

ICE (°F) 40 50 60 70 80 90

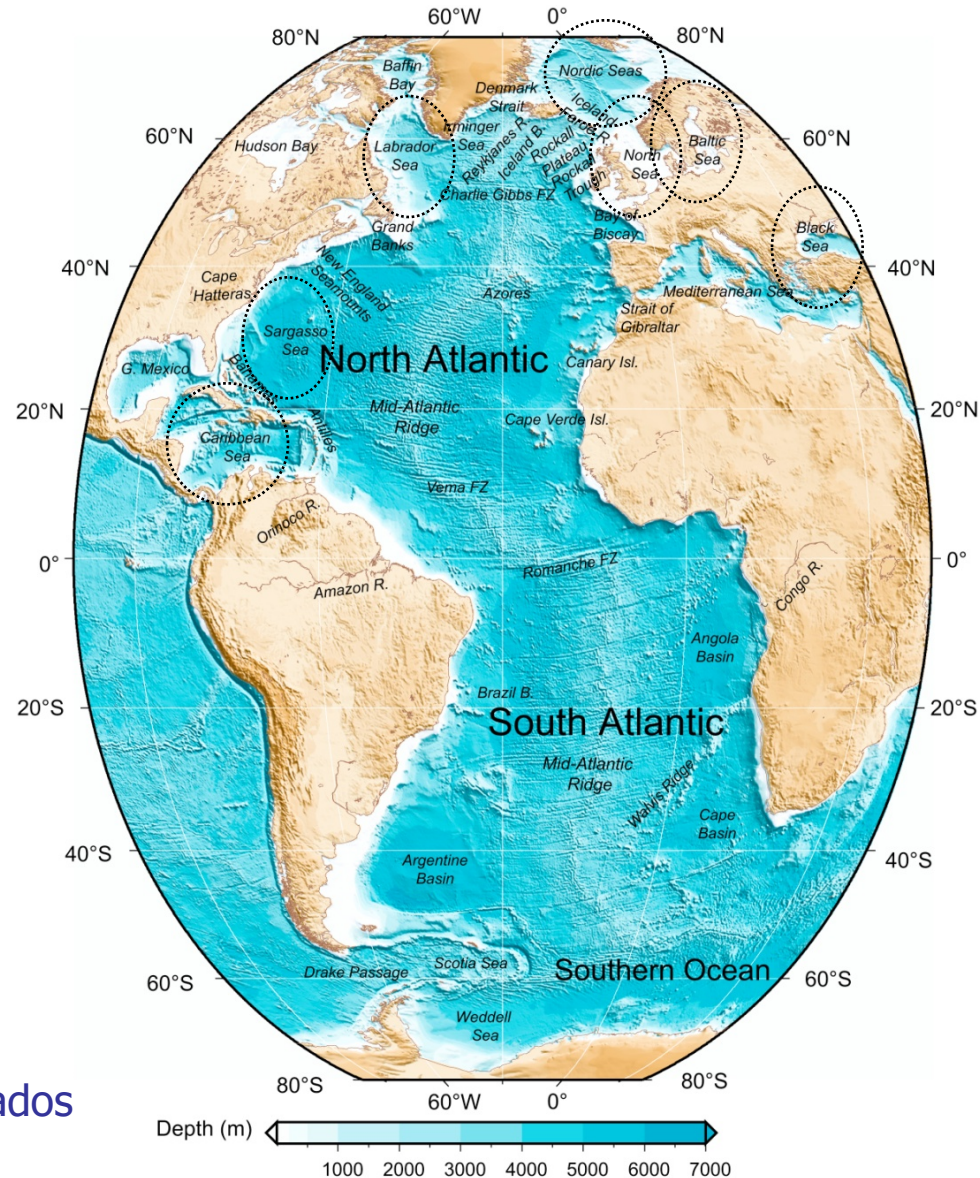


Sumário

- Introdução
- Forçantes
- Circulação do Atlântico Norte
- Circulação do Atlântico Tropical
- Circulação do Atlântico Sul
- Estrutura Vertical da Circulação do OA
- Massas de água do OA

Introdução

- Está conectado à vários mares marginais como: os Mares Nórdicos (Mar da Noruega, Mar da Groenlândia e Mar da Islândia), o Mar do Norte, o Mar Báltico, o Mar Negro, o Mar do Labrador, o Mar de Sargasso e o Mar do Caribe
- 3 importantes rios desaguam no OA, o Rio Amazonas, o Rio Orinoco e o Rio Congo, o que afeta a distribuição de salinidade



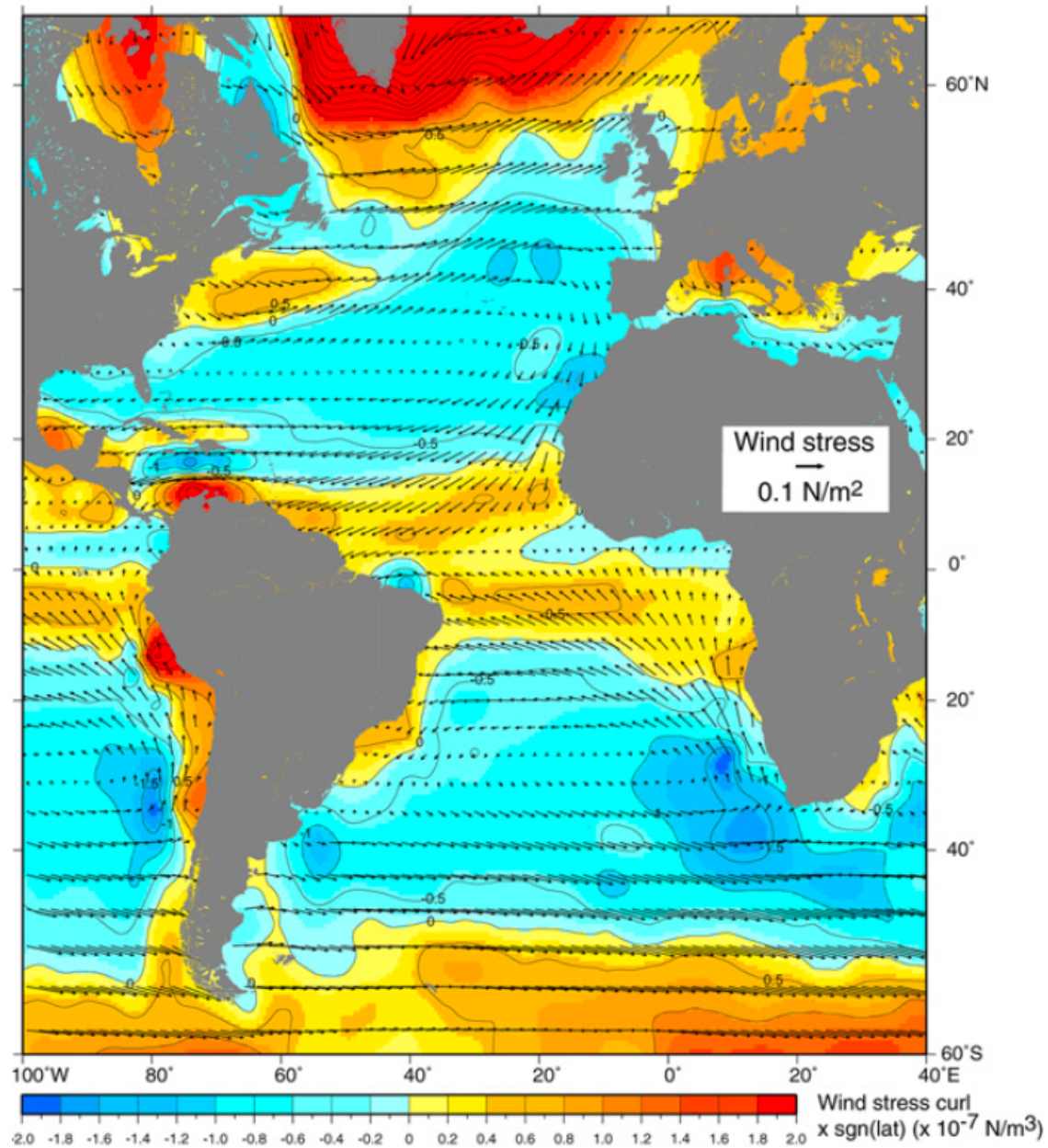
Batimetria do Oceano Atlântico, baseado nos dados do ETOPO2 obtidos da NOAA NGDC (2008).



Regime de ventos

- A tensão do vento governa a circulação oceânica via transporte de Ekman na camada superficial
- A convergências e divergências na superfície, por sua vez, governam a circulação no interior do oceano

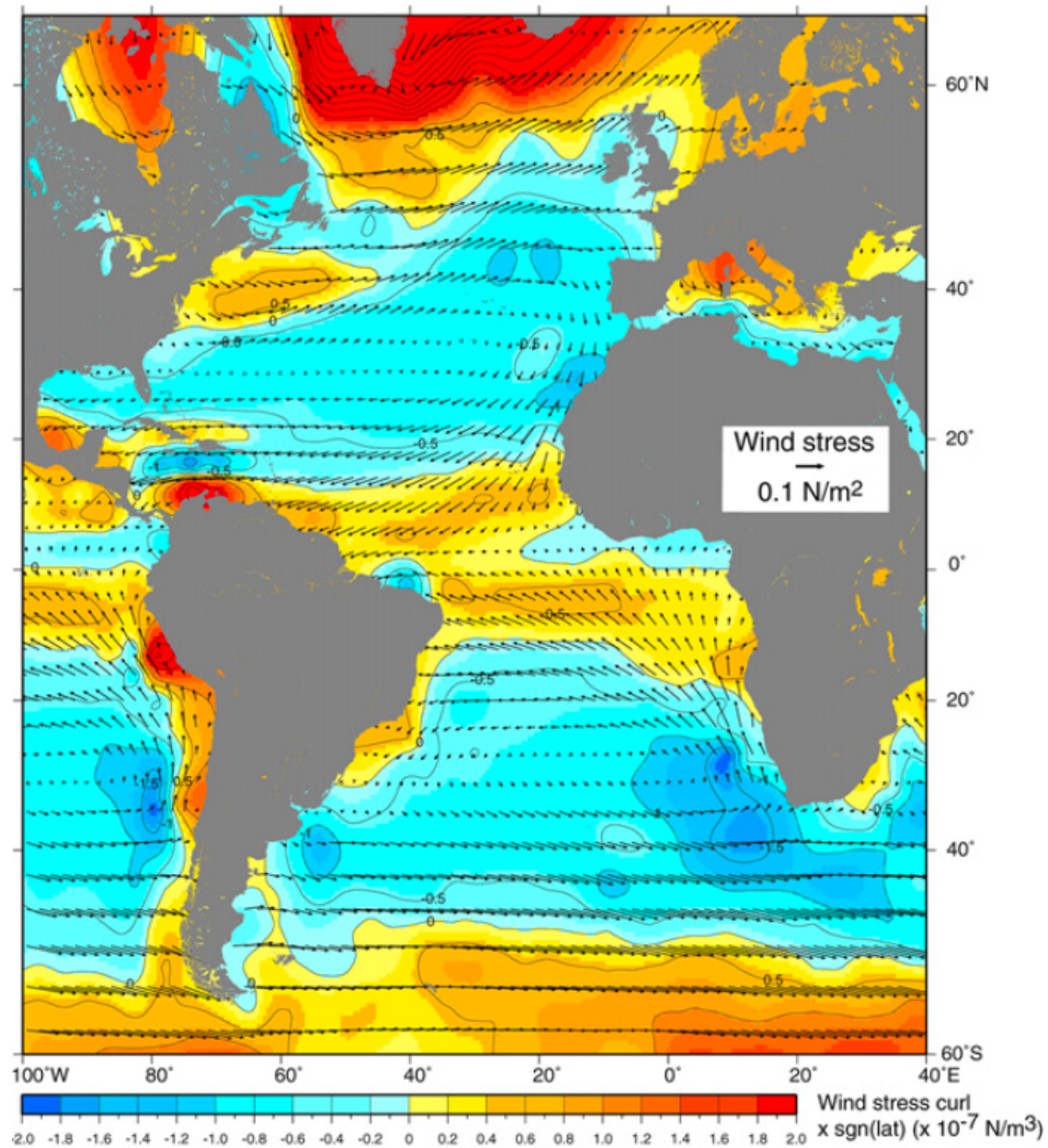
- O campo zonal (leste-oeste) de ventos é composto principalmente pelos ventos alísios (30°S – 30°N), ventos de oeste (ao norte de 30°N e ao sul de 30°S)
- Os ventos no HN apresentam uma maior variação sazonal, quando comparados ao HS (em função da maior concentração de continentes)
- Os ventos alísios são mais fortes durante o inverno dos seus respectivos hemisférios



Campo médio anual de ventos para o Oceano Atlântico. Tensão do vento (N/m^2) (vetores) e rotacional da tensão do vento ($\times 10^{-7} \text{ N/m}^3$) (cores), multiplicado por -1 no HS. Dados de Reanálise do NCEP 1968-1996 (Kalnay et al., 1996). Extraído de Talley et al (2011).

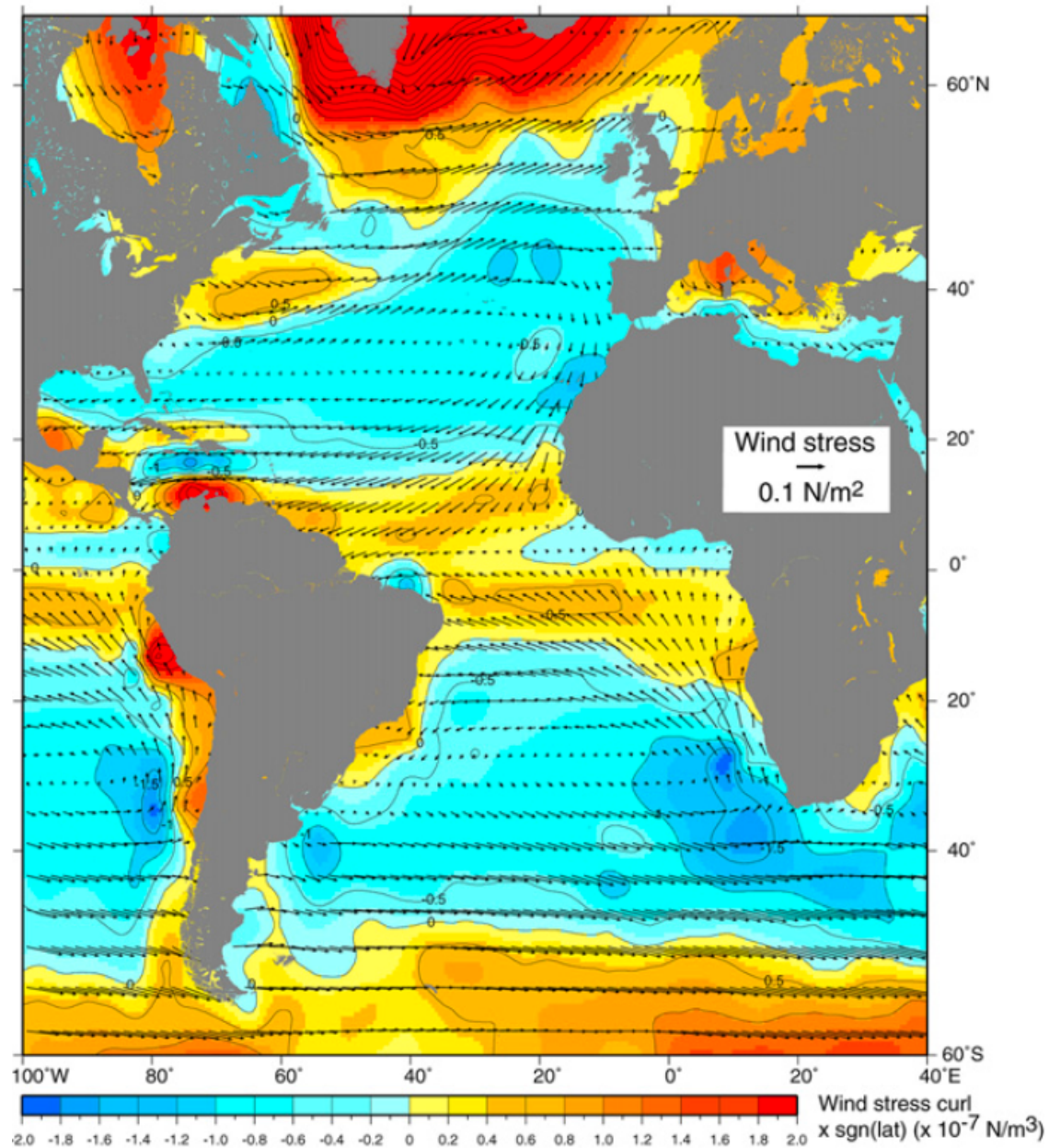
➤ O campo meridional (norte-sul) de ventos é composto pelos ventos que sopram ao longo dos contornos leste, em direção ao equador:

- Estreito de Gibraltar – 10°N (Corrente das Canárias)
- Sul da África – 10°S (Corrente de Benguela)



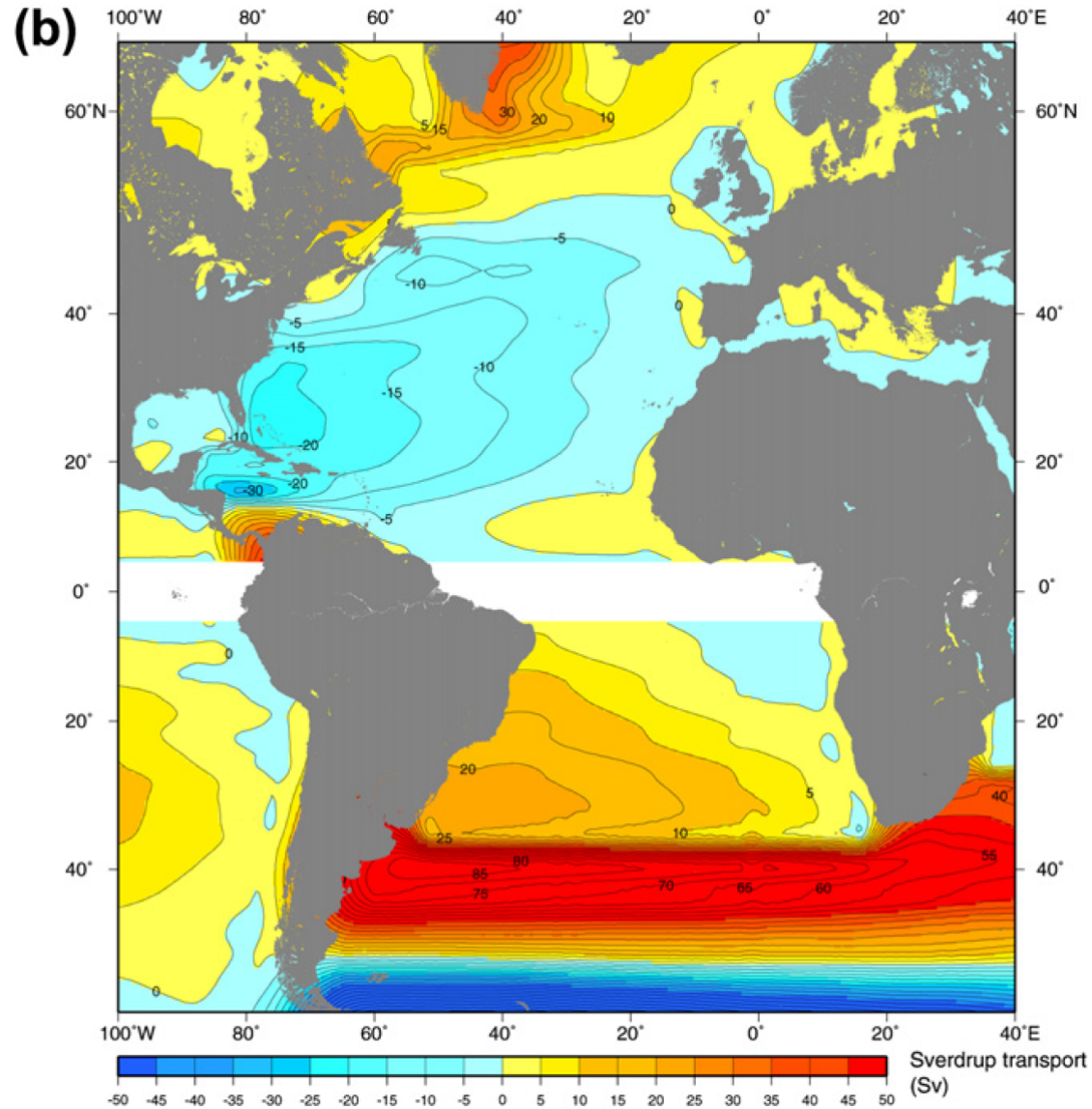
Campo médio anual de ventos para o Oceano Atlântico. Tensão do vento (N/m^2) (vetores) e rotacional da tensão do vento ($\times 10^{-7} \text{ N/m}^3$) (cores), multiplicado por -1 no HS. Dados de Reanálise do NCEP 1968-1996 (Kalnay et al., 1996). Extraído de Talley et al (2011).

