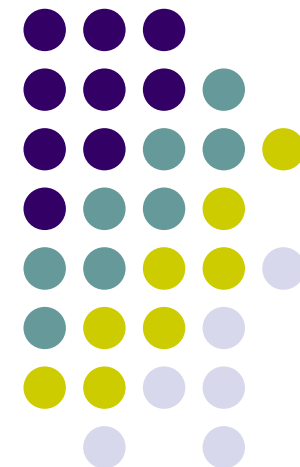
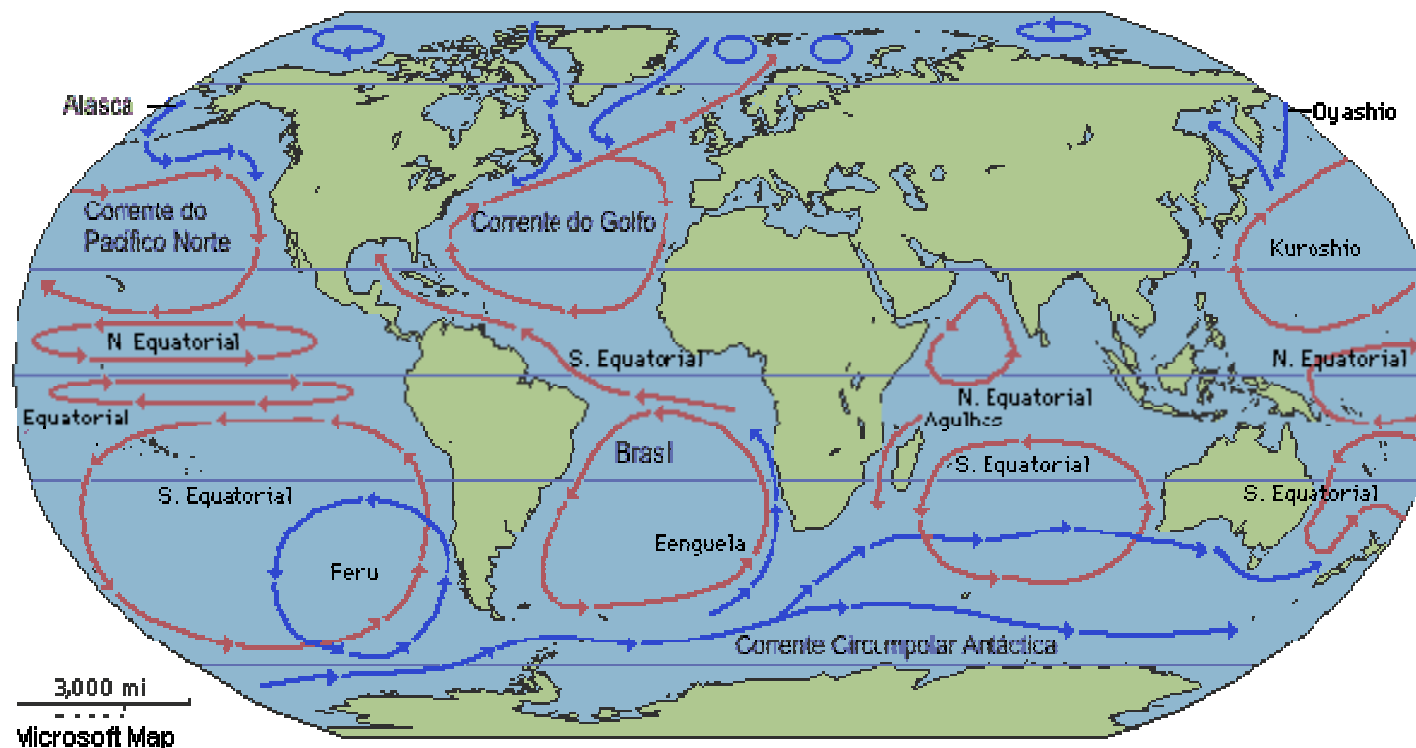
► As isotérmicas na superfície do oceano têm um carácter zonal sofrendo algumas distorções devido à influência dos continentes.



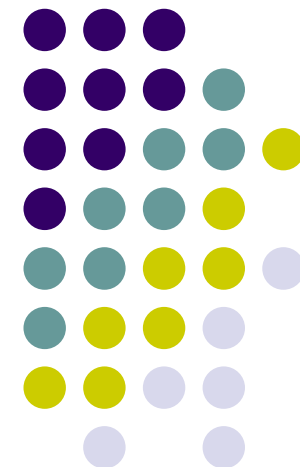
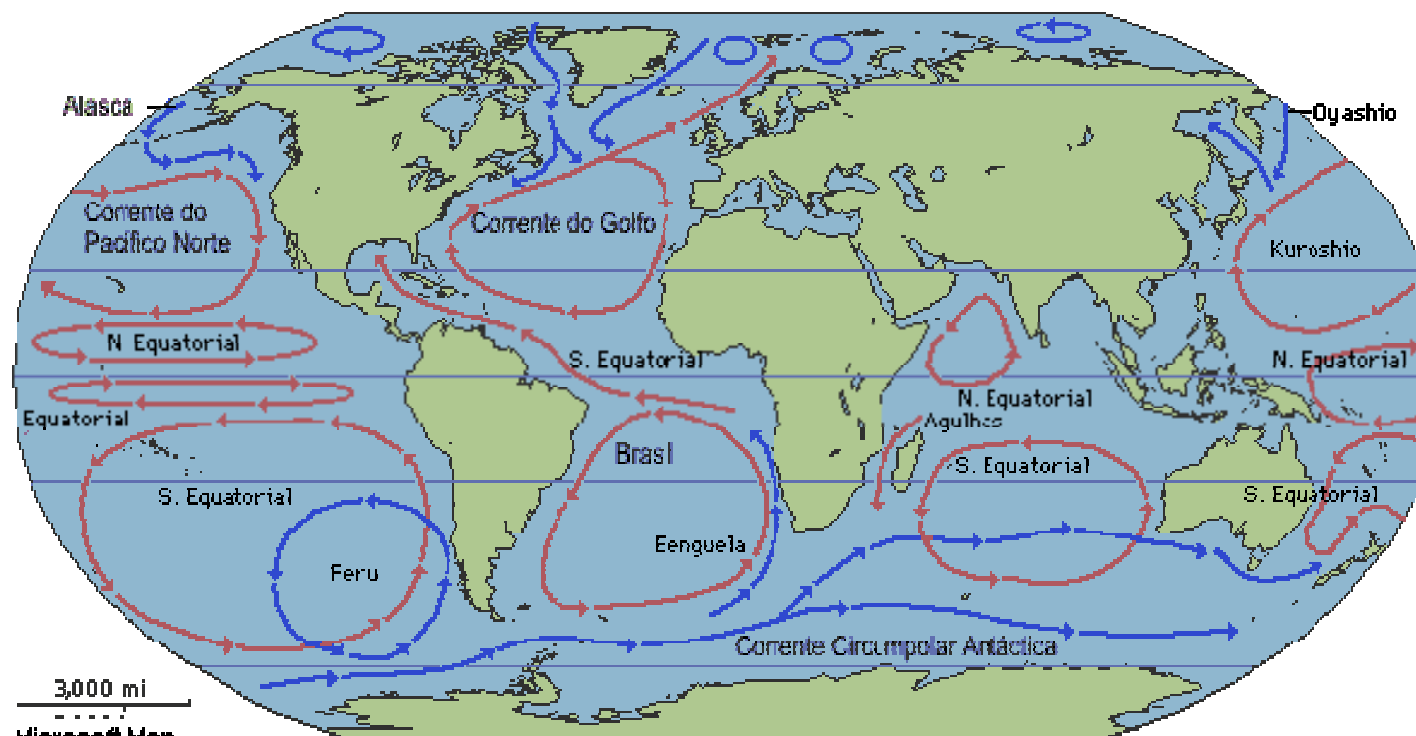
► Esta influência manifesta-se nas correntes quentes polares (Correntes do Golfo, Brasil e Kuroshio) e no sistema de correntes frias para fora do equador (Correntes do Labrador, Ilhas Canárias, Benguela, Califórnia e Peru).



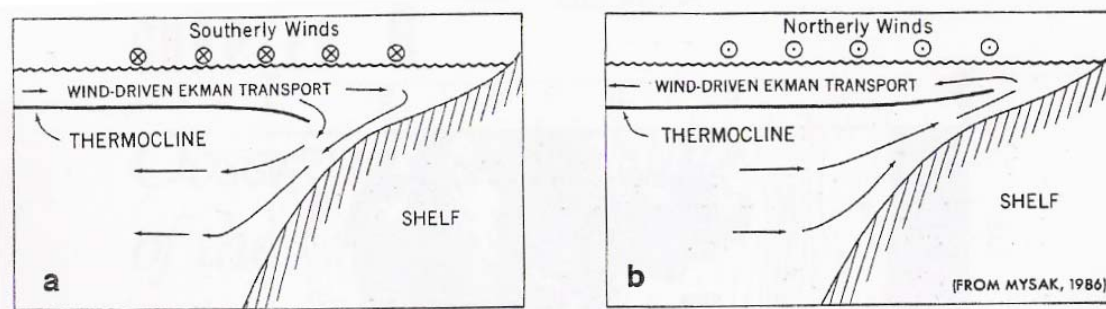
- ▶ Nos subtropicos as águas do lado Oeste tendem a ser mais quentes do que no lado Este
- ▶ Nas altas latitudes ocorre o oposto (mais quente a Este). Anomalia quente do Mar Norueguês devido à corrente do Golfo.



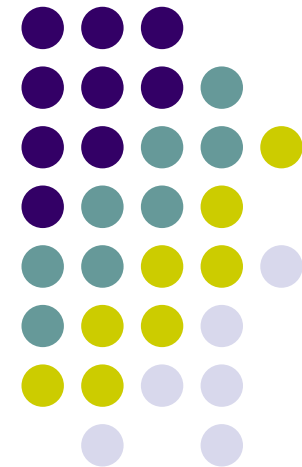
- ▶ As baixas temperaturas nas correntes frias para o equador no lado Este dos "gyres" é reforçada por eventos de *upwelling* - Corrente das Canárias, da Califórnia, de Benguela, do Peru.