- Regiões de convergência (subsidiência) ocorrem nos subtropicais e regiões de divergência (ressurgência) ocorrem na porção norte do Atlântico Norte e no Oceano Austral ao sul de 50°S
- Os giros subtropicais são regiões em que o fluxo interior em direção ao Equador (Transporte de Sverdrup) é compensado pelas correntes de contorno oeste que fluem em direção aos polos



Campo médio anual de ventos para o Oceano Atlântico. Tensão do vento (N/m²) (vetores) e rotacional da tensão do vento (x 10⁻⁷ N/m³) (cores), multiplicado por -1 no HS. Dados de Reanálise do NCEP 1968-1996 (Kalnay et al., 1996). Extraído de Talley et al (2011).

Regime de ventos

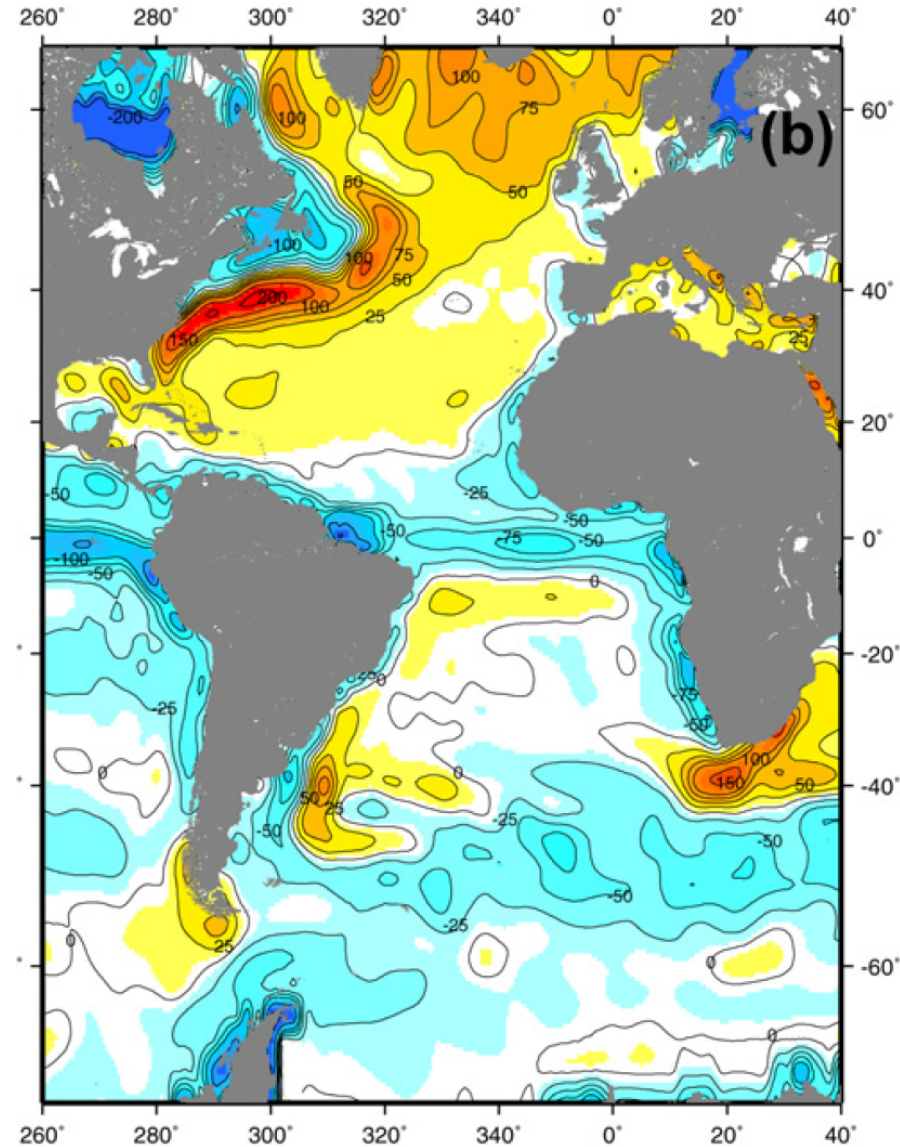


Transporte de Sverdrup (Sv), onde azul significa sentido horário e positivo significa sentido anti-horário. Os dados de tensão do vento são provenientes da reanálise do NCEP entre 1968-1996. Extraído de Talley et al (2011). Regiões onde ocorrem convergências (divergência), tem transporte direcionado para o equador (polos).

Fluxos de fluutuabilidade

- Os fluxos de fluutuabilidade no Atlântico são controlados principalmente pelo fluxo de calor com uma pequena contribuição do aporte fluvial
- Regiões de perda estão associadas a Corrente do Golfo ($> 200 \text{ W/m}^2$) e as Mares Nórdicos ($> 100 \text{ W/m}^2$) e as Correntes do Brasil e Agulhas
- Regiões de ganho ocorrem nos trópicos

Fluxos anuais de fluutuabilidade oceano-atmosfera convertidos para o equivalente de fluxo de calor (W/m^2). O intervalo de contorno é de 25 W/m^2 . Extraído de Talley et al (2011).





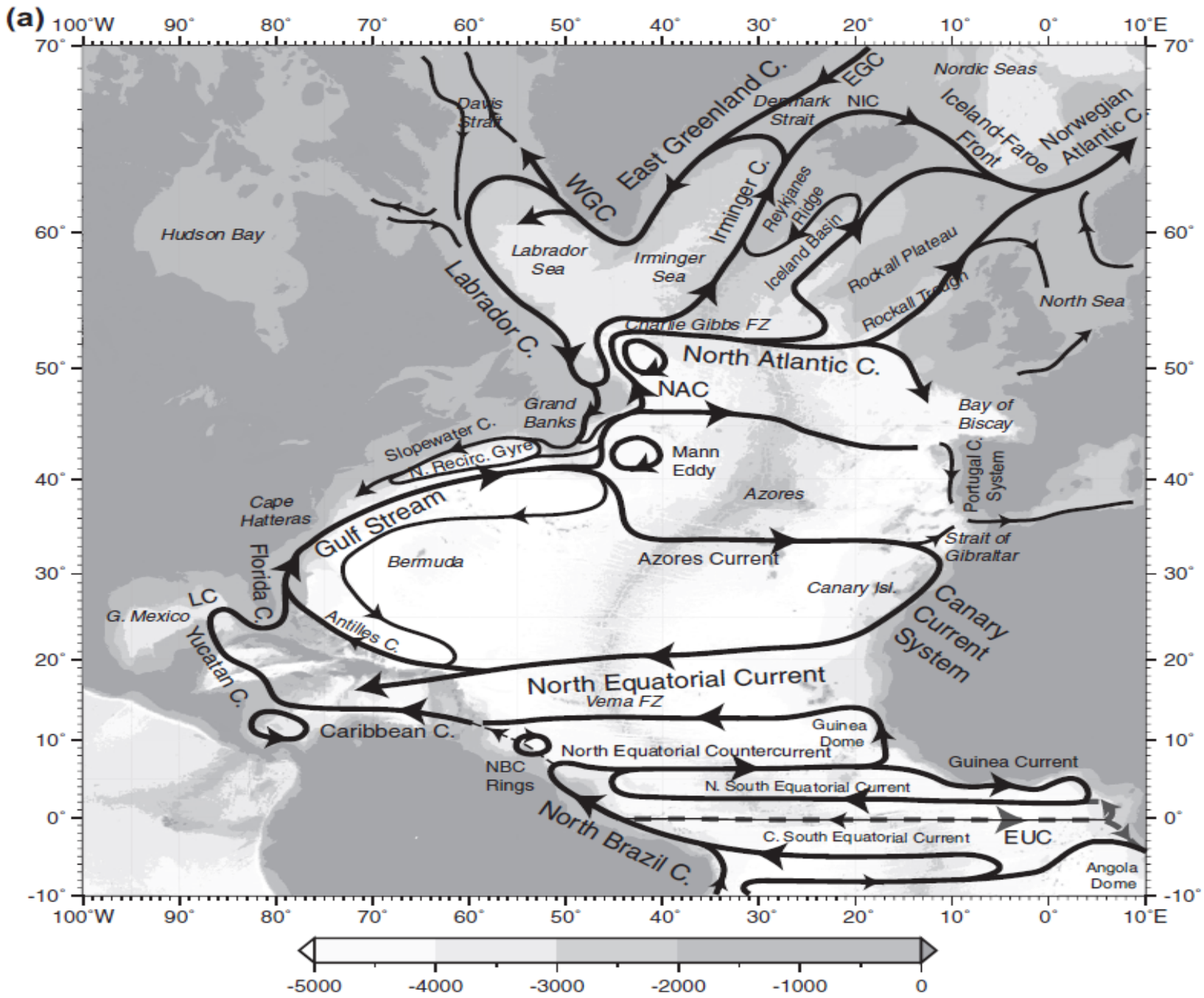
Fluxos de fluutuabilidade

- A Evaporação é superior à precipitação na região entre 10° e 20° em ambos os hemisférios (subtrópicos)
- A Precipitação é predominante em $10^\circ\text{S} - 10^\circ\text{N}$ associada à região da ITCZ
- No Atlântico Norte subpolar, predominam a precipitação e aporte-fluvial, ou seja é maior a entrada de água doce no sistema
- No Atlântico em geral, E-P é mais direcionada para evaporação, resultando num oceano mais salino em comparação com o Oceano Pacífico
- Aportes de água doce significativos (superior a $0,4 \text{ Sv}$) ocorrem através dos Rios Amazonas, Congo e Orinoco



Circulação do Atlântico Norte

- A circulação no Atlântico Norte (AN) inclui um giro subtropical anticiclônico e um giro polar ciclônico
- O giro subtropical do AN, tal como todos os giros subtropicais, é assimétrico, com correntes de contorno oeste intensas e estreitas e, ao centro e leste do giro, fluxos largos que fluem para sul
- As Correntes de Contorno Oeste (CCO) são o Sistema da Corrente do Golfo e a Corrente do Atlântico Norte (NAC)
- No contorno leste, temos a Corrente de Portugal e a Corrente das Canárias
- Neste giro, o fluxo que flui para oeste é a Corrente Norte Equatorial (NEC)



Esquema da circulação superficial do Oceano Atlântico Norte. Extraído de Talley et al (2011).



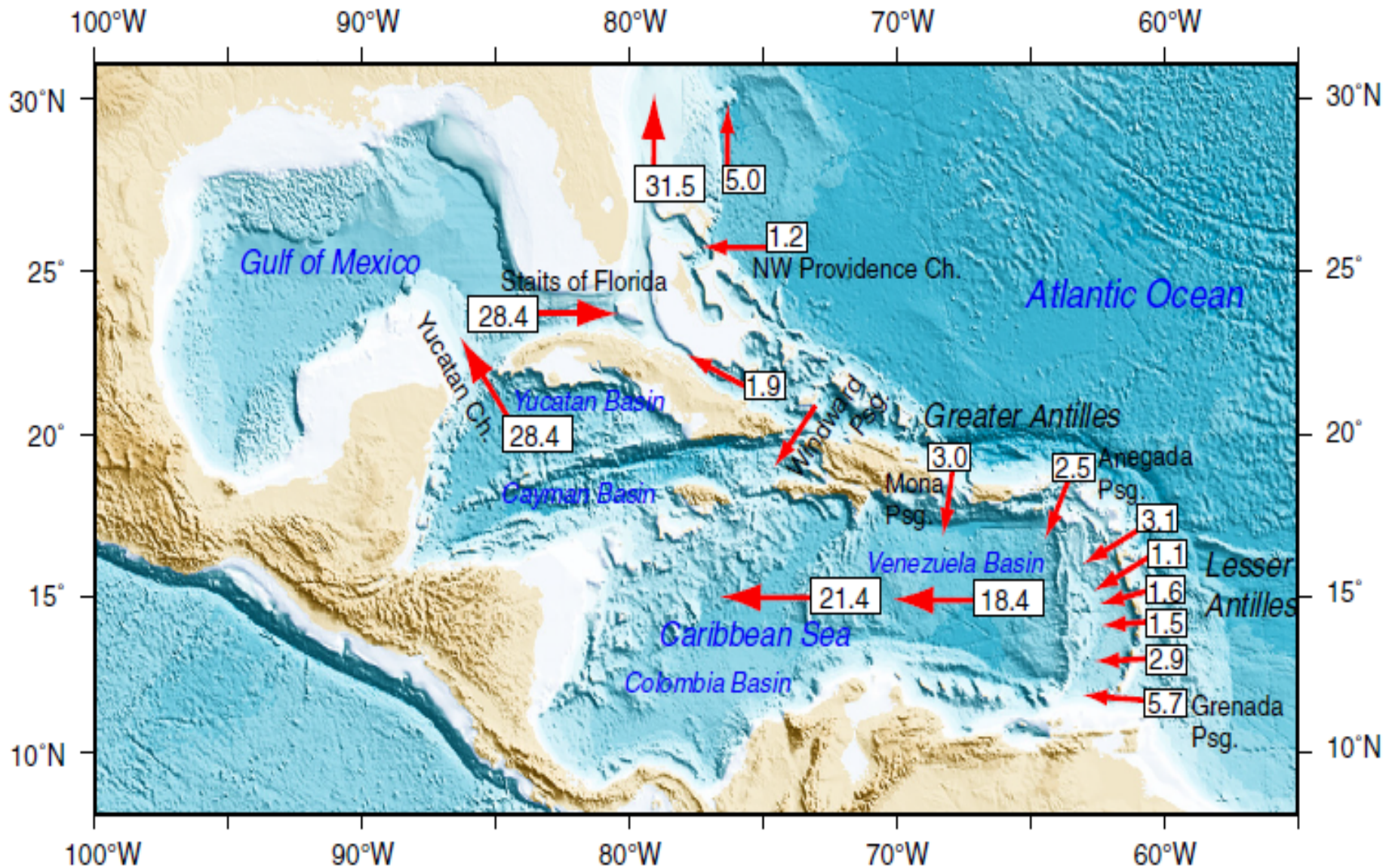
Circulação do Atlântico Norte

- O giro subpolar é menos assimétrico e mais influenciado pela topografia
- As CCO são a Corrente Leste da Groenlândia e a Corrente do Labrador, as quais são conectadas pela Corrente Oeste da Groenlândia
- A NAC flui para leste compondo a porção sul do giro subpolar
- Em superfície, os giros subtropical e subpolar são conectados pela NAC, com uma transferência líquida de água para norte devido à célula de circulação meridional (MOC)



Circulação do Atlântico Norte

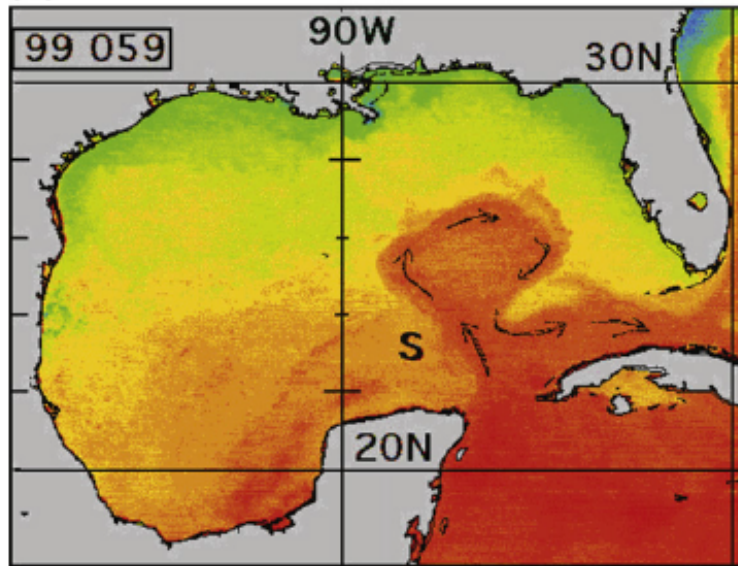
- **Giro Subtropical – Corrente do Golfo**
- O Sistema da Corrente do Golfo se forma a partir da Corrente Norte Equatorial que juntamente com uma possível contribuição da Corrente Norte do Brasil entram no Mar do Caribe através do complexo de ilhas das Antilhas e continua fluindo pelo Canal de Yucatan, onde é chamada de Corrente de Yucatan (23 Sv)
- Ao passar pelo Estreito da Flórida, esse fluxo forma a Corrente da Flórida (32 Sv) e recebendo a contribuição da Corrente das Antilhas forma a Corrente do Golfo
- A Corrente do Golfo (100 km) flui ao longo do contorno oeste se separando da costa em Cape Hatteras (35°N)



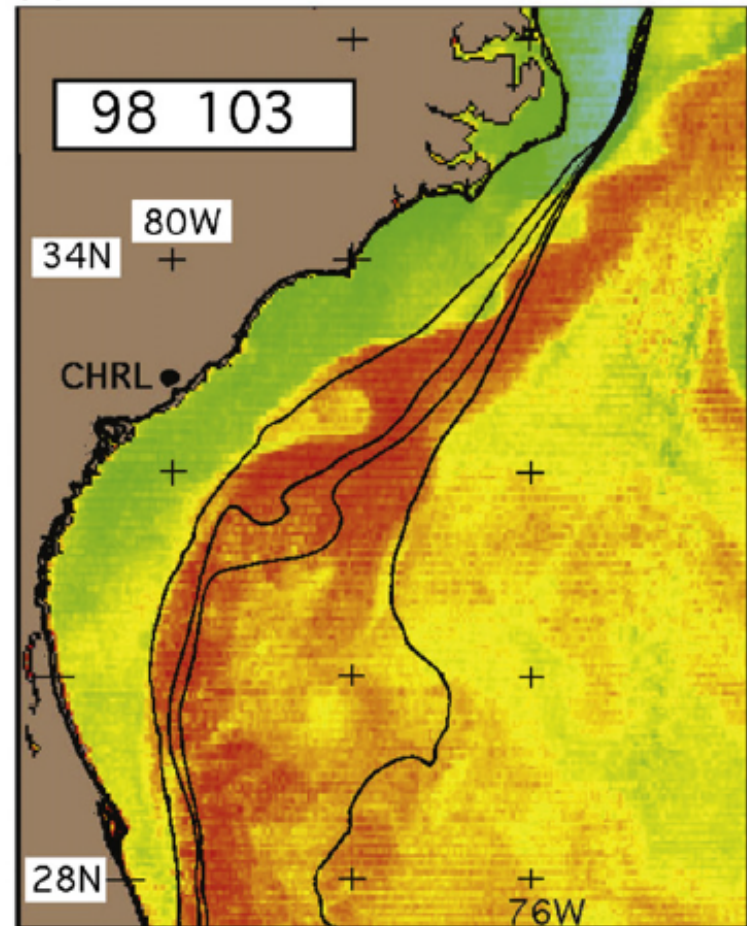
Região de formação da Corrente do Golfo. Transportes de volume (Sv) indicados. Johns et al. (2002). Extraído de Talley et al (2011).

Circulação do Atlântico Norte

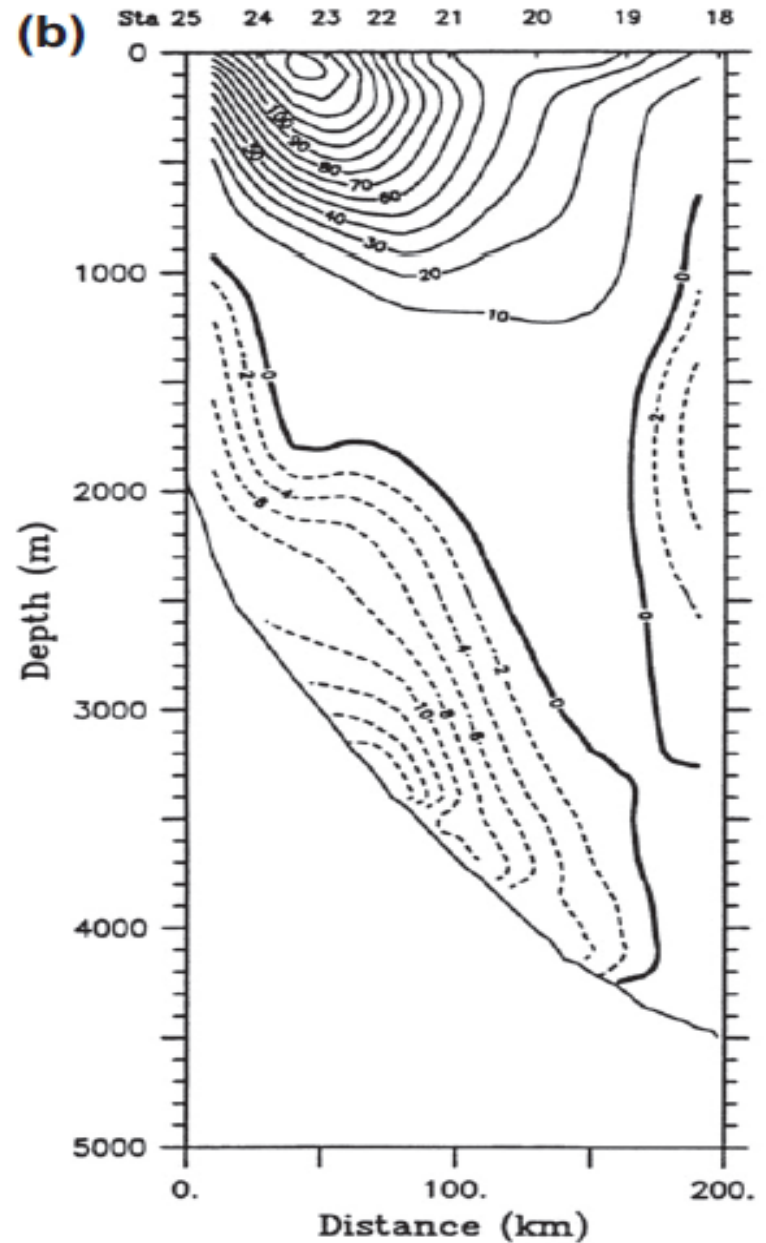
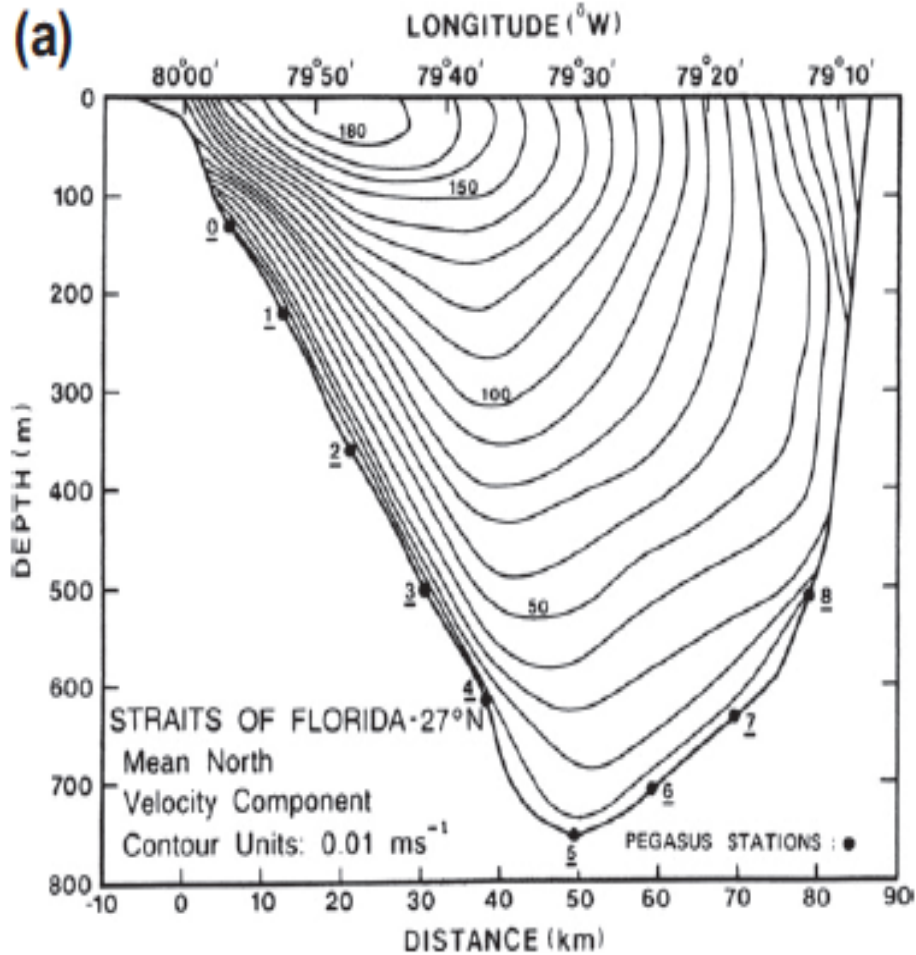
(a)



(b)



Temperatura da superfície do mar a partir do satélite GOES. a) Formação de um vórtice na Corrente Loop. b) Meandramento na Corrente do Golfo. Isóbatas em preto (100, 500, 700 e 1000 m). Legeckis, Brown e Chang (2002). Extraído de Talley et al (2011).



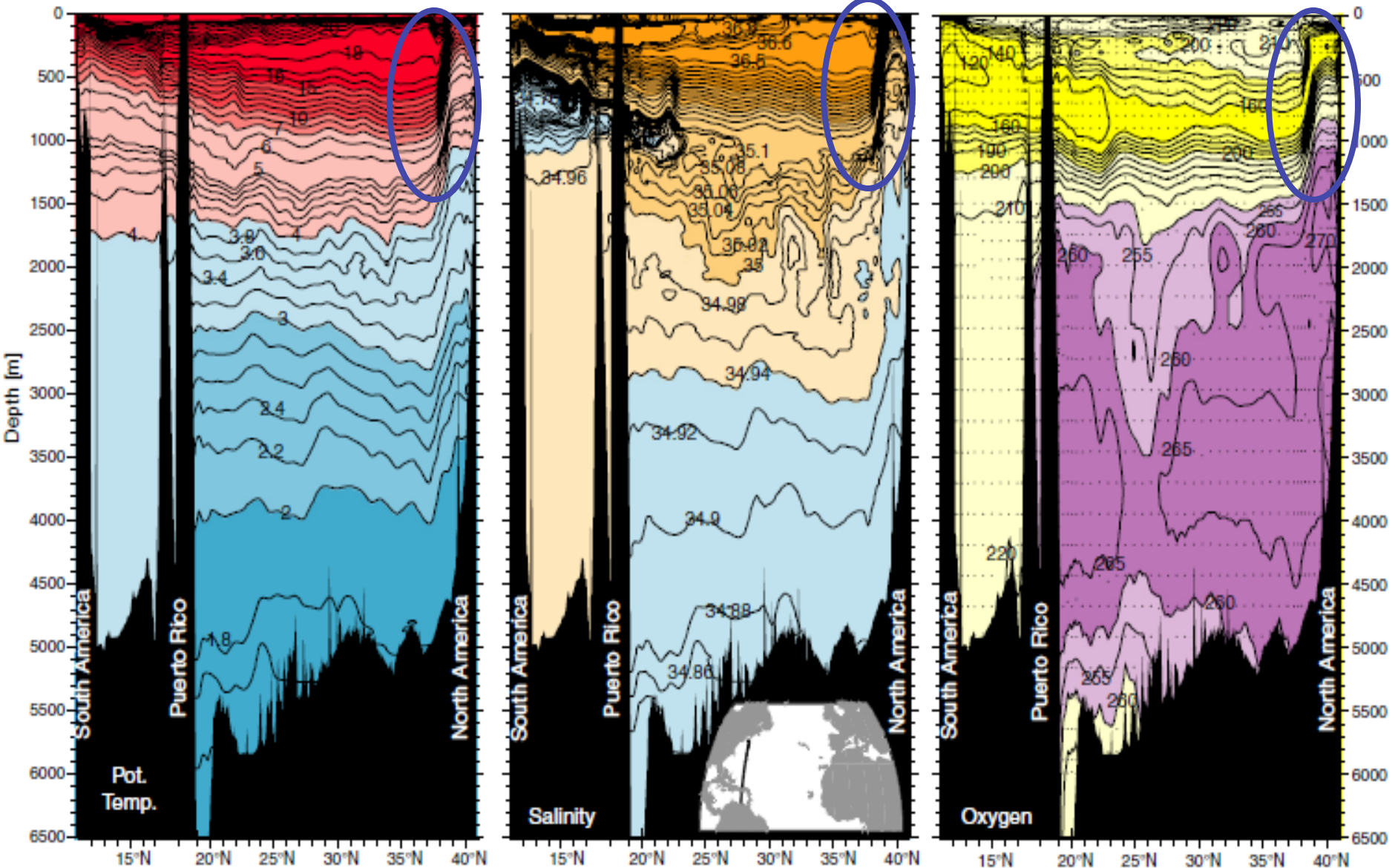
a) Velocidade média da Corrente da Flórida no Estreito da Flórida em 27° N. b) Velocidade geostrófica da Corrente do Golfo em Cape Hatteras. Johns et al. (1995). Extraído de Talley et al (2011).



Circulação do Atlântico Norte

- **Giro Subtropical – Corrente do Golfo**
- Após separar-se da costa (60~90 Sv), a Corrente do Golfo cresce em transporte e torna-se uma das mais intensas correntes do globo (até 140 Sv; velocidade média de 150 cm/s)
- A corrente diminui rapidamente ao norte do seu núcleo e associado a isto existe uma brusca mudança em suas características termohalinas. Essa brusca transição é denominada Barreira Fria (Cold Wall) da Corrente do Golfo
- Próximo aos Grandes Bancos (50°W) a Extensão da Corrente do Golfo já perde em intensidade (50 – 90 Sv)

Cold Wall



Atlântico Norte subtropical em 66W, agosto de 1997. WOCE seção A22. Extraído de Talley et al (2011).



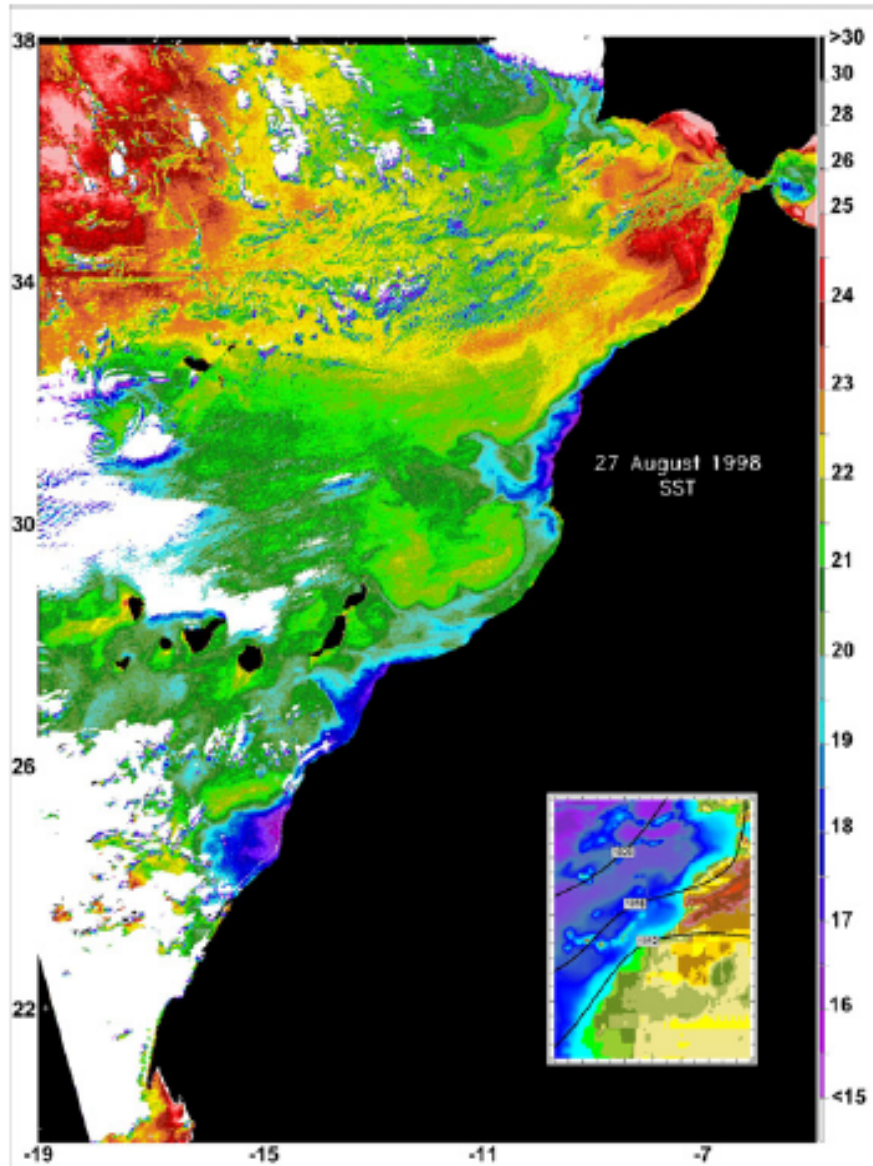
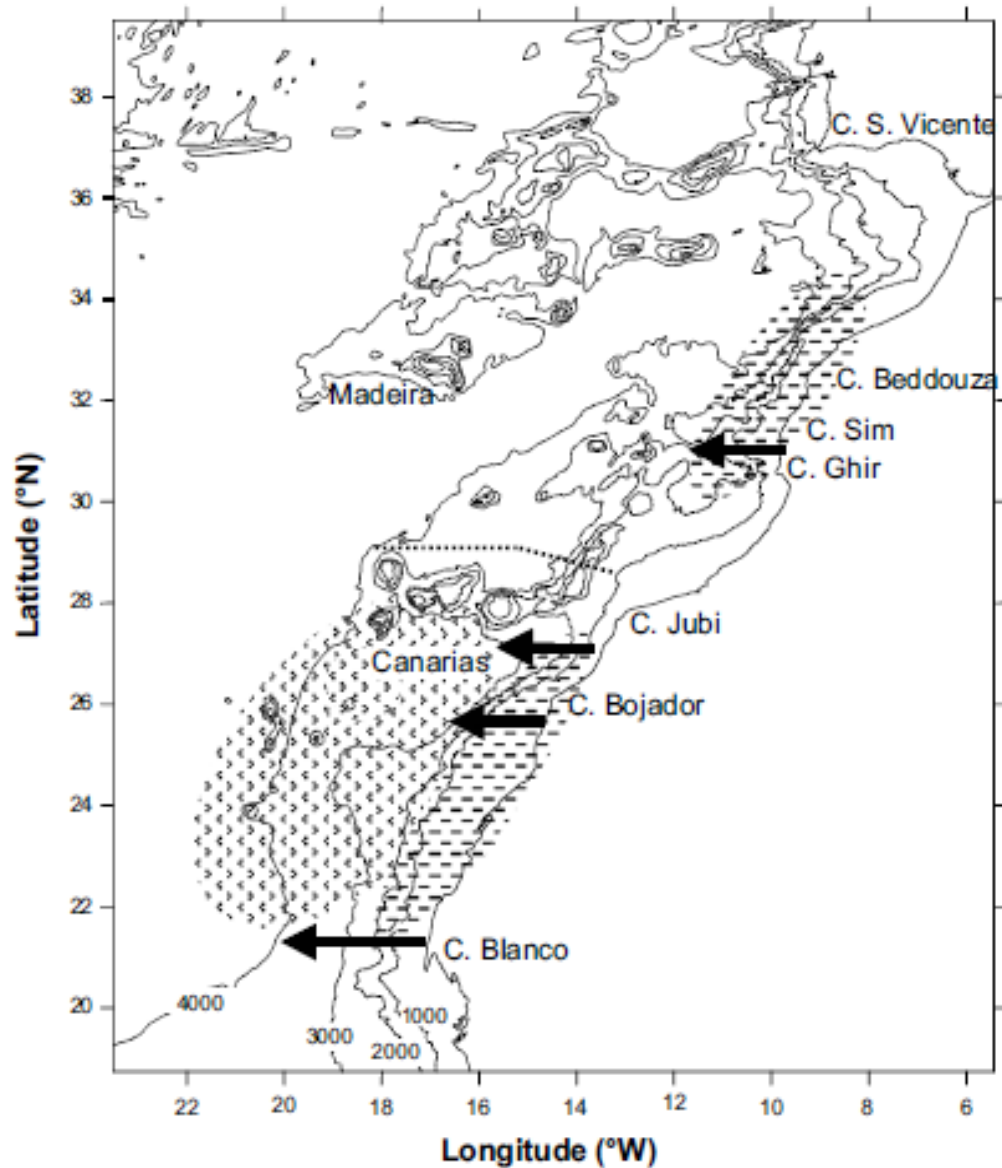
Circulação do Atlântico Norte