- ▶ O *upwelling* nestas regiões está associado aos regimes do vento local e é mais intenso quando há ventos fortes para o equador paralelo à costa.
- ▶ Levando a um grande transporte de Ekman desde a costa e direccionado para o lado direito do vento no H.N. e para a esquerda no H.S.



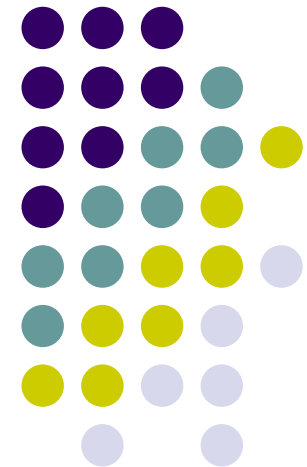
(a) *Downwelling* ao longo de uma linha de costa Norte-Sul devido a ventos de Sul. (b) *Upwelling* ao longo de uma linha de costa Norte-Sul devido a ventos de Norte.



▶ As temperaturas relativamente baixas equatoriais são uma consequência dos ventos dominantes de Este que geram um transporte de massa de Ekman para fora do equador.

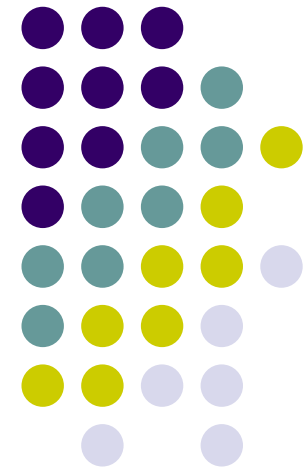
▶ A razão para esta divergência do transporte de Ekman é que o parâmetro de Coriolis, f , muda de sinal no equador.

▶ Devido ao aumento de $|f|$ para os pólos o transporte de Ekman diminui rapidamente com a latitude limitando a extensão meridional do *upwelling* para uma zona estreita à volta do equador.



► É de mencionar que as temperaturas negativas observadas perto da Antártica e Ártico existem devido ao facto de o ponto de congelação da água do mar ser mais baixo, o que está associado com os sais dissolvidos.

► O ponto de congelação da água pura é cerca de 0°C, enquanto que água com sais dissolvidos tem um ponto de congelação inferior.



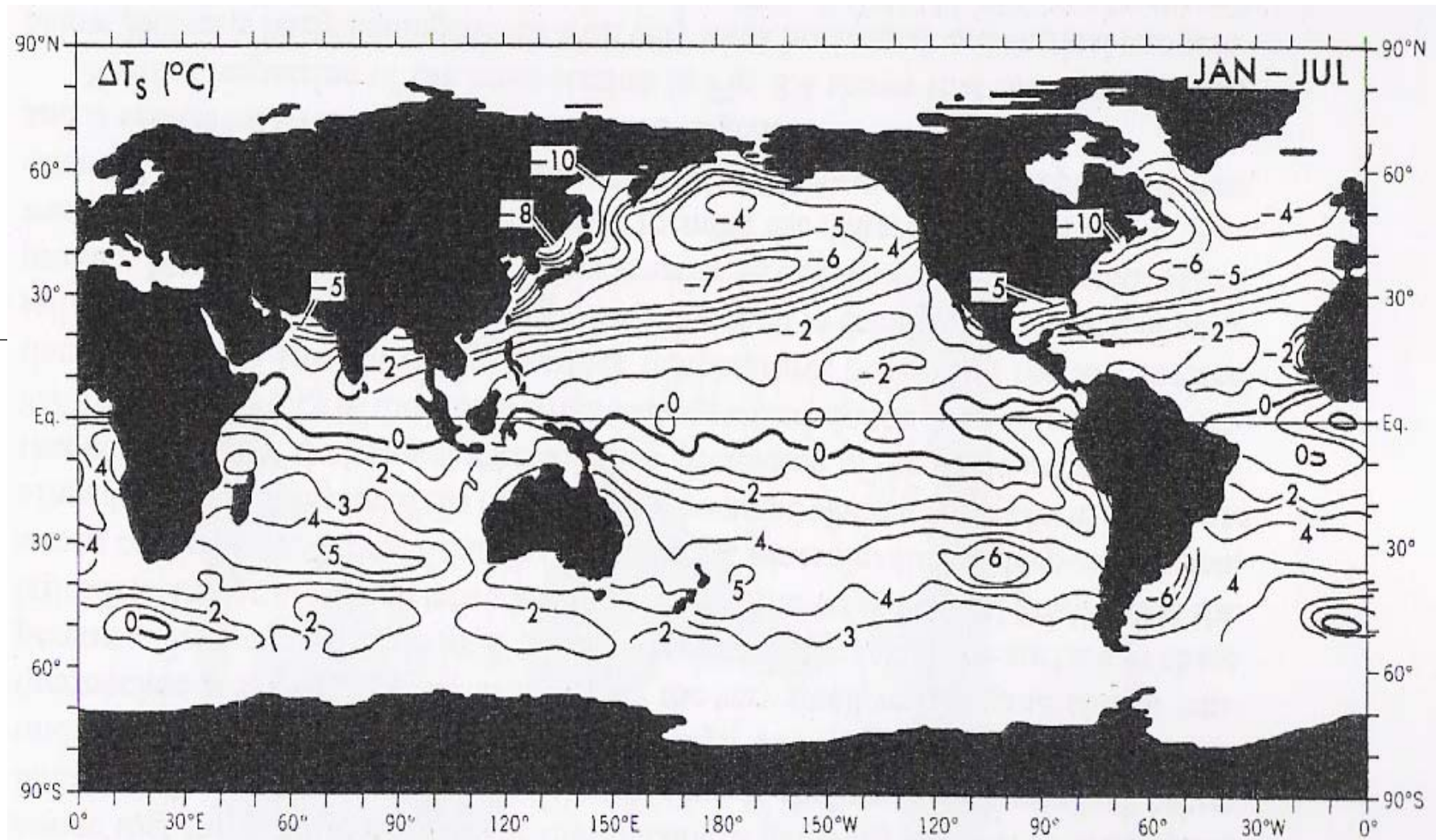
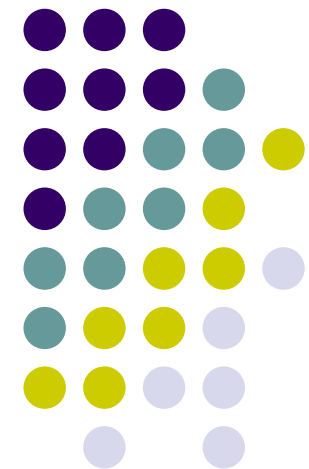


Figura 2: Distribuição Global da temperatura na superfície do oceano para a diferença Janeiro-Julho, em °C.

▶ As maiores diferenças, de cerca de -10°C , ocorrem no H.N. perto dos 45° de latitude na costa Este dos continentes.

▶ Estas características podem estar ligadas aos vestígios predominantes das massas de ar migratórias formadas na Euro-Ásia e na América do Norte.

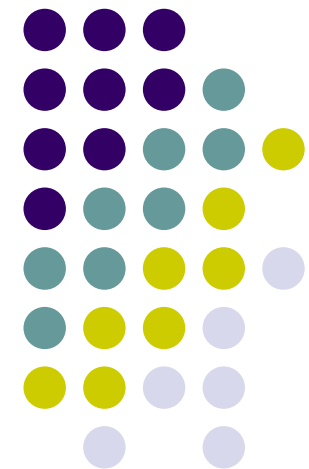
▶ Porque estas massas de ar são quentes no Verão e muito frias e secas no Inverno, há uma forte interacção (principalmente nas costas Este dos continentes) entre o ar e a água do mar com uma intensa troca de calor latente e sensível.



► Variações sazonais nas latitudes tropicais e equatoriais são muito pequenas, a maioria na ordem dos 2°C.

► No H.S., a variação das temperaturas é muito mais pequena que no H.N. com valores máximos de 6°C ou menos por causa da limitada cobertura de terra.

► As diferenças de temperatura são também zonalmente mais uniformes no H.S., com excepção das regiões costeiras da África e da América do Sul, o que pode estar associado a variações de *upwelling* e *downwelling*.