- **Giro Subtropical – Correntes de Portugal e Canárias**
- No contorno leste do giro subtropical há 2 CCLs: a Corrente de Portugal e a Corrente das Canárias que são separadas pela Corrente dos Açores que flui para leste e aporta água para o Mar Mediterrâneo
- A Corrente das Canárias é o fluxo mais desenvolvido e energético das 2 CCLs, fluindo ao longo da costa norte da África
- Está presente durante todo o ano, no entanto seu alcance no sul é sazonalmente dependente



Circulação do Atlântico Norte

- **Giro Subtropical – Correntes de Portugal e Canárias**
- Os ventos favoráveis à ressurgência, de Gibraltar até Cabo Blanc, são mais intensos no verão
- Devido à ressurgência, forma-se uma subcorrente em direção aos polos, que flui abaixo da Corrente das Canárias, ao norte de 25°N, centrado na profundidade de 600 m e velocidade média de 5 cm/s

(a)**(b)**

Sistema de Correntes das Canárias. a) TSM (imagem de satélite do AVHRR) em 27 de agosto de 1998. b) Esquema da ressurgência costeira (barras horizontais), vórtices (pontos) e filamentos (setas). Pelegrí et al. (2005) Extraído de Talley et al (2011).



Circulação do Atlântico Norte

- **Giro Subtropical – Correntes de Portugal e Canárias**
- A Corrente de Portugal flui para sul ao longo do contorno leste ao norte de Gibraltar
- Existe uma sazonalidade marcada:
 - verão – Corrente de Portugal (flui p/ sul)
 - outono e inverno – Contra-corrente costeira de Portugal (flui p/ norte)
- Primavera e verão são estações de ressurgência, havendo a formação de uma subcorrente associada em direção aos polos (Subcorrente de Portugal)



Circulação do Atlântico Norte

- **Giro Subtropical – Corrente do Atlântico Norte**
- A Corrente do Atlântico Norte (NAC) é uma corrente de contorno oeste que se forma em 40°N , ao leste dos Grandes Bancos, alimentada por um ramo da Corrente do Golfo
- Em cerca de 51°N , se separa da costa e flui para leste e em seu caminho se divide em múltiplos ramos
- Os ramos que fluem para sul contribuem para o giro subtropical do AN. Já os ramos para norte alimentam o giro subpolar e adentram o Mar Nórdico compondo a Corrente da Noruega
- A NAC compõe a porção sul do giro subpolar e a porção norte do giro subtropical

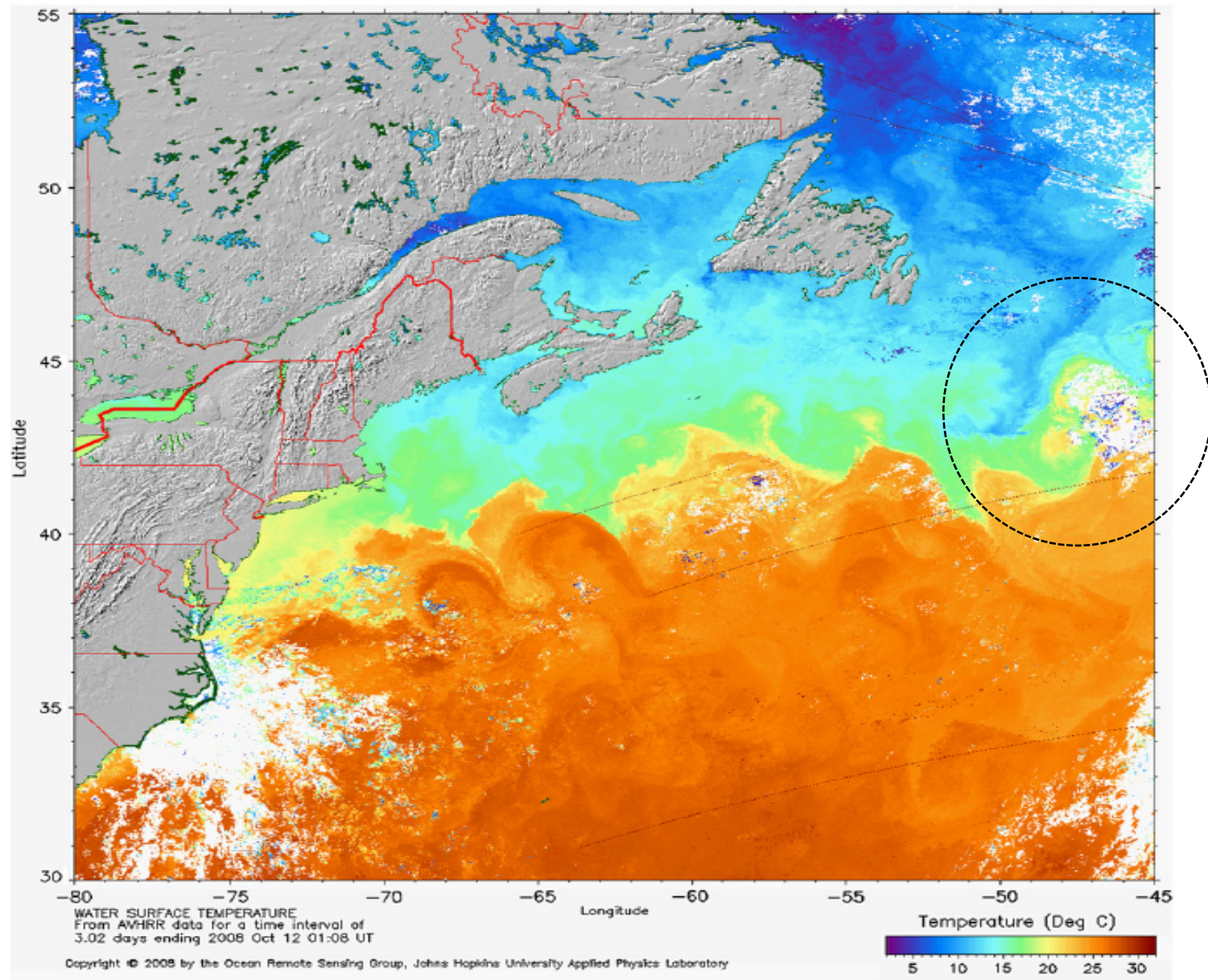
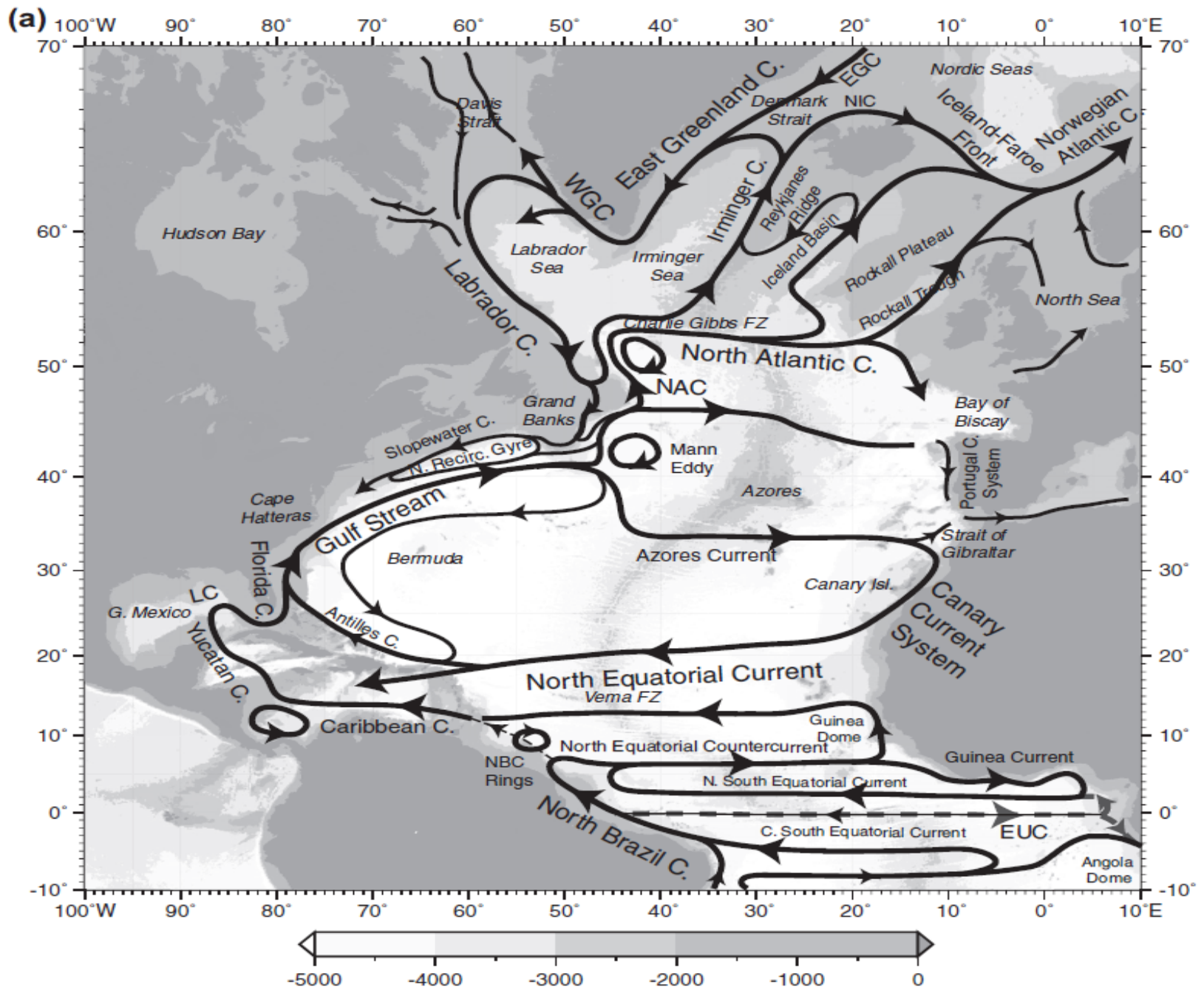


Imagem de TSM (AVHRR). Corrente Norte do Atlântico (fluindo para norte e quente) e Corrente do Labrador (fluindo para sul e fria) no Grandes Bancos. Meinen e Watts (2000). Extraído de Talley et al (2011).



Circulação do Atlântico Norte

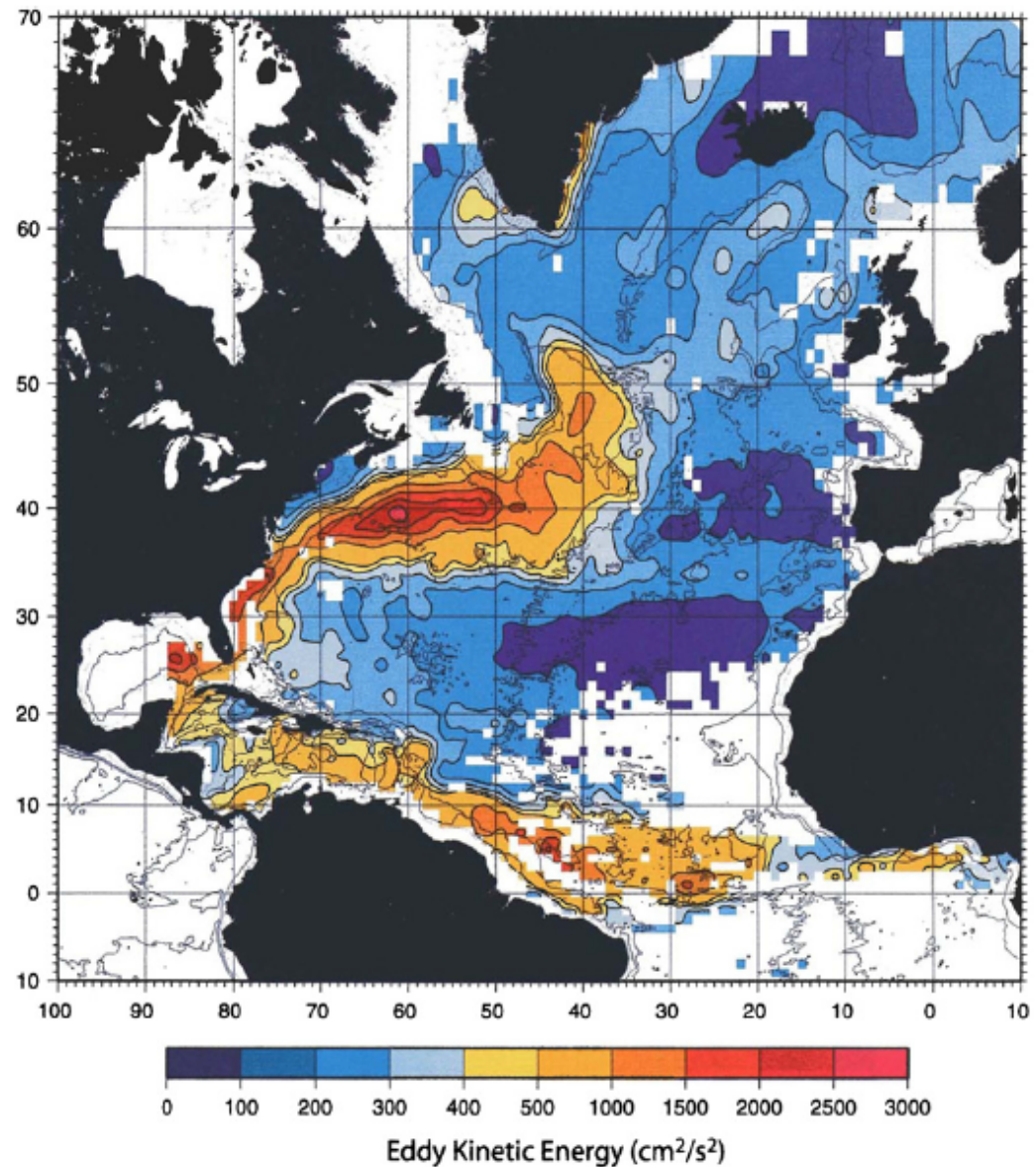
- **Giro Subpolar**
- Circulação quasi-ciclônica ao norte de 50°N
- Dividido em porção leste e oeste pela Cadeia de Reykjanes
- A porção oeste é um giro ciclônico englobando os mares de Labrador e Irminger
- A porção leste é formada por ramos da NAC (controlados pela topografia) que fluem para nordeste em direção ao Mar Nórdico
- Se considerarmos o Atlântico Norte subpolar e o Mar Nórdico, vemos que os fluxos de superfície formam um giro ciclônico completo



Esquema da circulação superficial do Oceano Atlântico Norte. Extraído de Talley et al (2011).

- **Atividade de meso-escala**

- Associada principalmente às CCOs: Corrente Norte do Brasil e Corrente do Golfo, havendo formação de meandros e liberação de vórtices
- Menor no giro subpolar em relação às baixas latitudes (menor baroclinicidade: menor estratificação)

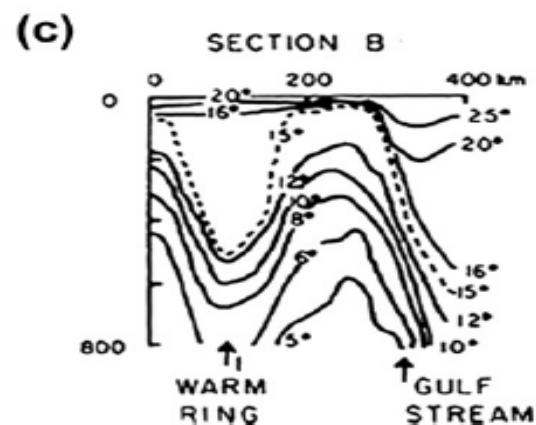
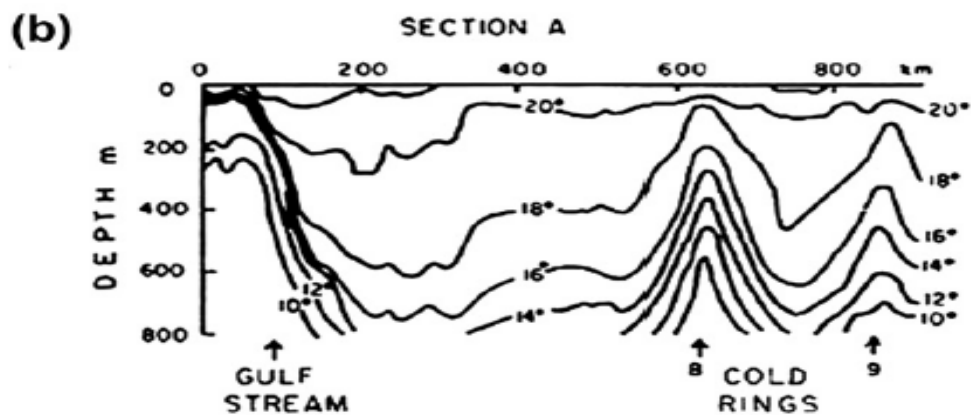
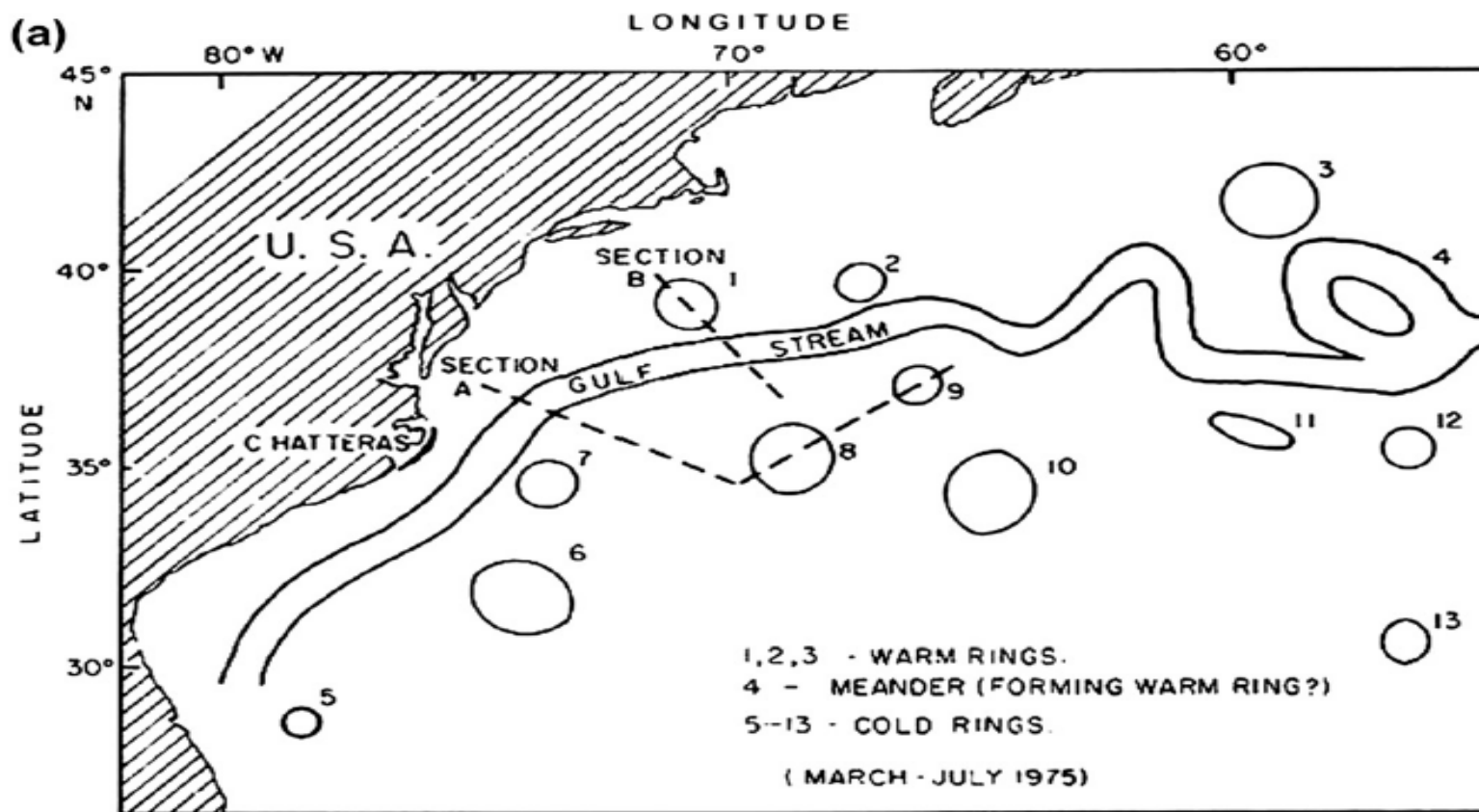


Energia cinética turbulenta para o Atlântico Norte (cm^2/s^2). Fratantoni (2001). Extraído de Talley et al (2011).



Circulação do Atlântico Norte

- **Atividade de meso-escala**
- Os vórtices (anéis) da Corrente do Golfo são amplos (diâmetro entre 150–300 km), profundos (>2000m), atingem velocidades >150 cm/s e podem durar mais de um ano
- Esses anéis são liberados com o fechamento dos meandros da Corrente do Golfo
- Anéis de núcleo frio (ciclônico) fluem para sul e os de núcleo quente (anticiclônico) para norte. Ambos se propagam para oeste. Influenciam a produtividade primária

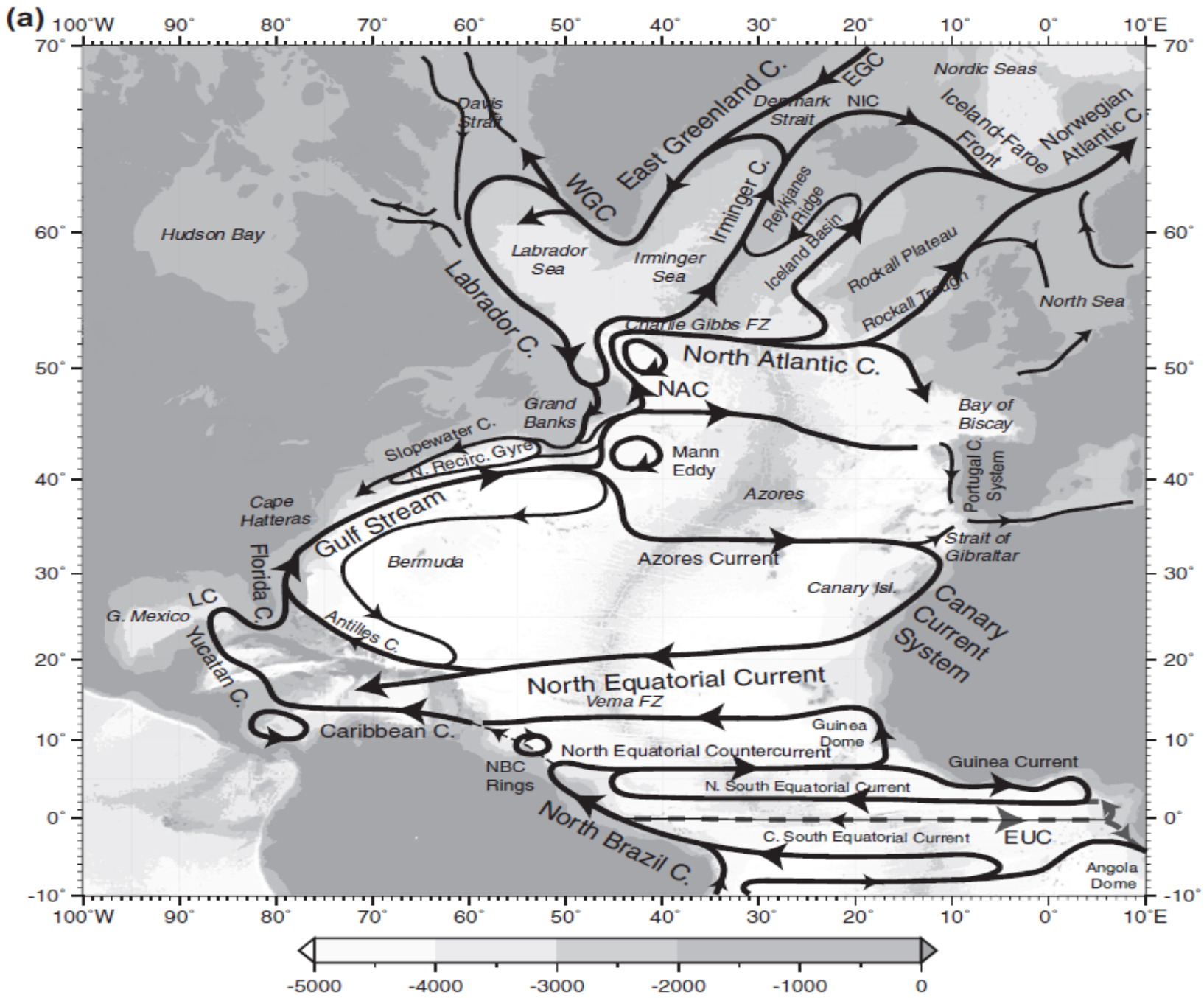


Anéis da Corrente do Golfo. a) Localização dos anéis de março a julho de 1975. b) Estrutura vertical dos anéis nas seções A e B. Richardson et al. (1978). Extraído de Talley et al (2011).



Circulação do Atlântico Tropical

- Forçada principalmente pelos Ventos Alísios
 - Os Alísios possuem uma forte sazonalidade e variabilidade interanual
 - Mudanças no padrões de vento estão associadas à intensidade e movimento da ITCZ, a qual é mais desenvolvida durante o verão, deslocando-se para norte no verão boreal e para sul no verão austral.
- A circulação dentro dos 10° do equador é praticamente zonal
- Fortes fluxos zonais no Atlântico Tropical são instáveis e geralmente desenvolvem trens de ondas planetárias e vórtices



Esquema da circulação superficial do Oceano Atlântico Norte. Extraído de Talley et al (2011).



Circulação do Atlântico Tropical

- **Corrente Sul Equatorial (SEC)**
- A corrente dominante na superfície é a Corrente Sul Equatorial (SEC) que flui para oeste. É dividida em 3 partes:
 - A SEC Sul compõe a porção norte do Giro Subtropical do Atlântico Sul. Ao atingir a costa do Brasil bifurca-se em Corrente do Brasil (sul) e Corrente Norte do Brasil (norte)
 - As SECs Central e Norte abrangem uma faixa de 5 a 7° de latitude próximo ao equador



Circulação do Atlântico Tropical

- **Contracorrente Norte Equatorial (NECC)**
- Logo ao norte das SECs Central e Norte encontra-se a intensa Contracorrente Norte Equatorial (NECC) fluindo para leste
- A NECC é forçada pelos ventos da ITCZ
- A NECC representa o limite norte da circulação do Atlântico Tropical
- Logo ao norte, já se encontra a Corrente Norte Equatorial (NEC) que pertence ao Giro Subtropical do AN



Circulação do Atlântico Tropical

- **Contracorrente Norte Equatorial (NECC)**
- A NECC ao encontrar a costa da África se bifurca em um ramo para norte e outro para leste:
 - O ramo norte depois flui para oeste para se juntar a Corrente Norte Equatorial
 - O ramo leste origina a Corrente da Guiné
- A região no contorno leste entre a NEC e a NECC forma um ciclone: é uma região de ressurgência chamada Domo da Guiné



Circulação do Atlântico Tropical

- **Contracorrente Sul Equatorial (SECC)**
- Entre a SEC Sul e a SEC Central, em cerca de 7 – 8°S, há a quase-permanente (sazonal) Contracorrente Sul Equatorial (SECC), associada à ITCZ no hemisfério sul
- A SECC, ao atingir a costa da África, incorpora das águas ressurgidas da Subcorrente Equatorial e flui para sul formando a Corrente de Angola e depois para oeste formando um ciclone: região de ressurgência (Domo de Angola)
- Podemos notar uma simetria latitudinal entre o Domo da Guine (10°N) e o de Angola (10°S)



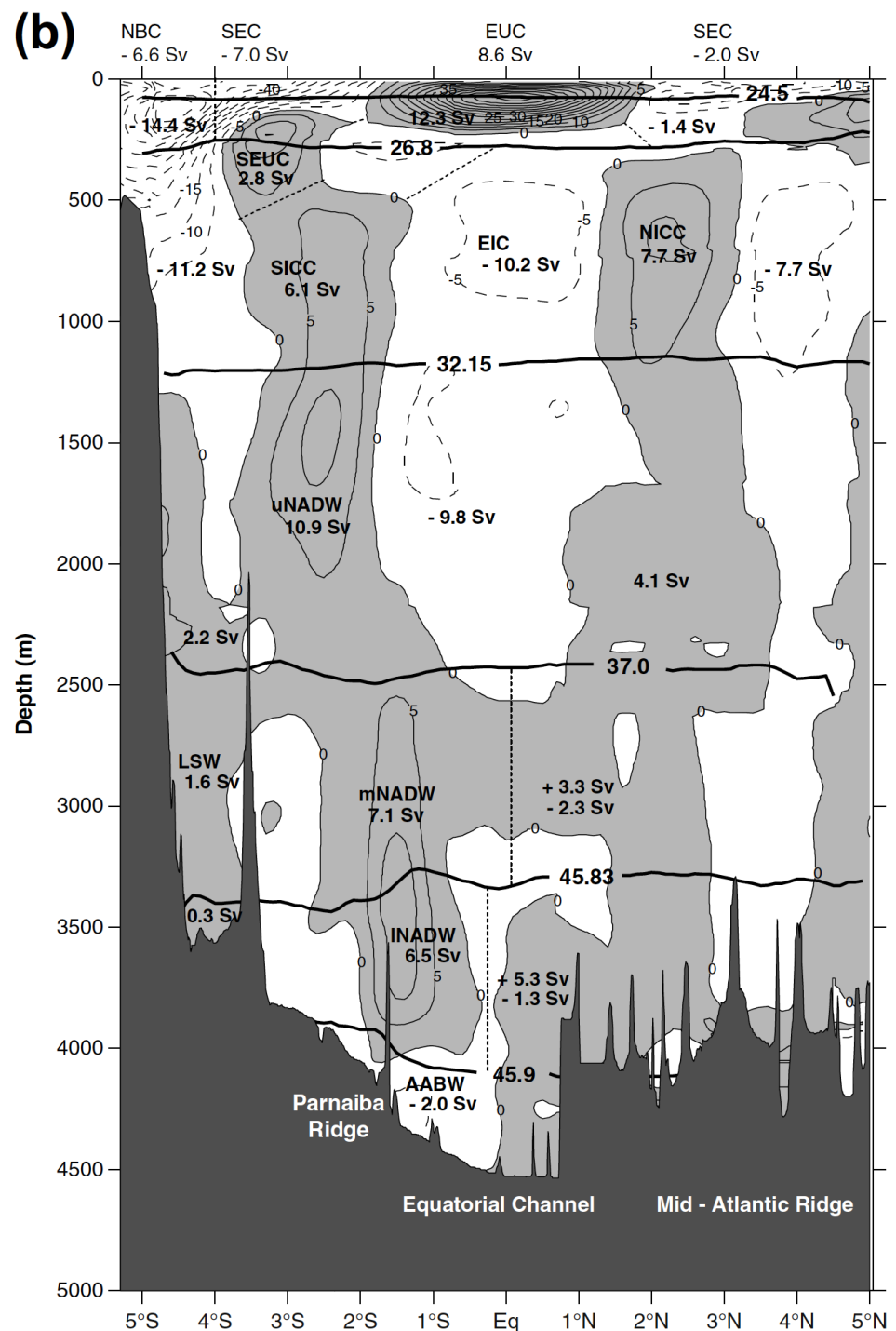
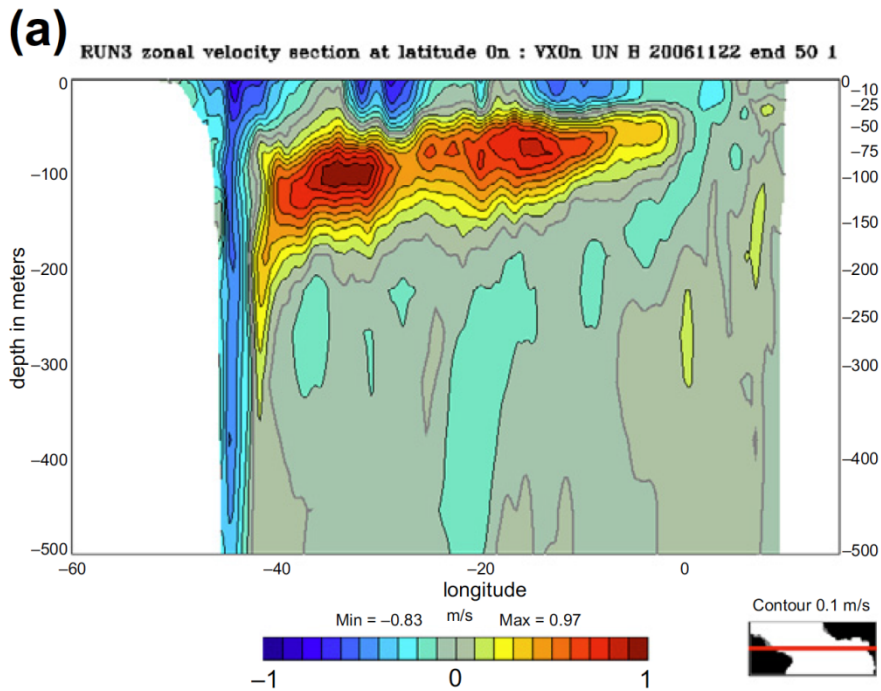
Circulação do Atlântico Tropical

- **Subcorrentes e Correntes Intermediárias**
- A longo do Equador, pouco abaixo da superfície (60 a 120 m) a Subcorrente Equatorial (EUC) flui para leste
- O núcleo da EUC está posicionado sobre a linha do Equador (0°)
- A EUC é formada pela força gradiente de pressão devido aos Ventos Alísios que empilham a água superficial no oeste. Pode atingir cerca de 100 cm/s
- Abaixo da EUC, está a Corrente Intermediária Equatorial (EIC) que flui para oeste (direção oposta à EUC)