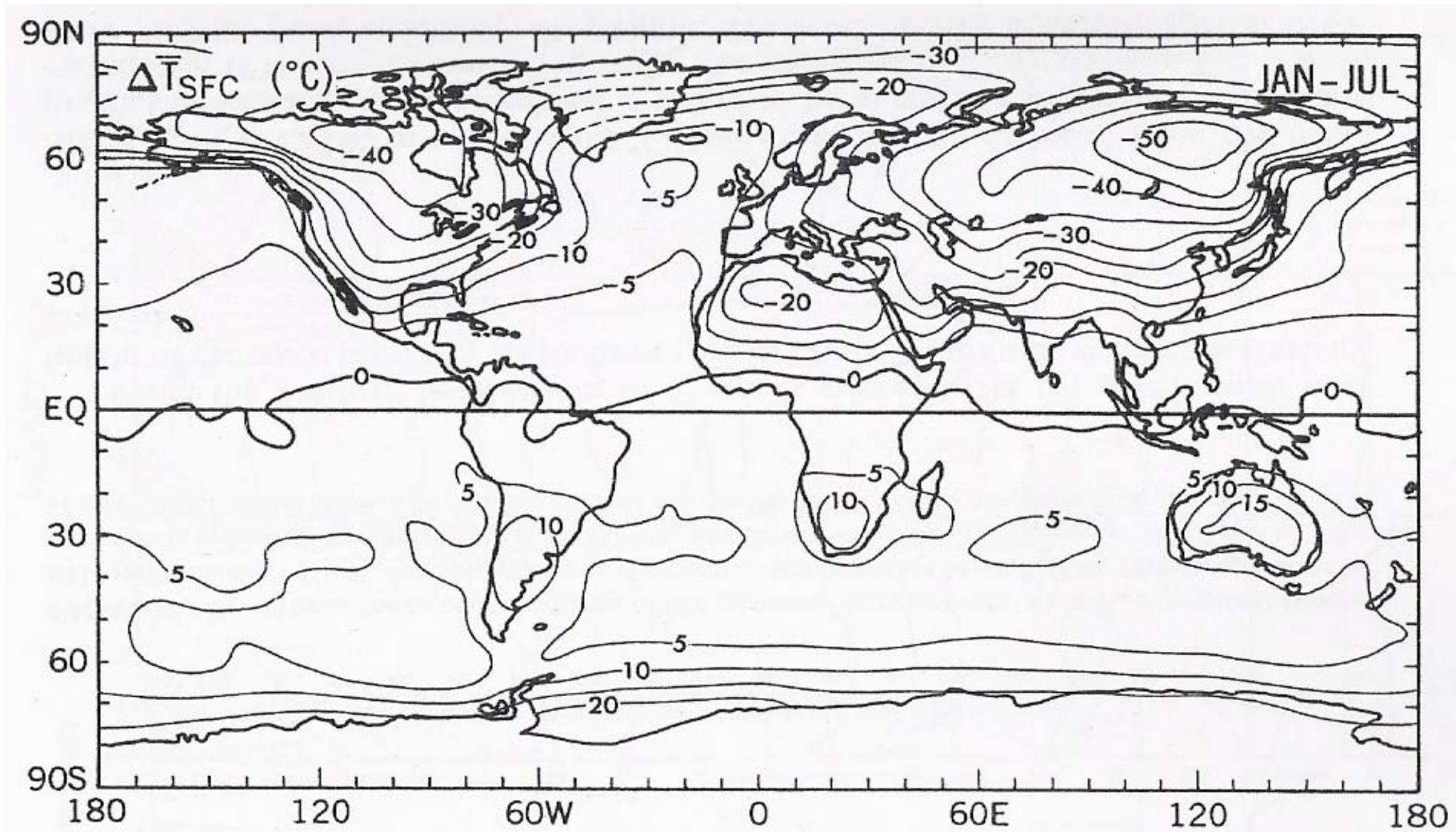
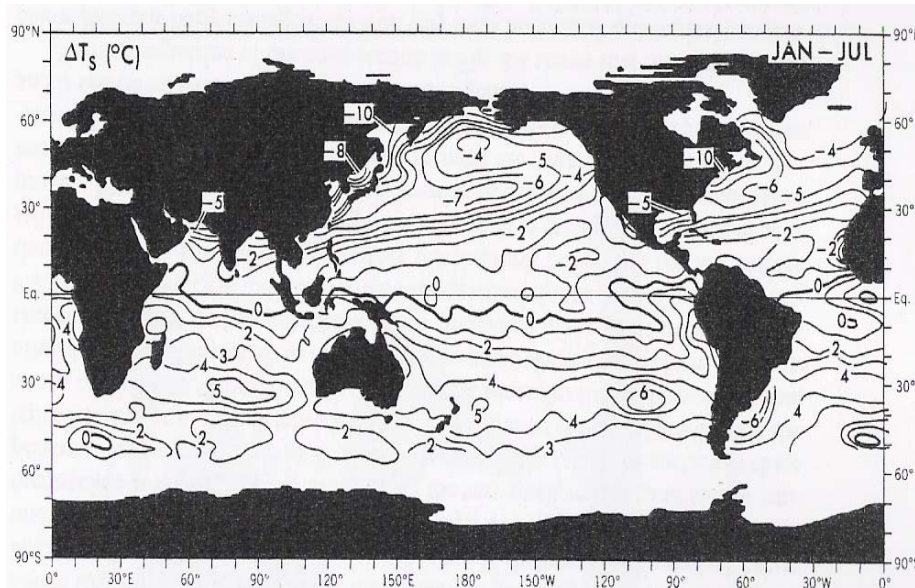
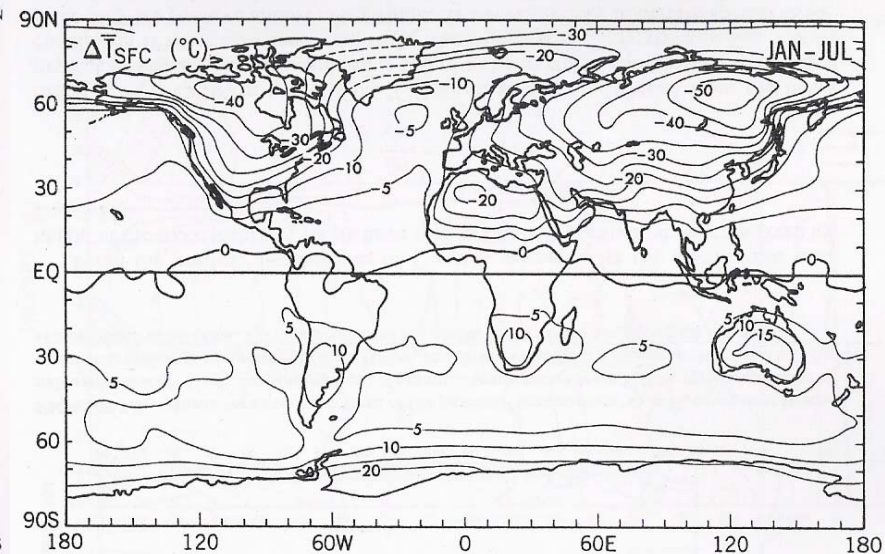


Figura 3: Distribuição Global da temperatura do ar à superfície para a diferença Janeiro-Julho, em °C.

A comparação das figuras 2 e 3 mostra que as variações anuais da temperatura de superfície do oceano são, em geral, mais pequenas que as variações na temperatura de superfície atmosférica, que pode atingir valores da ordem dos -50°C nos continentes do Hemisfério Norte.



Temperatura à superfície do oceano, Janeiro-Julho



Temperatura do ar à superfície, Janeiro-Julho

Estrutura vertical da temperatura:

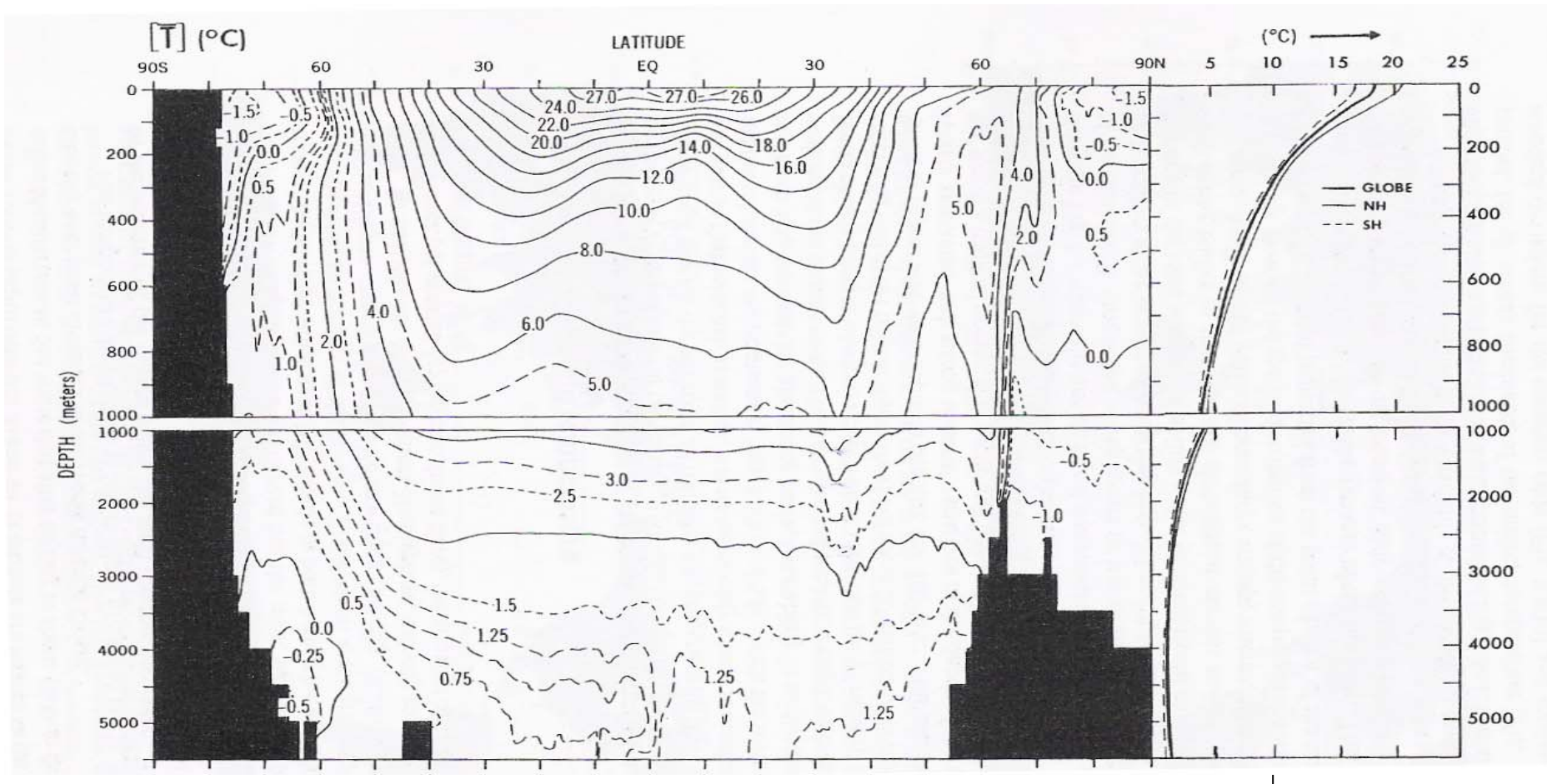
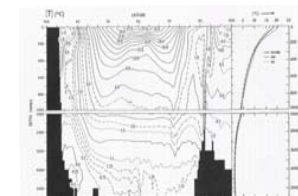
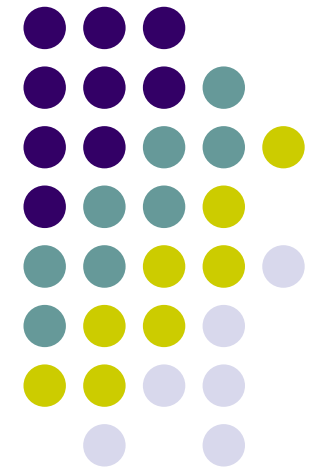


Figura 4: Secção zonal média da temperatura para a camada do oceano de 0-1000m e para a camada abaixo de 1000m, em °C, para condições médias anuais. Perfis verticais hemisféricos e globais da temperatura média (lado direito).