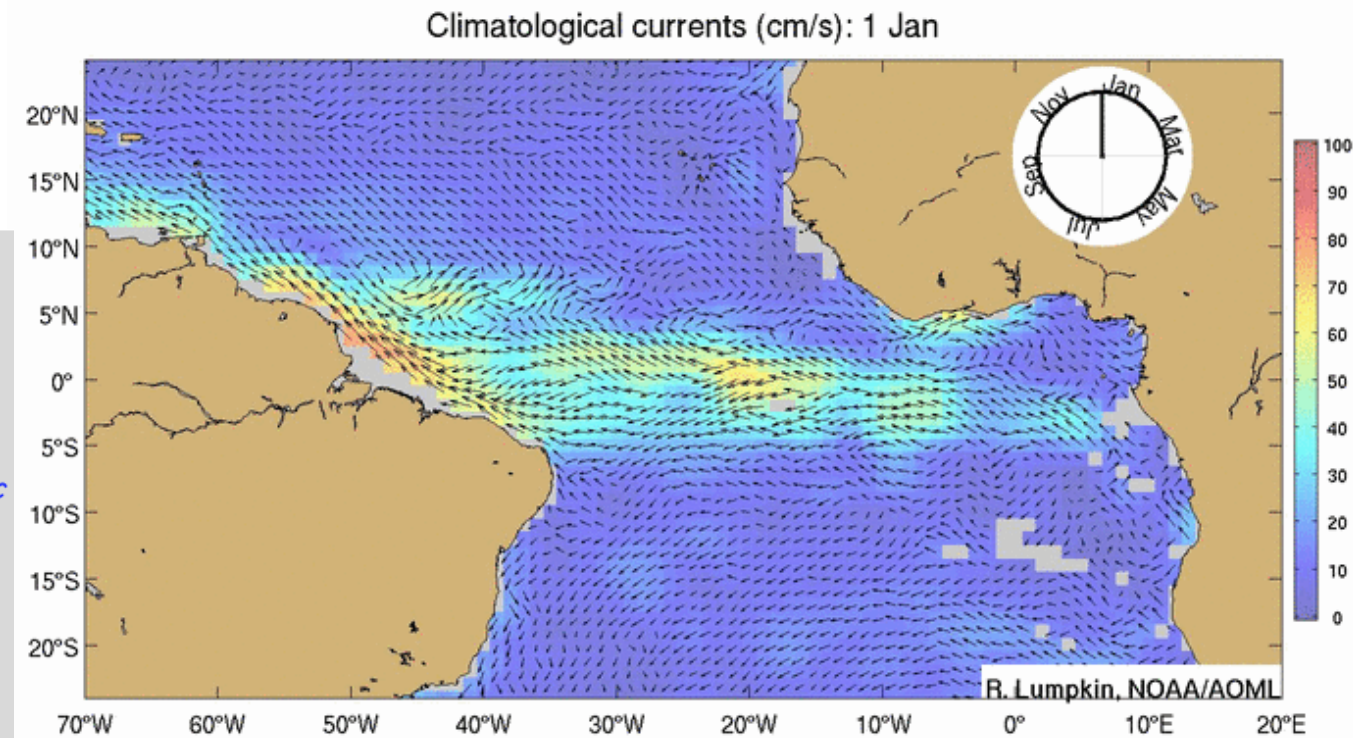
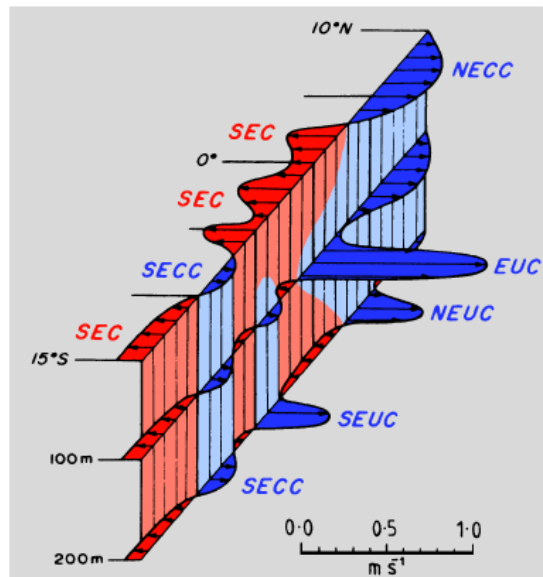
Circulação do Atlântico Tropical

- **Subcorrentes e Correntes Intermediárias**
- Em ambos hemisférios, em 2 - 4° de latitude, há correntes intermediárias para leste com núcleo a 500 a 1000 m de profundidade
- São chamadas de Subcorrente Norte Equatorial (NEUC), Subcorrente Sul Equatorial (SEUC) e em maior profundidade a Contracorrente Norte Intermediária (NICC) e Contracorrente Sul Intermediária (SICC)
- Cada uma dessas correntes possui um transporte considerável: de 5 a 10 Sv



Estrutura das correntes no Atlântico Tropical.
 (a) Velocidade para leste ao longo do equador. Fonte Boulès et al (2008).
 (b) Transporte zonal médio das massas d'água em 35W. Fonte Schott et al (2003). Extraído de Talley et al (2011).

Circulação do Atlântico Tropical



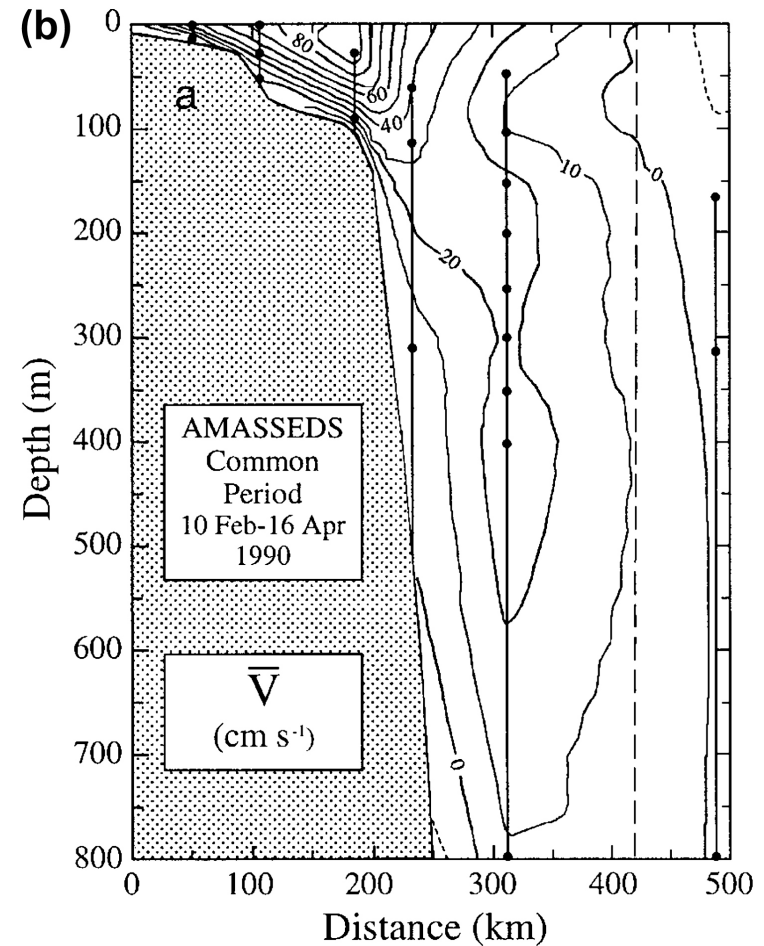
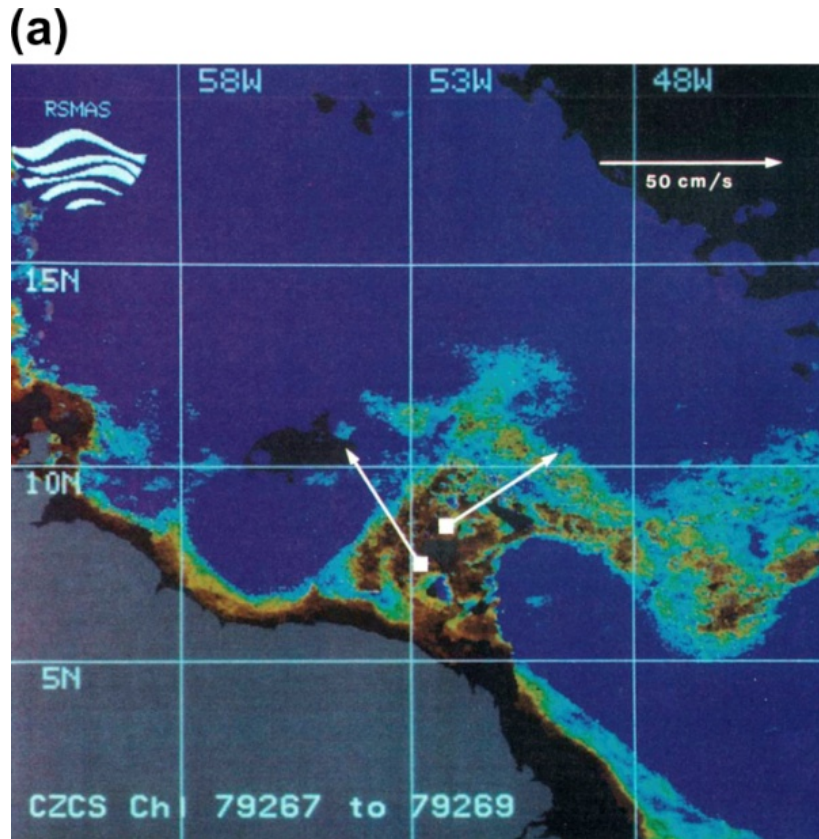
Animação das correntes climatológicas com base em derivadores no Oceano Atlântico.



Circulação do Atlântico Tropical

- **Corrente Norte do Brasil (NBC)**
- CCO do Atlântico Tropical, fluindo para norte a partir da bifurcação da SEC (10 – 15S) na costa do Brasil
 - Velocidades superficiais > 90 cm/s, extensão vertical (800 m) e transporte médio de 26 Sv em 4°N
 - Parte da NBC flui para leste no Equador se juntando à EUC
 - A outra parte cruza o Equador, onde uma parte integra o fluxo para leste da NECC, enquanto outra segue para norte ao longo do contorno oeste (C. Caribe, C. Flórida, C. Golfo)
- A NBC tem uma destacada atividade de meso-escala
 - Em cerca de 5–7°N, retroflete e libera vórtices (anéis) anticiclônicos (diâmetro de 400 km; 1 Sv; 900 m espessura e 3 a 4 anéis por ano)
 - Velocidade de rotação (30 a 80 cm/s) e translação (10 cm/s)

Circulação do Atlântico Tropical

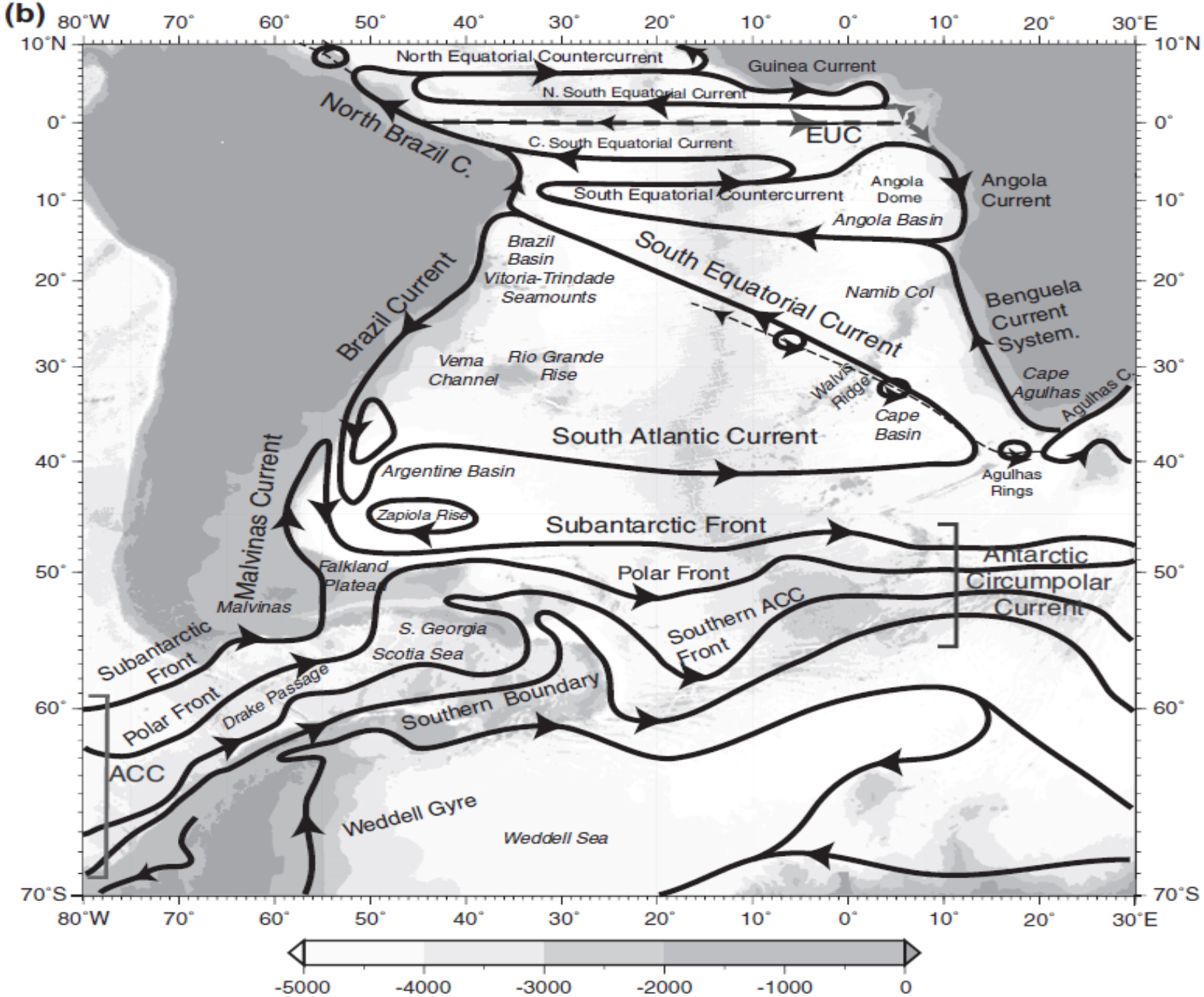


(a) Imagem de satélite da cor do oceano (CZCS) da retroflexão da Corrente Norte do Brasil (NBC) antes da formação de uma anel. Fonte: Johns et al. (1990). Velocidade média (cm/s) da NBC em 4N em 1990. Fonte: Johns et al. (1998). Extraído de Talley et al (2011).



Circulação do Atlântico Sul

- A circulação de superfície do AS consiste em:
 - Uma Corrente Circumpolar Antártica (ACC) ao sul
 - Um giro subtropical anticiclônico parcialmente conectado ao giro subtropical do Oceano Índico
 - Um giro tropical ciclônico ao norte



Esquema da circulação superficial do Oceano Atlântico Sul. Extraído de Talley et al (2011).



Circulação do Atlântico Sul

- **Giro Subtropical**
- É forçado pelo rotacional da tensão do vento, causando subsidência e Transporte de Sverdrup em direção ao equador
- A Corrente do Brasil (BC) é a Corrente de Contorno Oeste
- 2 fatores são únicos no giro subtropical do AS:
 - Importante participação na Circulação Termohalina através dos fluxos nas camadas mais superficiais: i) região de retroflexão das Agulhas e ii) Passagem de Drake
 - Conexão com o giro subtropical do Oceano Índico. Os giros dos Oceanos Atlântico e Índico se conectam entre 34° e 50°S



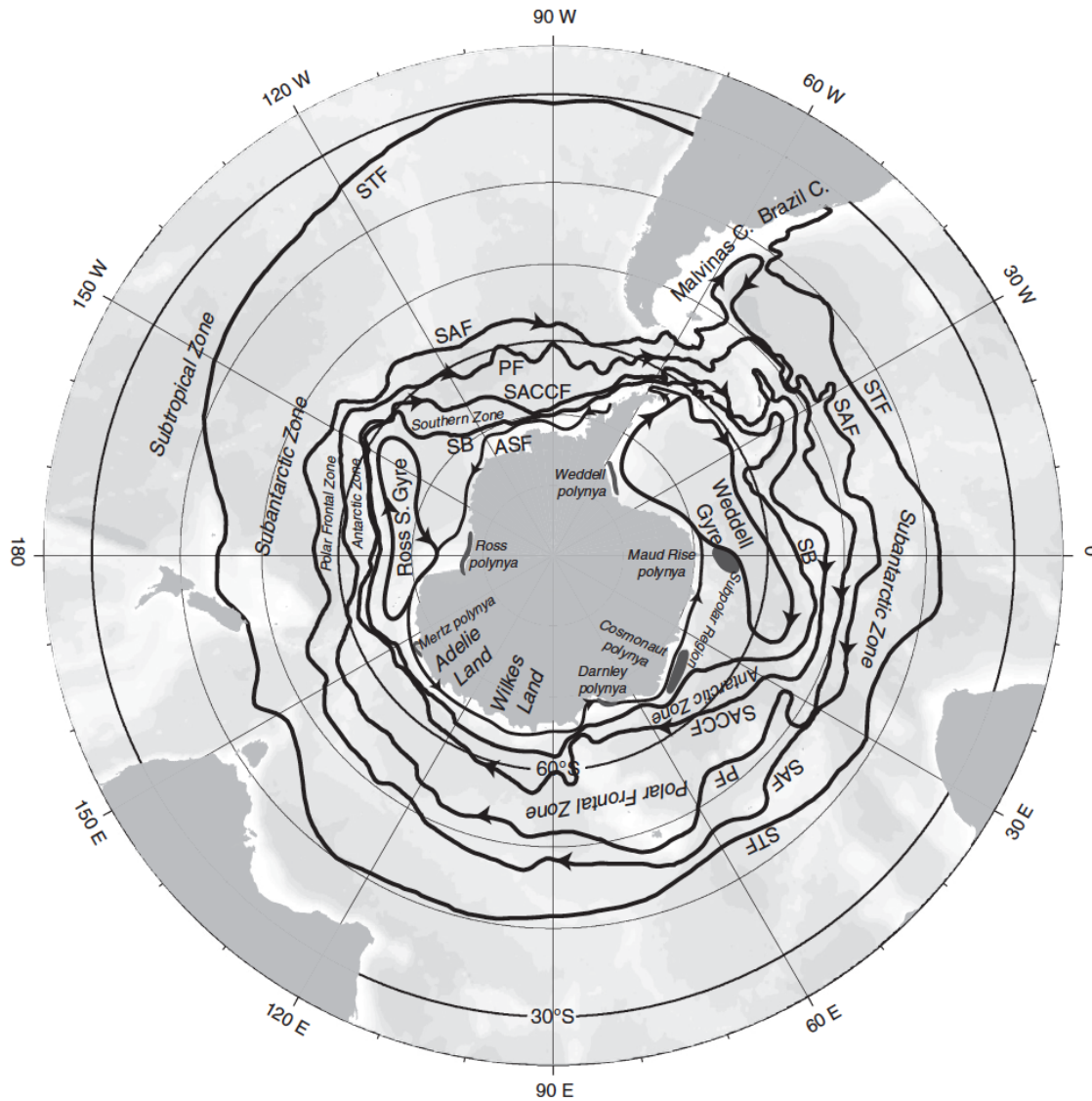
Circulação do Atlântico Sul

- **Corrente do Brasil (BC)**
- Se origina da bifurcação da SEC na costa do Brasil (10-15°S em superfície)
- A BC se aprofunda a medida que flui para sul
- Uma recirculação anticiclônica ao sul de 30°S aumenta o transporte da BC a medida que ela avança para sul
- Uma revisão mais abrangente da CB ainda é necessária (vide Silveira et al. 2000)
- Alguns valores de transporte incluem 2.5 Sv (12°S); 4 Sv (15°S); 11 Sv (27°S), 22 Sv (34°S) e 41 Sv (36°S)
- Encontra-se com a Corrente das Malvinas (fria) na Convergência Brasil-Malvinas (36-38°S), e separa-se da costa, originando a Corrente do Atlântico Sul (SAC)



Circulação do Atlântico Sul

- **Corrente das Malvinas**
- Se origina da Frente Subantártica na Passagem de Drake e flui para norte ao longo do contorno oeste (~ 1000 m)
- Separa-se da costa em cerca de 38°S na Convergência Brasil-Malvinas, originando a Corrente do Atlântico Sul (SAC)
- A localização da separação da BC teórica (baseada no rotacional da tensão do vento e transporte de Sverdrup) seria 10° ao sul do ponto de separação
- A intensa Corrente das Malvinas (40 cm/s; 40-70 Sv) parece empurrar o local da separação da BC para norte



A geografia do Oceano Austral, principais frentes, e zonas oceanográficas. A Frente Subtropical (STF) é o oceanograficamente o limite norte da região. A Corrente Circumpolar Antártica (ACC) que flui para leste inclui as seguintes frentes: Frente Subantártica (SAF), Frente Polar (PF), Frente da ACC (SACCF) e Fronteira Sul (SB). A localização das frentes é baseada em Orsi et al. (1995). Extraído de Talley et al (2011).