► A secção mostra uma saliente e larga cunha de água quente em cada hemisfério penetrando para baixo desde cerca de 15° de latitude perto da superfície para 35° de latitude a 1000m de profundidade.

► Esta característica está associada à convergência do transporte de Ekman e *downwelling* nas camadas superficiais entre os ventos alísios e as latitudes médias com ventos de Oeste.

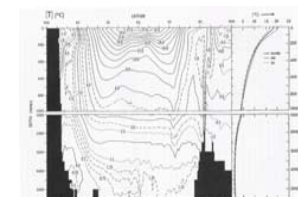
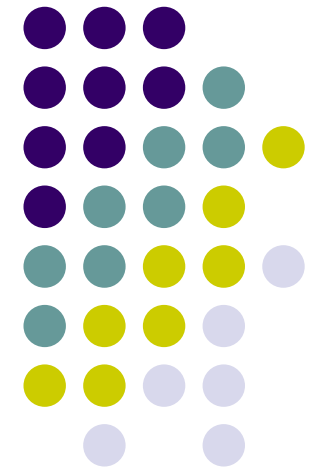
► Do mesmo modo, a região de águas frias nas latitudes tropicais é causada pela divergência do transporte de Ekman das camadas fundas associada ao regime de ventos alísios (para Oeste).



▶ Através dos gradientes verticais, verifica-se que na camada superficial a termoclina permanente é mais profunda nas latitudes subtropicais.

▶ No interior dos trópicos, a termoclina é mais baixa com os valores mais pequenos em baixo do equador meteorológico.

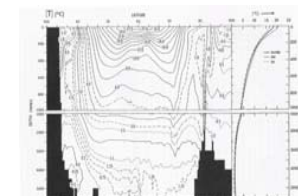
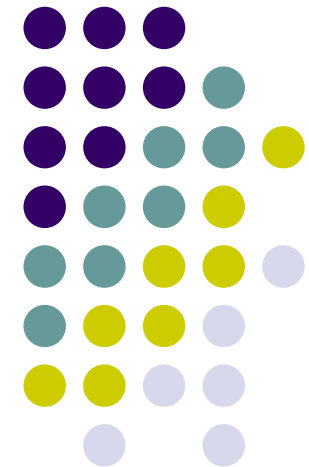
▶ Nas latitudes altas e subpolares, a termoclina permanente não está bem definida, o que se pode verificar nos gradientes verticais de temperatura muito pequenos.



► Nas latitudes altas do H.N., a causa para os fracos gradientes verticais é o forte arrefecimento no Atlântico Norte durante o Inverno levando a uma convecção profunda.

► O afundamento das águas forma um importante componente da circulação termohalina e é uma fonte da NADW (*North Atlantic Deep Water*).

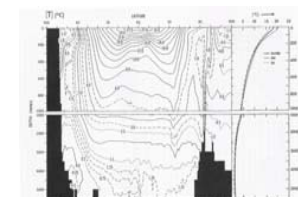
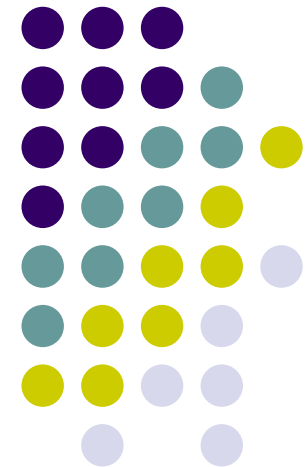
► No oceano Ártico, a convecção é limitada às baixas temperaturas da superfície porque as baixas salinidades superficiais (devidas ao influxo da água doce dos rios) tendem a estabilizar os perfis de densidade vertical.



▶ Nas altas latitudes do Hemisfério Sul há um forte afundamento de águas frias e salinas à volta da periferia da Antártica, formando a ABW (*Antarctic Bottom Water*).

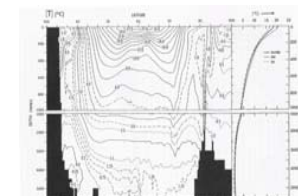
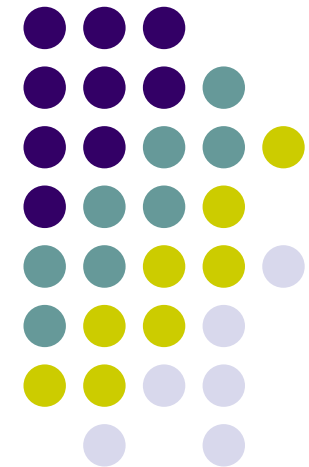
▶ Outro exemplo de subsidência profunda é encontrado a norte da Corrente circumpolar da Antártica e está associada à forte convergência do transporte de Ekman.

▶ A água profunda, abaixo dos 2000m é homogênea com gradientes de temperatura horizontais e verticais muito fracos, excepto nas altas latitudes do sul.



▶ As isotérmicas abaixo dos 1000m de profundidade, entre os 30° e 40°N de latitude, não são homogêneas o que está relacionado com o fluxo para fora da *Mediterranean Sea Water*.

▶ Esta massa de água é muito salina e quente, e ao sair pelo Estreito de Gibraltar afunda até cerca de 1000m de profundidade e espalha-se lateralmente a grandes distâncias no Oceano Atlântico.



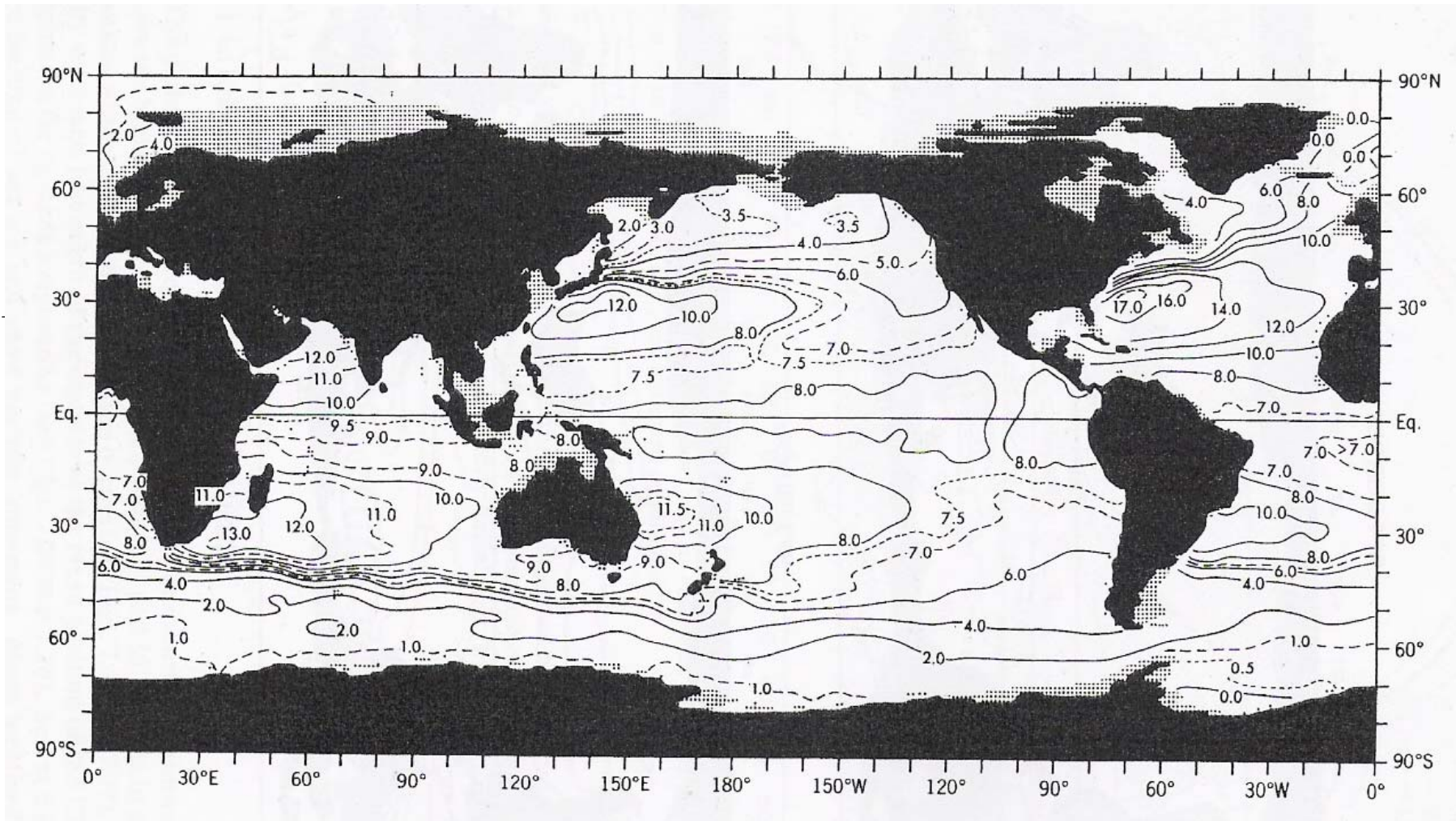


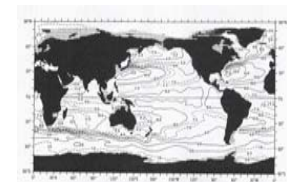
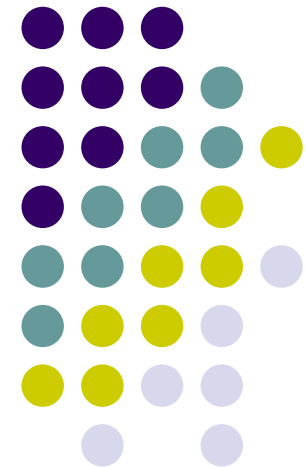
Figura 5: Distribuição global da temperatura média anual, em °C, a 500m de profundidade.

► Os oceanos a este nível continuam baroclínicos (densidade depende da temperatura, da pressão e salinidade) devido aos fortes gradientes térmicos.

► No equador são observadas temperaturas relativamente baixas.

► Nas latitudes de 30° , nos dois hemisférios, observam-se temperaturas altas, com os maiores valores na zona Oeste dos oceanos.

► Estas águas quentes estão associadas à convergência superficial do transporte de Ekman e *downwelling* nos *gyres* subtropicais.



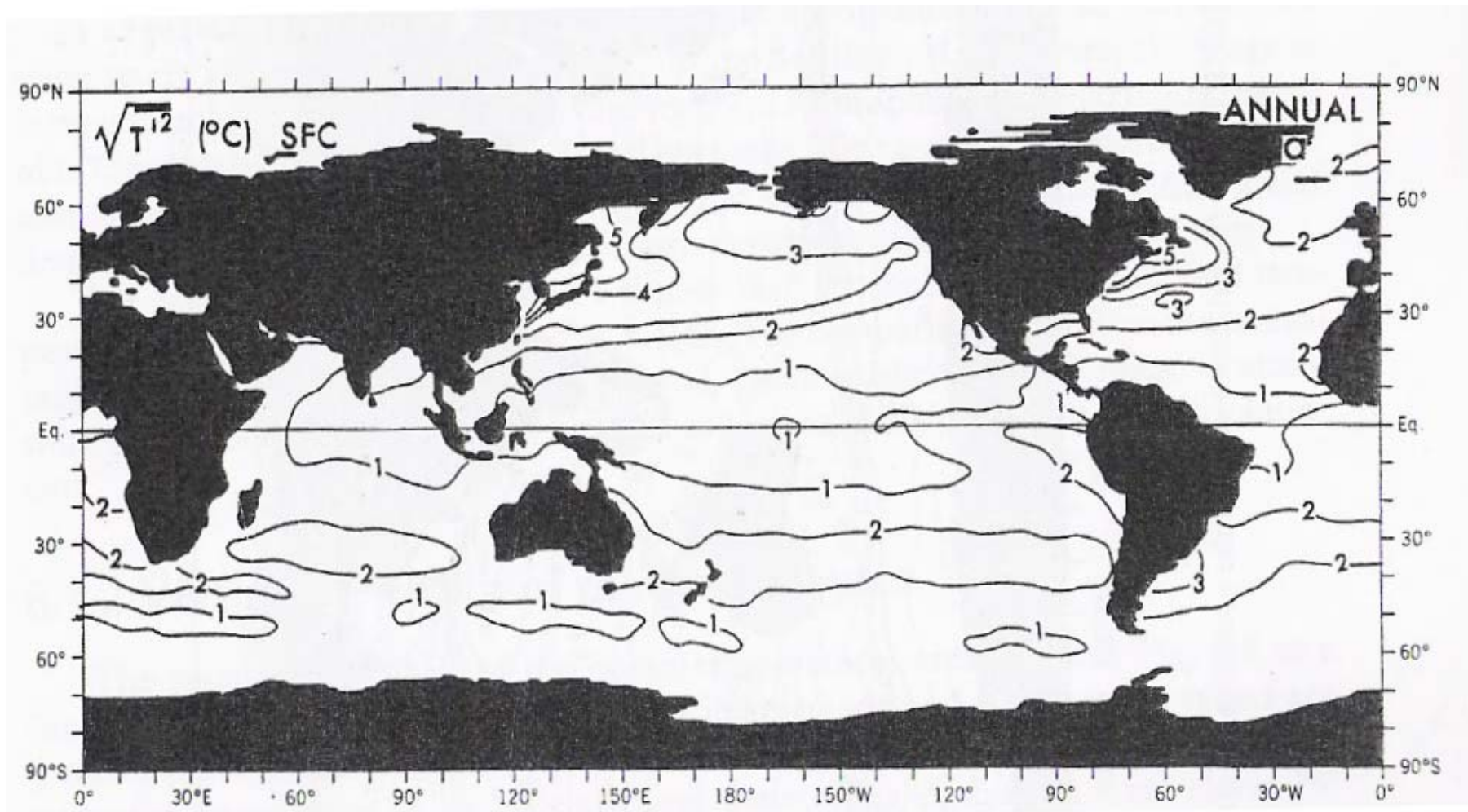
Variabilidade da temperatura:

Figura 6: Distribuição global do desvio da temperatura do oceano à superfície, em °C, para condições médias anuais.

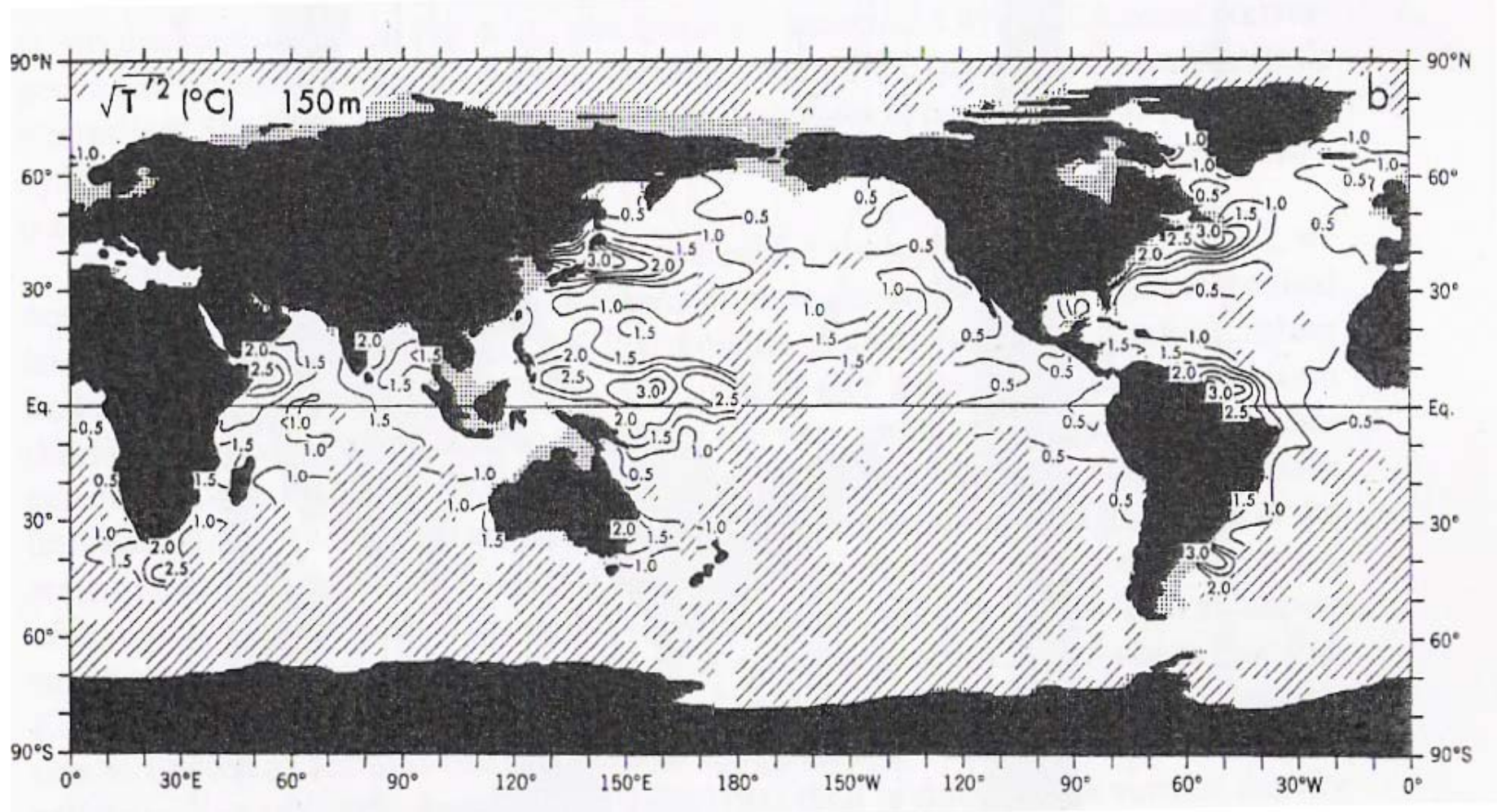


Figura 7: Distribuição global do desvio da temperatura do oceano a 150m de profundidade, em °C, para condições médias anuais. As áreas a tracejado indicam falta de dados.