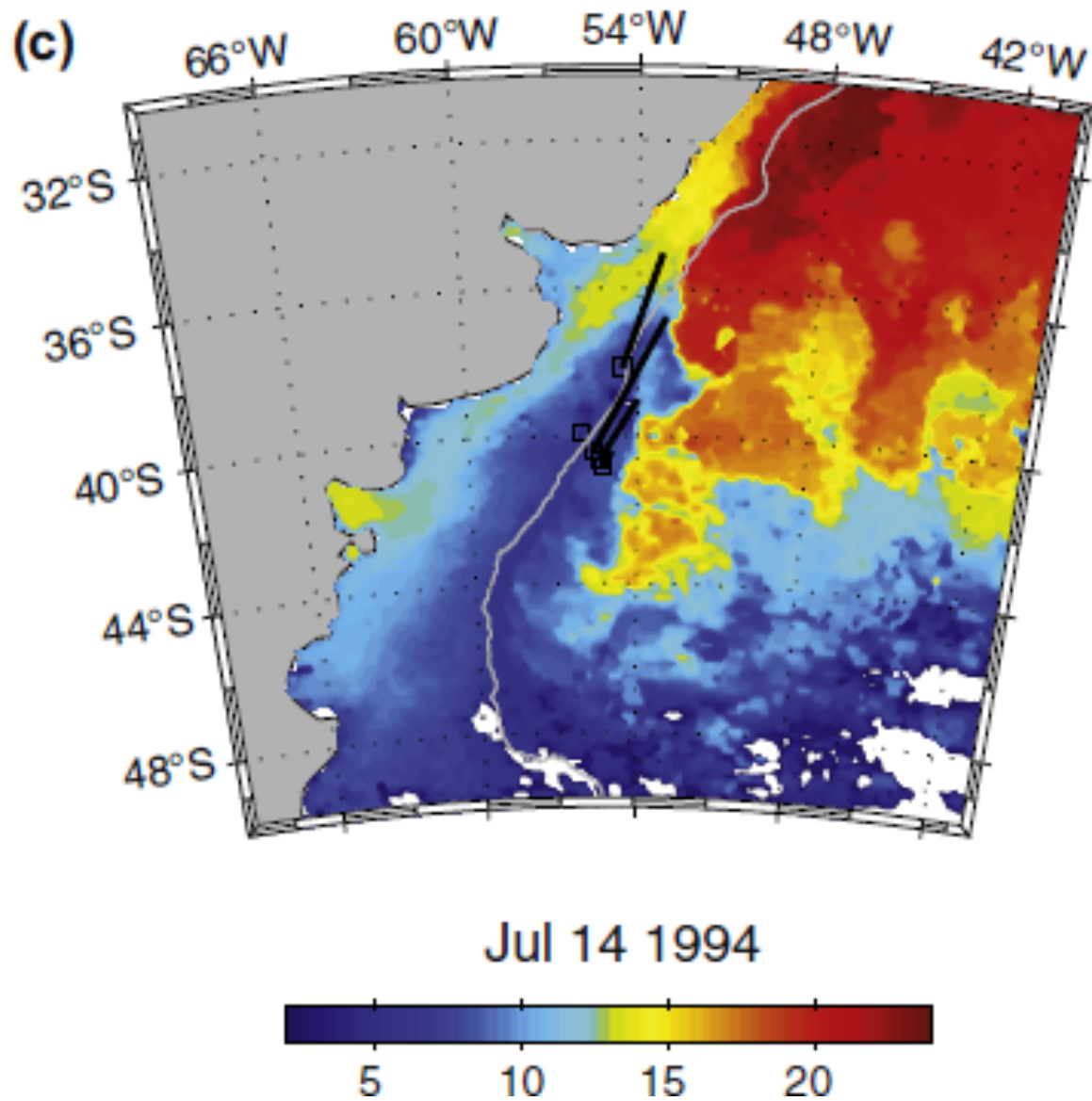


Imagem de satélite no infra-vermelho da Confluência Brasil-Malvinas. Linhas pretas representam vetores de correntes em fundeios para a profundidade aproximada de 200 m. A isóbata de 1000 m é representada pela linha cinza. Fonte: Vivier and Provost (1999). Extraído de Talley et al (2011).

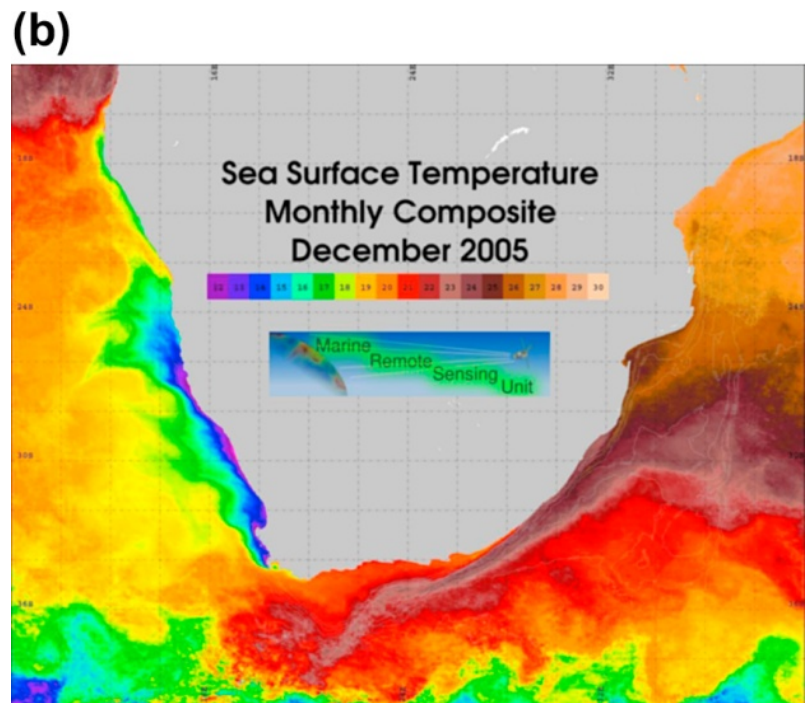
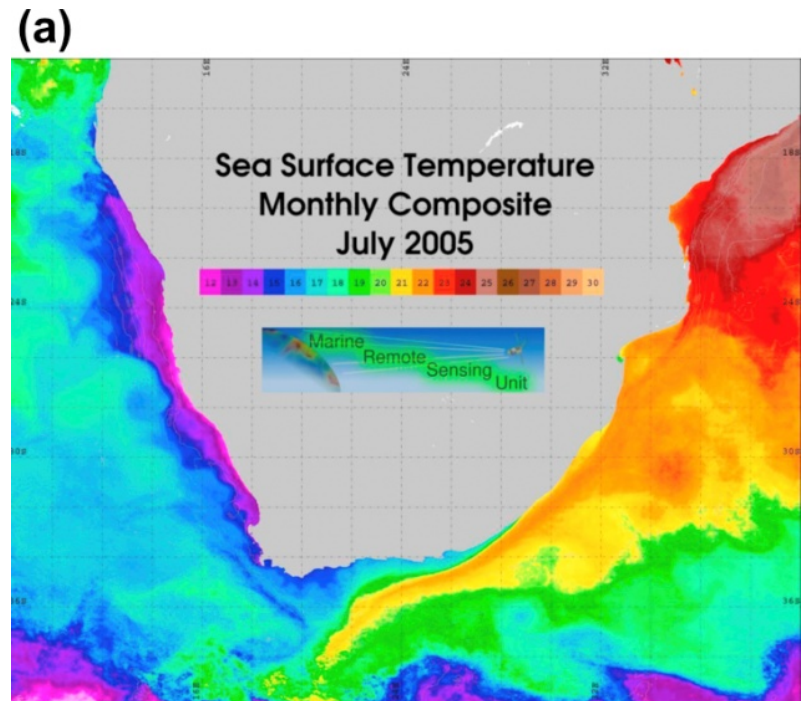


Circulação do Atlântico Sul

- **Corrente de Benguela**
- É a Corrente de Contorno Leste do giro subtropical do AS
- Flui para norte, partindo de 34°S até 14°S onde encontra a Corrente de Angola
- É única dentre as CCL, pois transporte água quente em superfície oriunda da Circulação Termohalina Global
- Apresenta as características de um sistema clássico de ressurgência:
 - Ventos favoráveis soprando para o Equador advectam água superficial por transporte de Ekman em direção ao oceano gerando um fluxo superficial (Corrente de Benguela) rumo ao Equador e uma subcorrente em direção aos polos

- A estação para ressurgência na parte sul é durante o verão (dezembro-fevereiro), mas na parte central e norte a ressurgência ocorre ao longo de todo o ano
- No limite norte, a Corrente de Benguela (fria) se encontra com a Corrente de Angola (quente) e estas formam uma frente denominada de **Frente Angola-Benguela** localizada em cerca de 16°S

Corrente de Benguela e Retroflexão da Corrente das Agulhas. Composite mensal da TSM (AVHRR) para (a) julho (inverno) e (b) dezembro (verão) de 2005. Fonte UCT Oceanography Department (2009). Extraído de Talley et al (2011).

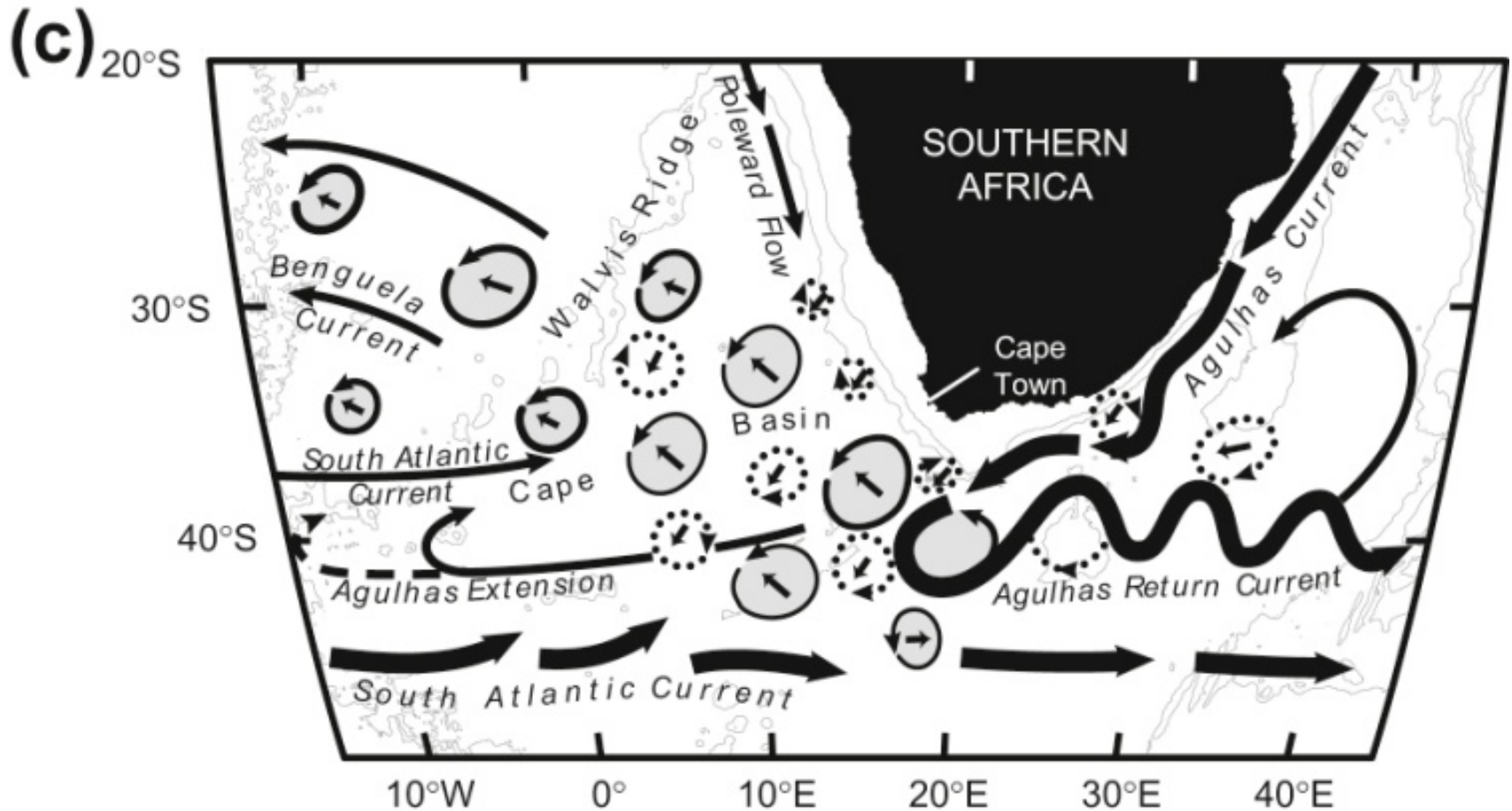




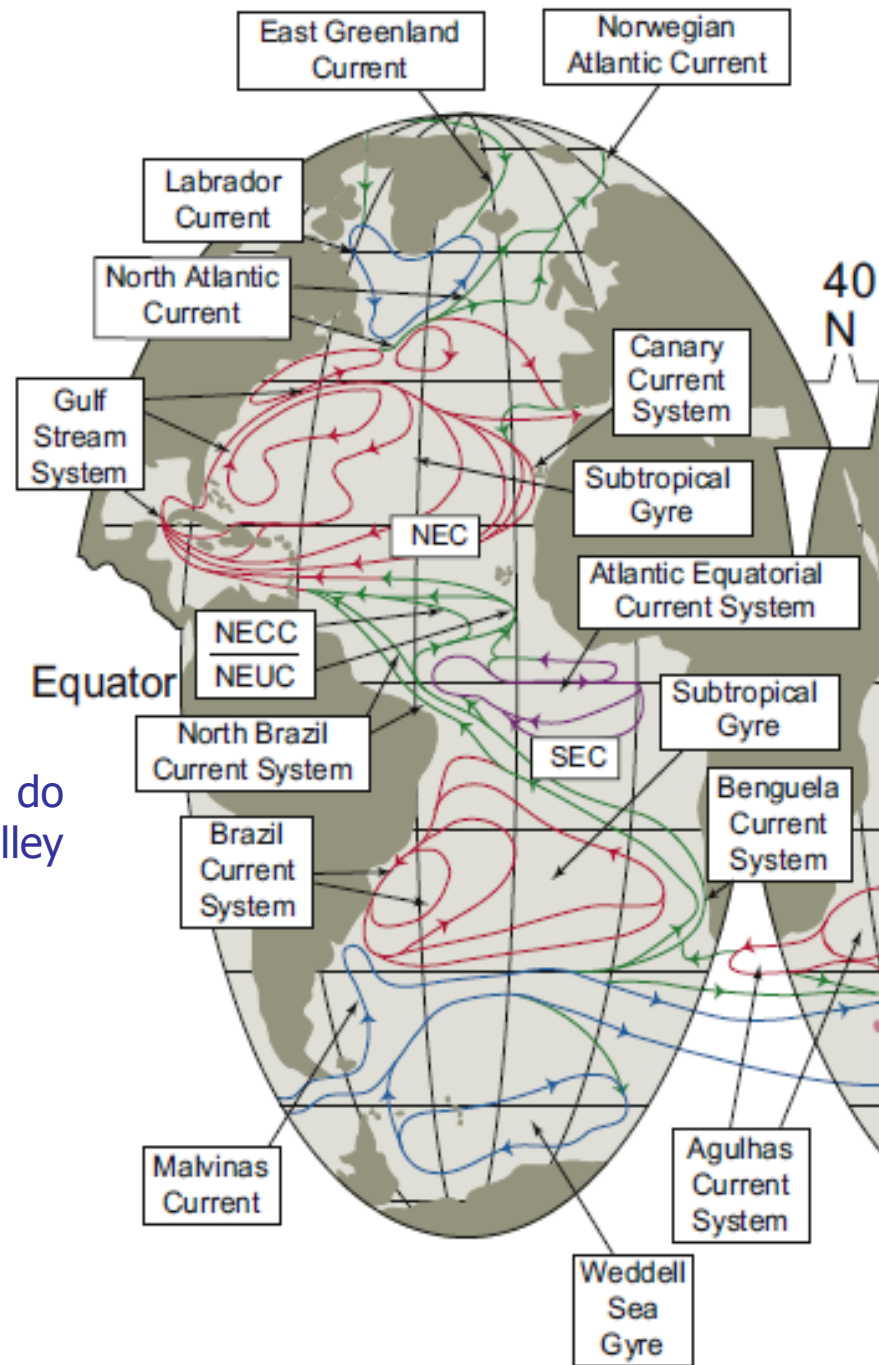
Circulação do Atlântico Sul

- **Atividade de meso escala no AS**
- Ocorre principalmente na região equatorial, Corrente Norte do Brasil, Confluência Brasil-Malvinas e Retroflexão da Corrente das Agulhas
- Vórtices quentes (anticiclônicos) da Frente da Corrente do Brasil formam-se após sua separação e alcançam 45°S. Nesta região existe uma média de liberação de 6 vórtices (diâmetro de 100 km) por ano
- Vórtices da Corrente das Agulhas são quentes e salinos (anticiclônicos; diâmetro entre 100 – 400 km) e fluem para oeste e depois retrofletem para leste
- Média de 6 vórtices por ano, sendo que cada vórtice representa uma contribuição de 0,5 a 1,5 Sv do Oceano Índico para o Atlântico

Circulação do Atlântico Sul



Esquema da retroflexão da Corrente das Agulhas e seus vórtices, com a direção dos fluxos nas camadas intermediárias de água. Os anéis em cinza são anticiclônicos. Os anéis tracejados são ciclônicos. Fonte Richardson (2007). Extraído de Talley et al (2011).