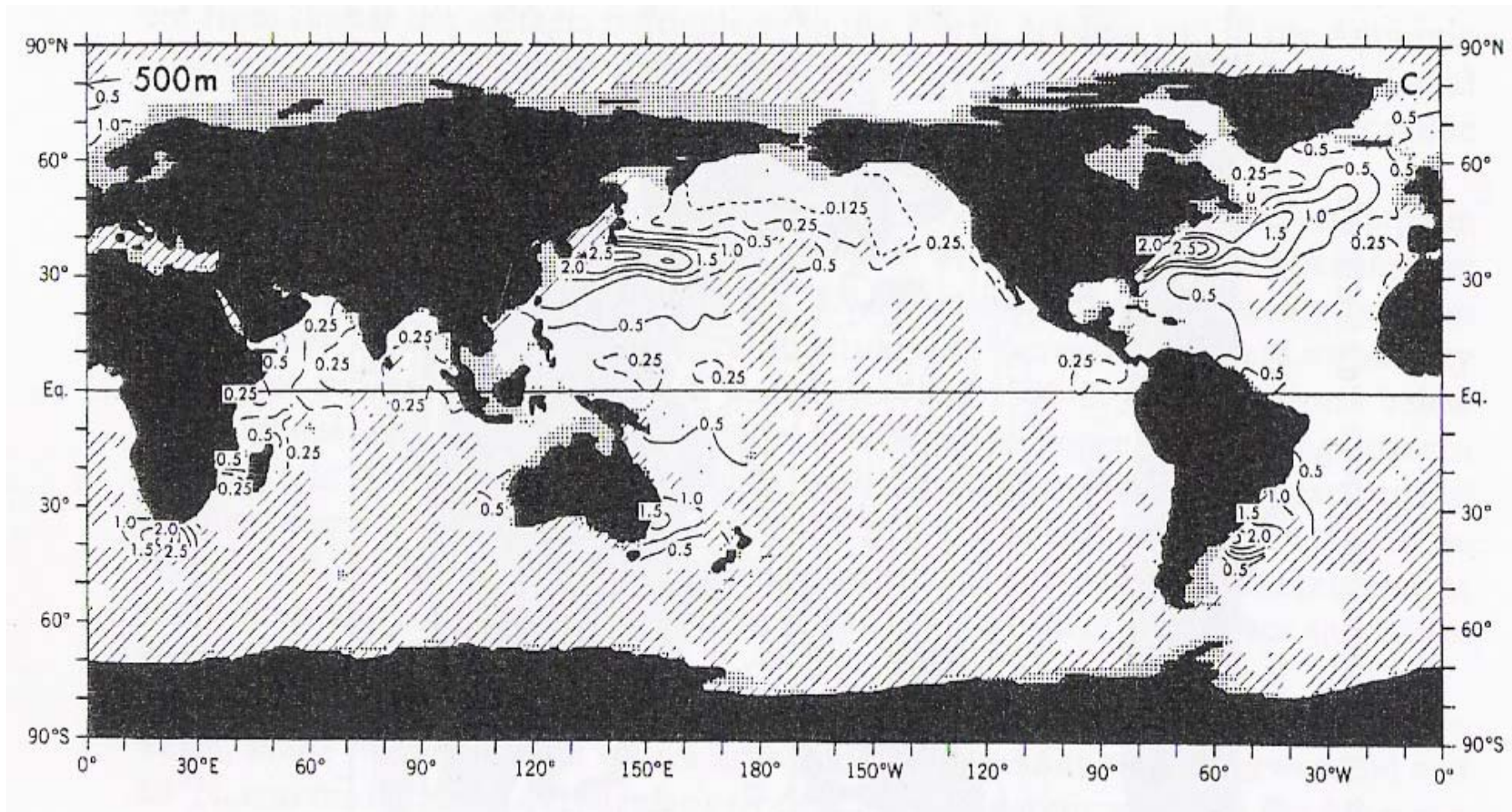
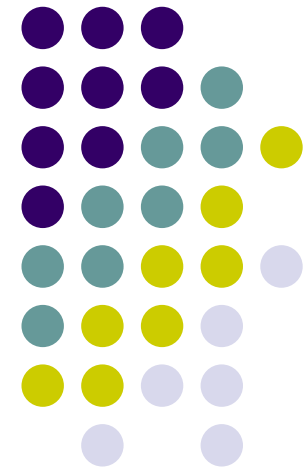


Figura 8: Distribuição global do desvio da temperatura do oceano a 500m de profundidade, em °C, para condições médias anuais. As áreas a tracejado indicam falta de dados.

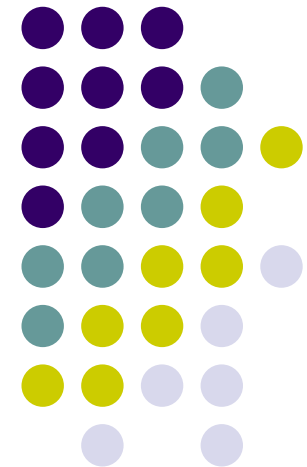
▶ Estes mapas contém os efeitos de todos os fenômenos transientes com escalas de tempo menores que um ano.

▶ Comparando todas as figuras, encontra-se que a forte variabilidade superficial nas latitudes médias interligada com a mais importante corrente oceânica é reduzida com a profundidade mas é evidente a sua presença numa profundidade de 500m.

▶ No entanto, nos trópicos, a cerca de 20° de latitude, a variabilidade tende a aumentar com a profundidade nos primeiros 100m.



► Este aumento está provavelmente associado com as fortes variações sazonais da profundidade da termoclina a Oeste dos oceanos tropicais, que ocorrem abaixo da camada superficial bem misturada a uma profundidade de 100m.



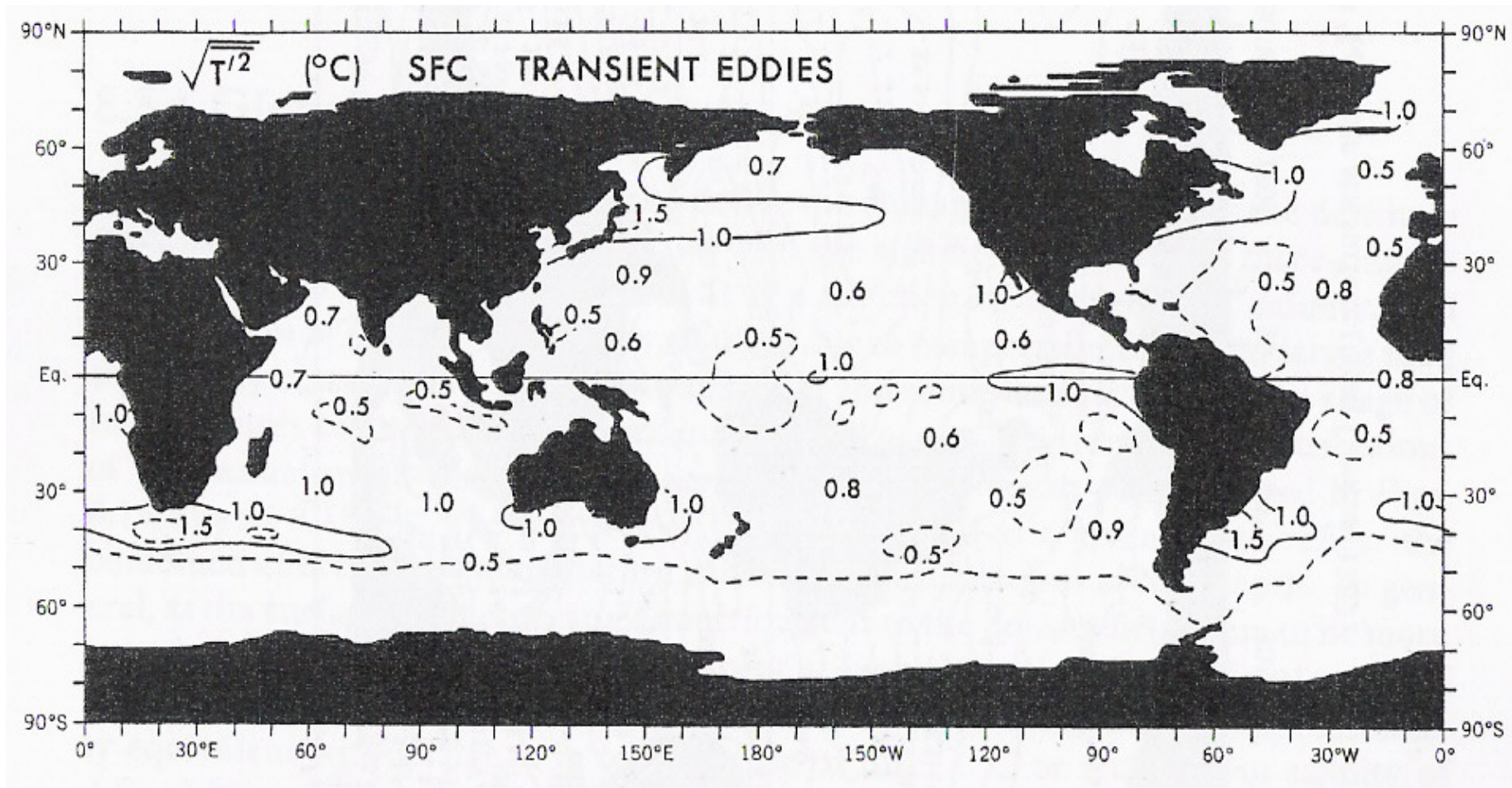
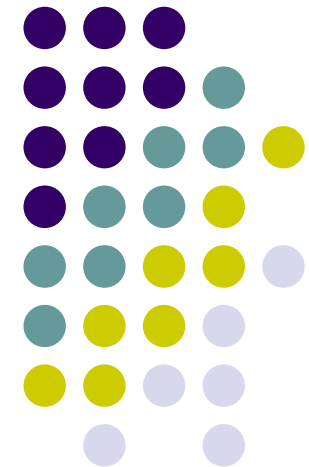


Figura 9: Distribuição do desvio padrão dia-a-dia da temperatura da superfície do oceano onde o ciclo anual foi removido. Só flutuações com períodos de alguns dias a um mês estão incluídas, as chamadas escalas sinópticas.

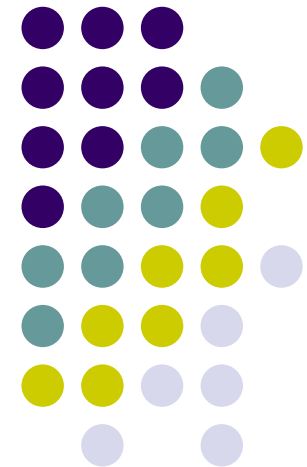
► A contribuição não sazonal da variabilidade da temperatura à superfície é bem visível na figura 9, onde o sinal anual foi removido de modo a obter uma melhor representação dos *eddies* (remoinhos), indicando a actividade de mesoscala nos oceanos.

► Comparando as figuras 9 e 6 verifica-se que uma fracção bastante considerável da variabilidade total à superfície é devida a variações não sazonais, como os meandros na corrente circumpolar Antárctica e na corrente do Golfo, Kiroshio, Agulhas, e correntes de Falkland, quando se desvia da costa.



► Além de mostrar a distribuição espacial da variabilidade temporal, os mapas das figuras 6,7,8 e 9 também são importantes do ponto de vista da energia do oceano, uma vez que a quantidade $\sigma^2(T) = \overline{T'^2}$ é a variância da temperatura.

► A variância dá uma medida aproximada da energia potencial disponível dos *eddies* transientes no oceano.



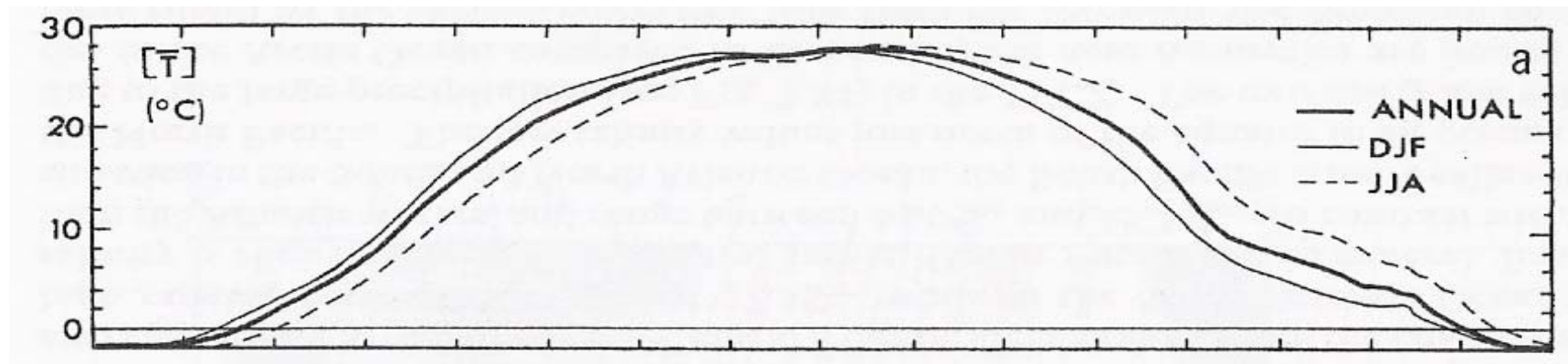


Figura 10: Perfis meridionais de valores médios zonais da temperatura da superfície do oceano, em °C, para condições médias anuais, DJF e JJA.

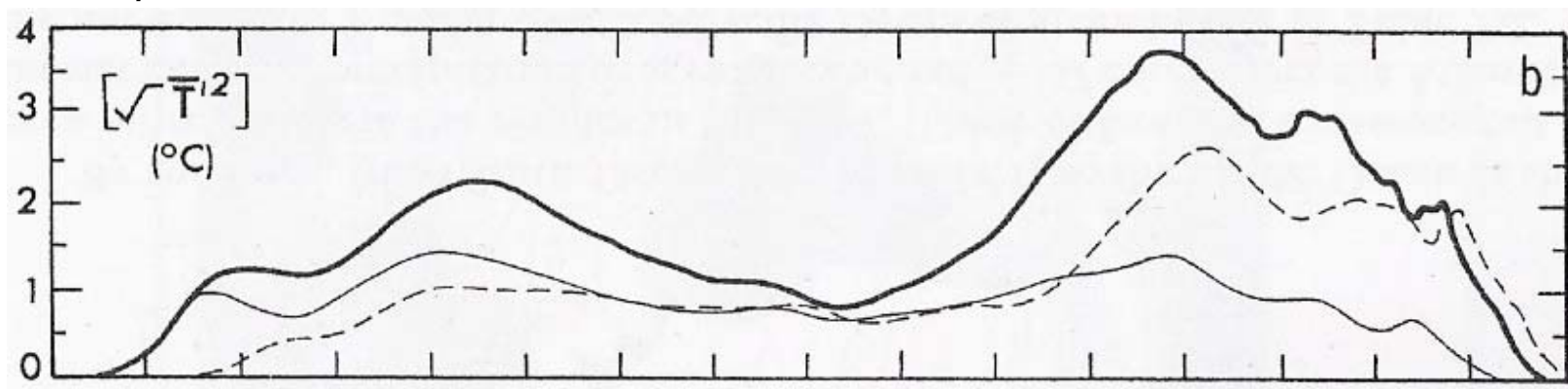


Figura 11: Desvio de valores médios zonais da temperatura da superfície do oceano (transient eddy), em °C, para condições médias anuais, DJF e JJA.

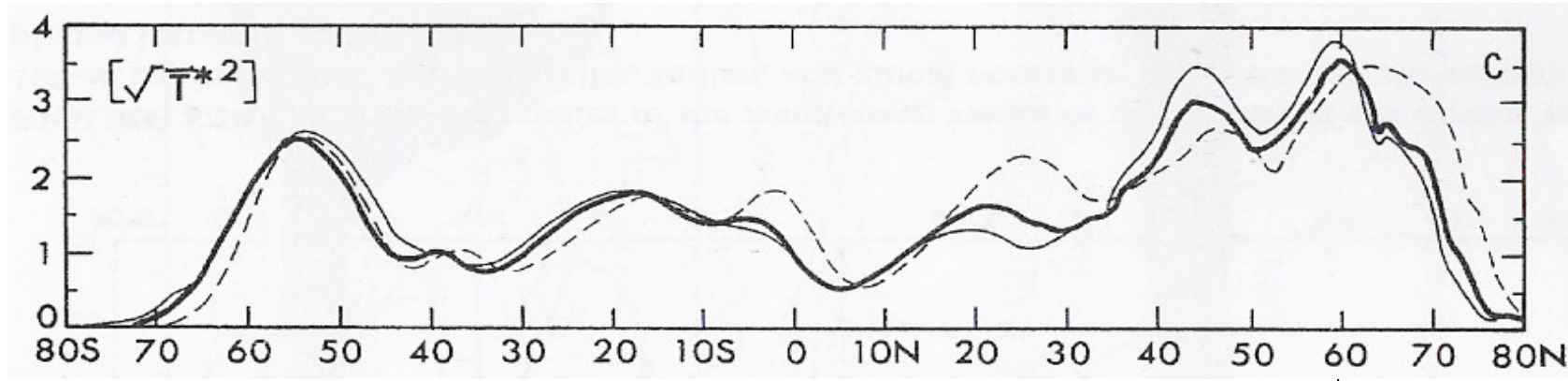
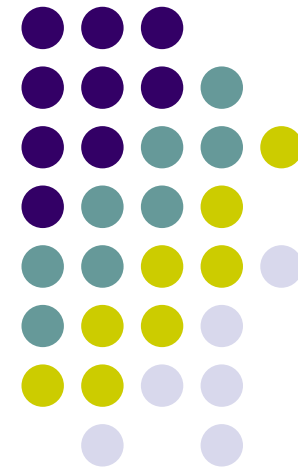


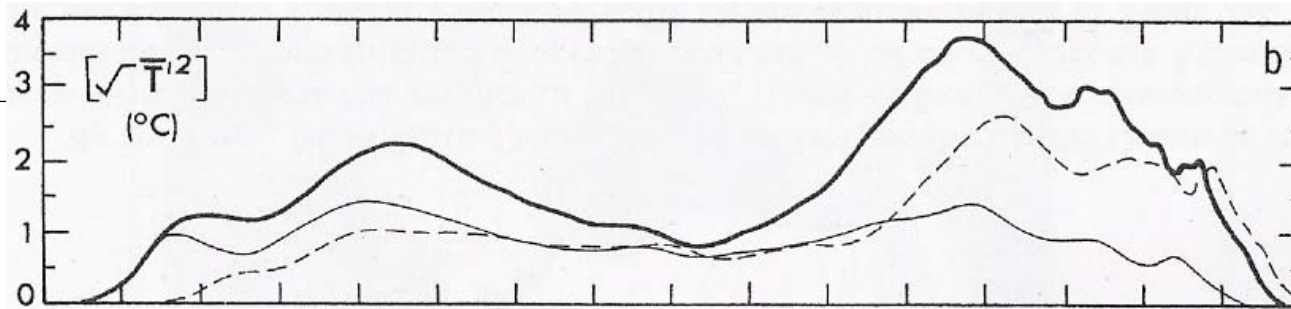
Figura 12: Desvio Este-Oeste (*eddy* estacionário), em °C, para condições médias anuais, DJF e JJA.

► A variabilidade é maior no Hemisfério Norte do que no Hemisfério Sul, como esperado, devido ao contraste terra-mar no Hemisfério Norte.

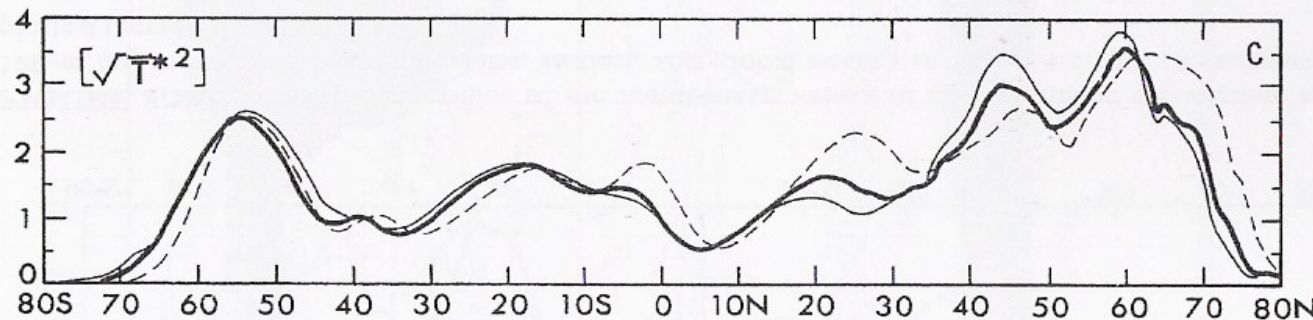
► Nas regiões equatoriais a variabilidade é muito menor do que nas altas e médias latitudes.



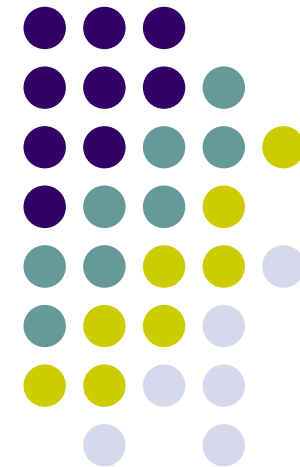
► É interessante notar que a variabilidade espacial do perfil da temperatura média no tempo (figura 12) é quase tão grande como a variabilidade dos *eddies* transientes (figura 11).



Desvio de valores médios zonais da temperatura da superfície do oceano (transient eddy), em °C, para condições médias anuais, DJF e JJA.



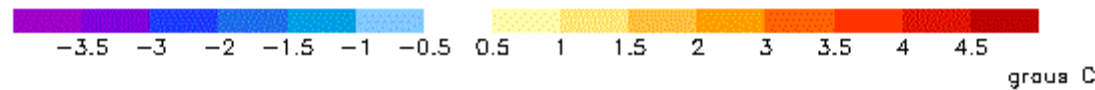
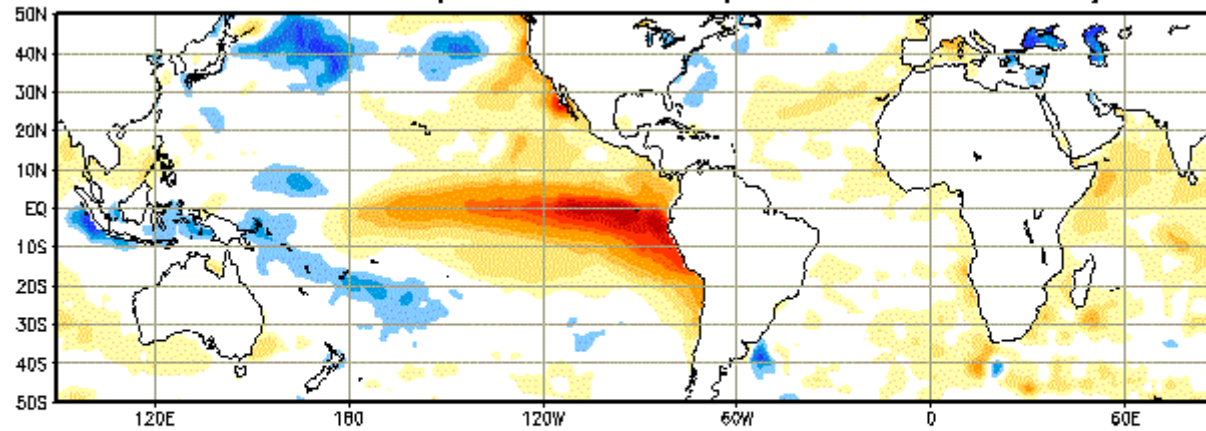
Desvio Este-Oeste (*eddy* estacionário), em °C, para condições médias anuais, DJF e JJA.



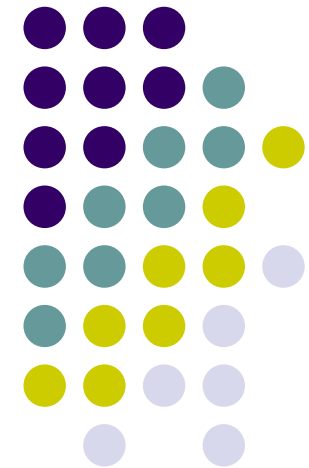
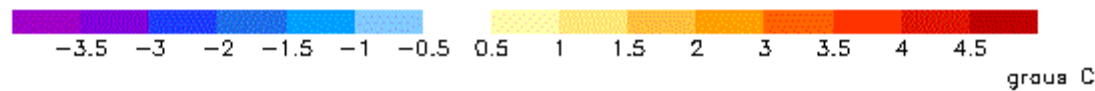
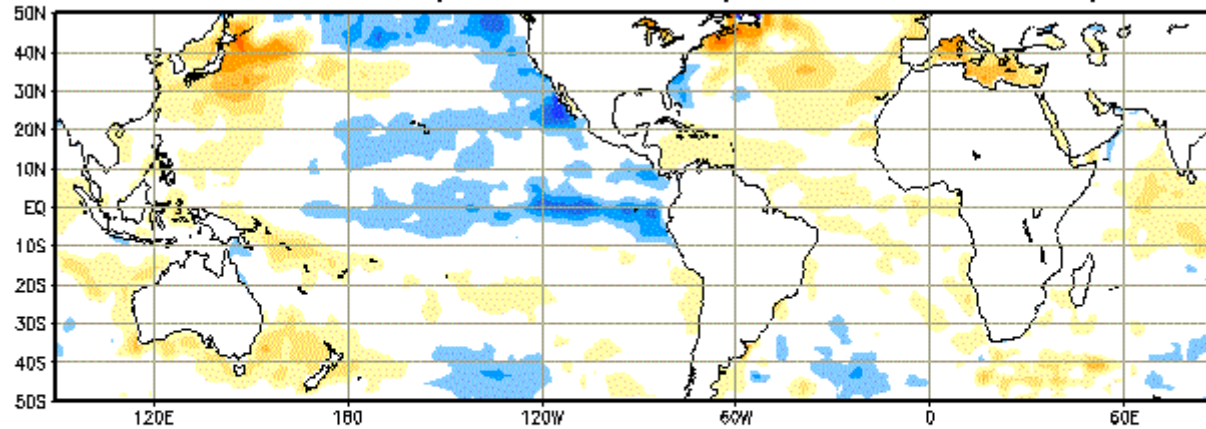
Dinâmica do Clima

2006 | 2007

Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar SET/97



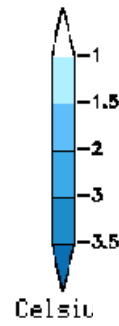
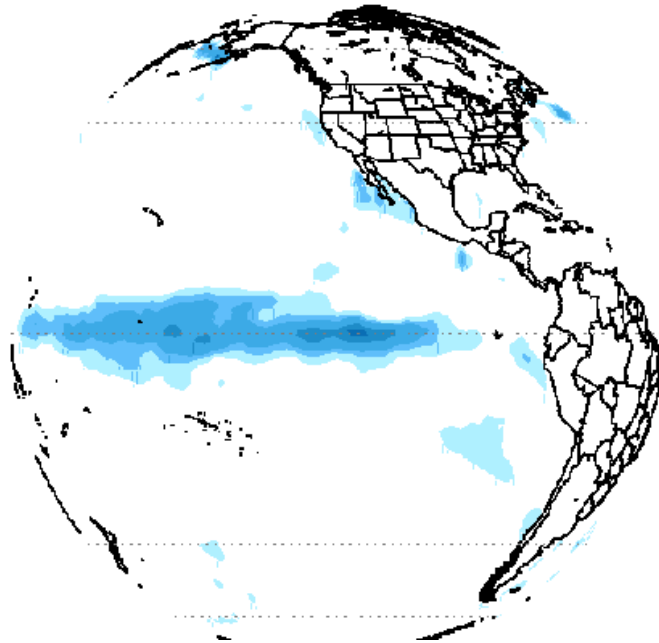
Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar SET/99



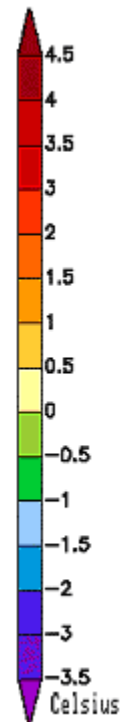
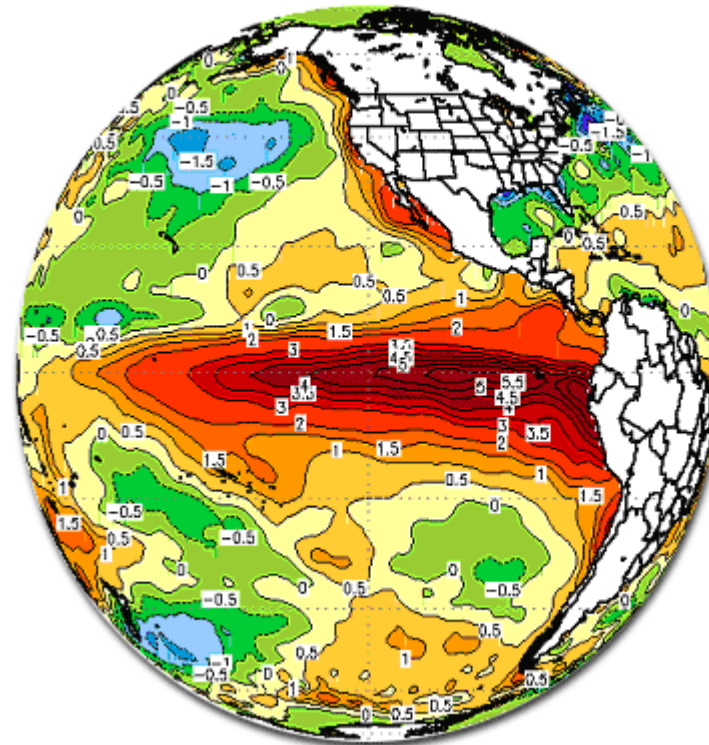
Dinâmica do Clima

2006 | 2007

Anomalia de TSM - 12/88



Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar
Dezembro de 1997

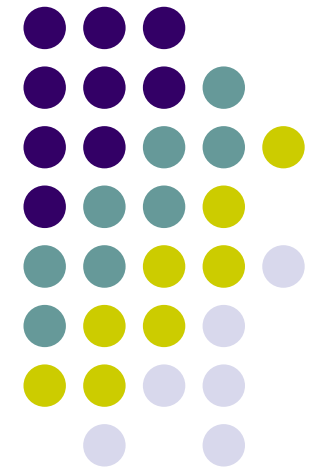


Conclusão:

► Os maiores valores da temperatura na superfície do oceano são encontrados nas regiões tropicais com máximos no Oeste dos oceanos Pacífico e Índico.

► As isotérmicas na superfície do oceano têm um carácter zonal sofrendo algumas distorções devido à influência dos continentes.

► As maiores diferenças (Janeiro-Julho) ocorrem no H.N. perto dos 45° de latitude na costa Este dos continentes.



▶ As variações anuais da temperatura de superfície do oceano são, em geral, mais pequenas que as variações na temperatura da superfície atmosférica.

▶ A variabilidade é maior no H.N. do que no H.S. devido ao contraste terra-mar no Hemisfério Norte.

▶ Existe uma forte variabilidade superficial nas latitudes médias.