Esquema da Circulação do Atlântico. Extraído de Talley et al (2011).



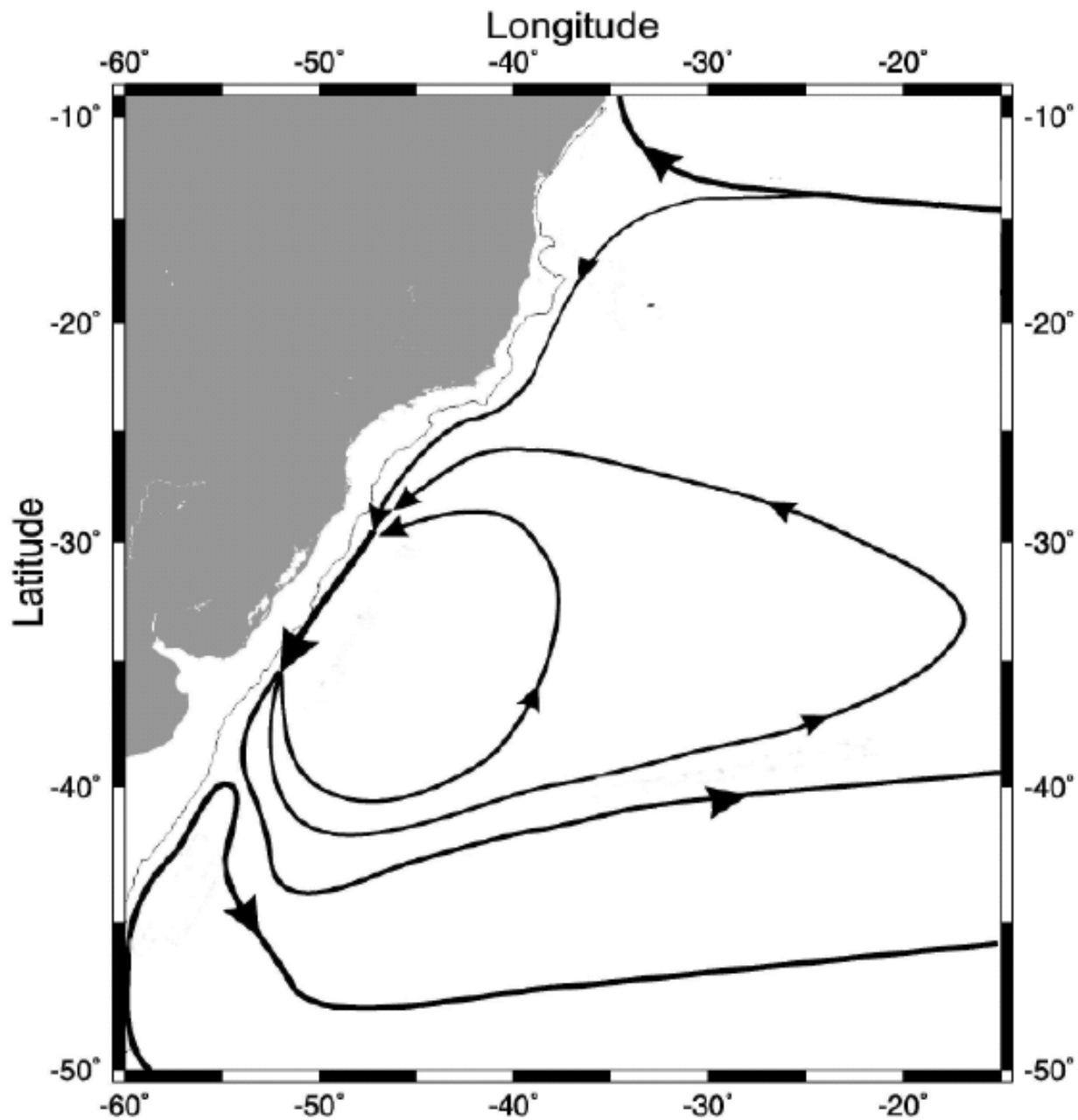
Estrutura Vertical da Circulação do OA

- A circulação nos primeiros 1000-1500 m está associada ao forçamento pelo vento através do bombeamento/sucção de Ekman
- A dependência da circulação com a profundidade depende do regime (tropical, subtropical e subpolar)
 - As correntes de contorno oeste nos giros subtropicais e as correntes equatoriais (ambas associadas a circulação gerada pelo vento) se estendem fracamente até o fundo e apresentam uma extensão lateral bastante limitada
 - Fora do contorno oeste, a circulação na região tropical e subtropical abaixo da picnoclina é principalmente associada a forçantes termohalinas e a circulação termohalina
 - Por outro lado, a circulação forçada pelo vento no giro subpolar do Atlântico Norte se estende até o fundo do oceano, onde se funde com a circulação termohalina

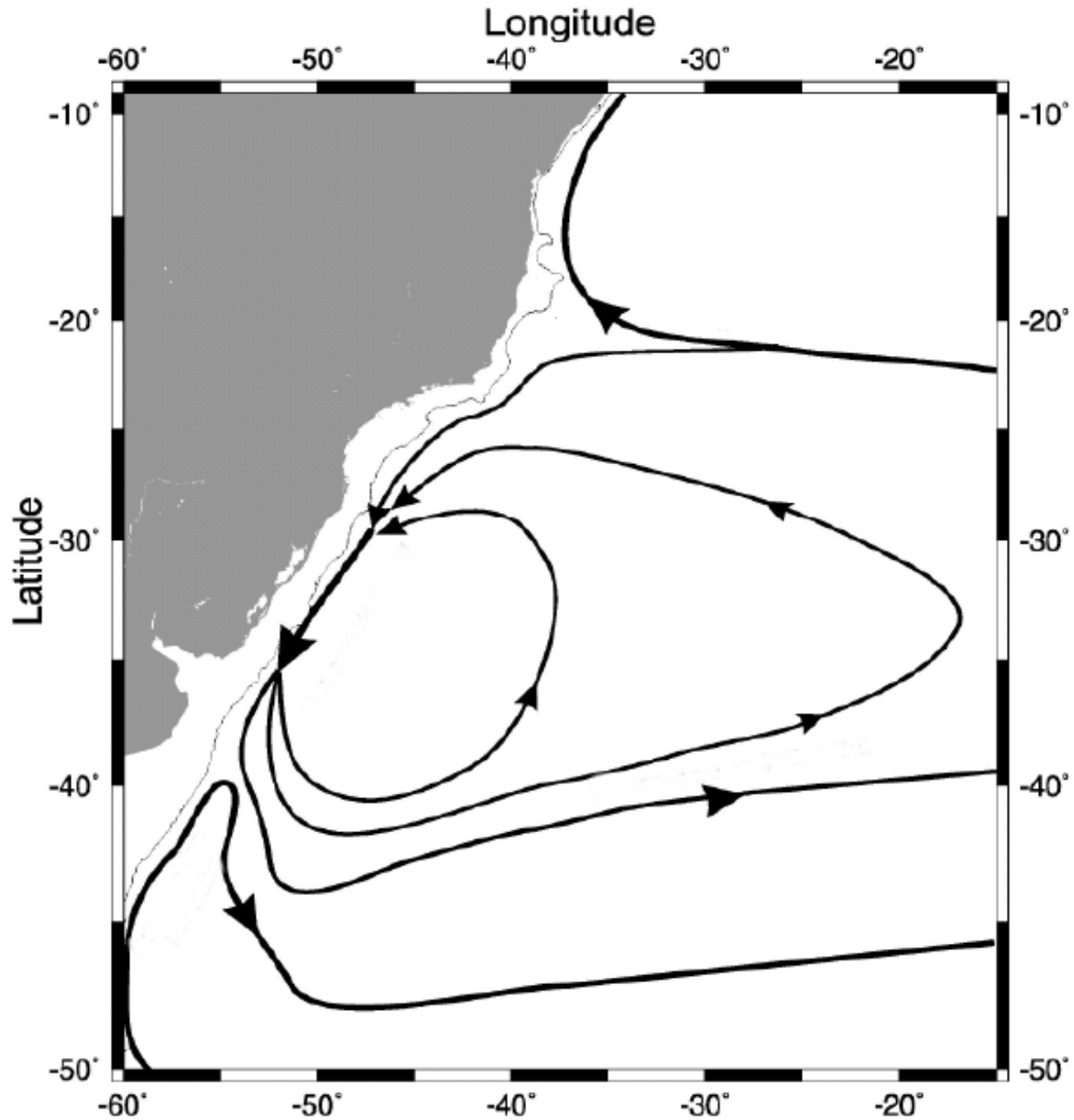


Estrutura Vertical da Circulação do OA

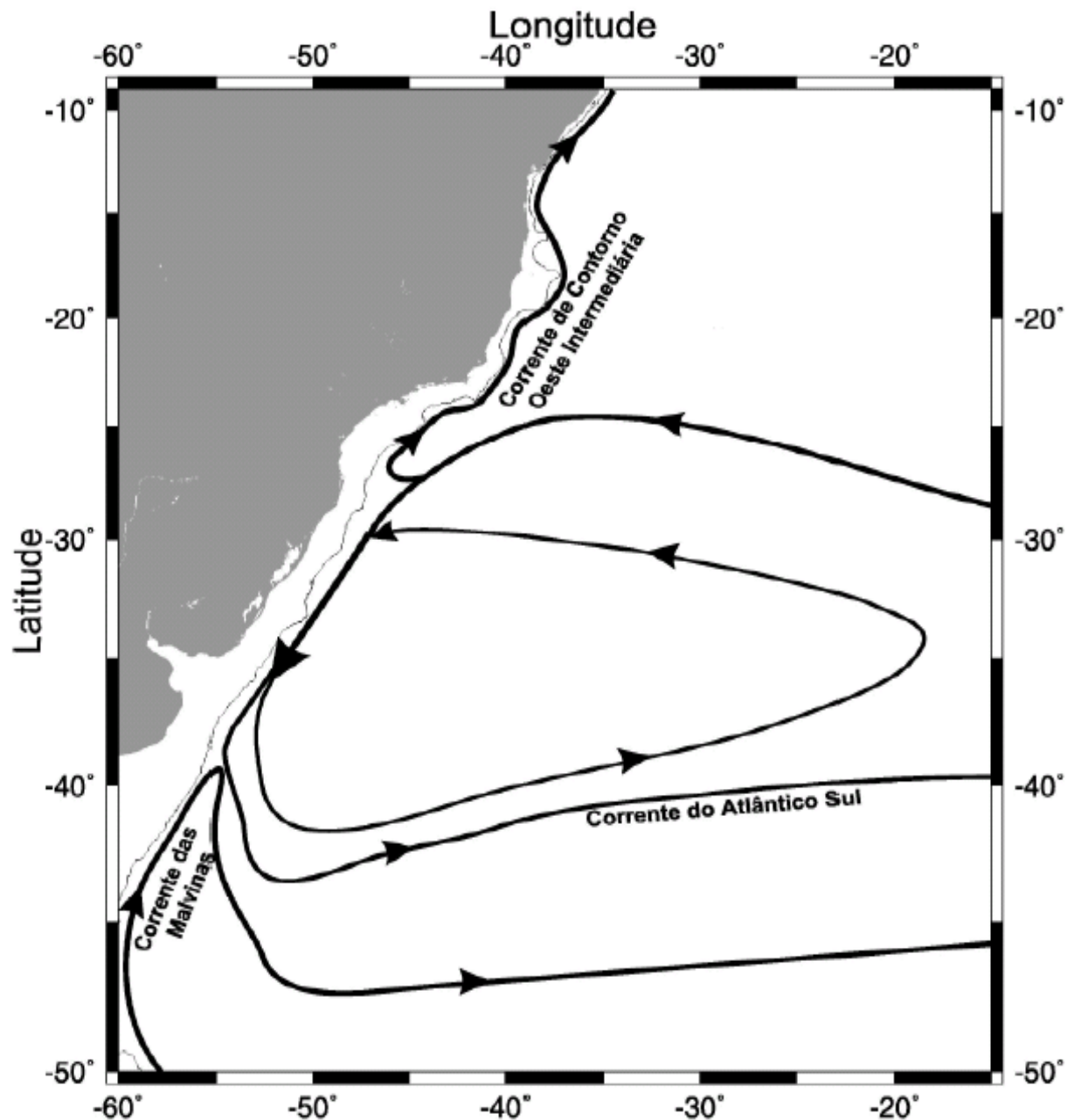
- Pontos principais da influência da profundidade nos **giros subtropicais**
 - As CCO penetram até o fundo, mas sofrem cisalhamento com a profundidade, sendo que as maiores velocidades estão na superfície. O mesmo acontece com os giros de recirculação associados a estas correntes
 - Os giros subtropicais encolhem em direção a oeste e em direção aos polos, ficando comprimidos no contorno oeste conforme aumenta a profundidade
 - A circulação nos giros subtropicais podem ser entendida como várias camadas que começam na superfície e se movem ao longo de isopicnais para o interior do oceano. Massas de água em diferentes isopicnais são oriundas de locais diferentes



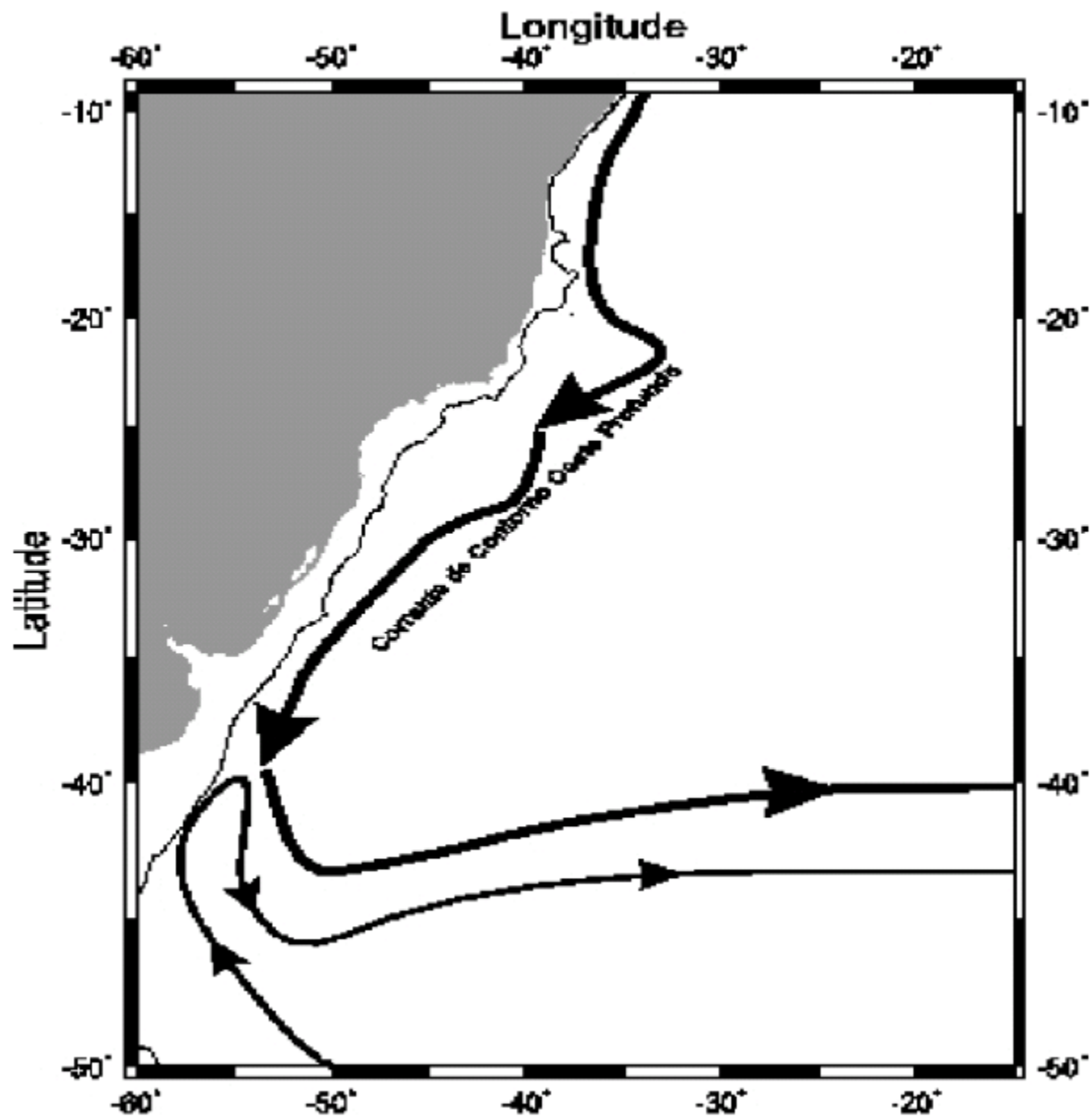
Representação esquemática da circulação da Água Tropical (0 – 140 m). Baseada em Reid (1989) e Stramma e England (1999). Extraído de Silveira (2007).



Representação esquemática da circulação da Água Central do Atlântico Sul (140 – 560 m). Baseada em Reid (1989) e Stramma e England (1999). Extraído de Silveira (2007).



Representação esquemática da circulação da Água Intermediária Antártica (560 – 1300 m). Baseada em Reid (1989) e Stramma e England (1999). Extraído de Silveira (2007).



Representação esquemática da circulação da Água Profunda do Atlântico Norte (1300 – 3260 m). Baseada em Reid (1989) e Stramma e England (1999). Extraído de Silveira (2007).



Estrutura Vertical da Circulação do OA

- Pontos principais da influência da profundidade nos **giros subpolares**
 - A circulação é praticamente “barotrópica equivalente”, ou seja, se estende até o fundo (barotrópica) e diminui em intensidade com a profundidade (equivalente)
 - A divergência de Ekman nas camadas superficiais causa ressurgência, ou seja, não há regiões de subsidência (subducção) e ventilação através do vento. A ventilação aqui é associada a circulação de fluabilidade (convecção ou rejeição de salmoura)
 - No AN, há uma mudança no padrão de circulação acima e abaixo da cadeia (influência pela topografia). Por exemplo, acima da barreira da Cadeia da Groenlândia-Islândia-Shetland, o fluxo continua para norte adentrando no Mar Nórdico. Abaixo da barreira, a circulação é forçada a seguir os complexos contornos da topografia de fundo
 - A circulação termohalina coexiste com a circulação gerada pelo vento



Estrutura Vertical da Circulação do OA

- **Circulação lateral profunda e a conexão entre bacias**
 - Fluxos profundos geralmente seguem os contornos da topografia e a mistura pode ser relacionada à estrutura da topografia
 - As cadeias meso-oceânicas restringem as águas profundas em regiões abissais. Zonas de fraturas nas cadeias, no entanto, permitem a troca de águas entre bacias por meio de fluxos que as vezes são intensos e turbulentos



Estrutura Vertical da Circulação do OA

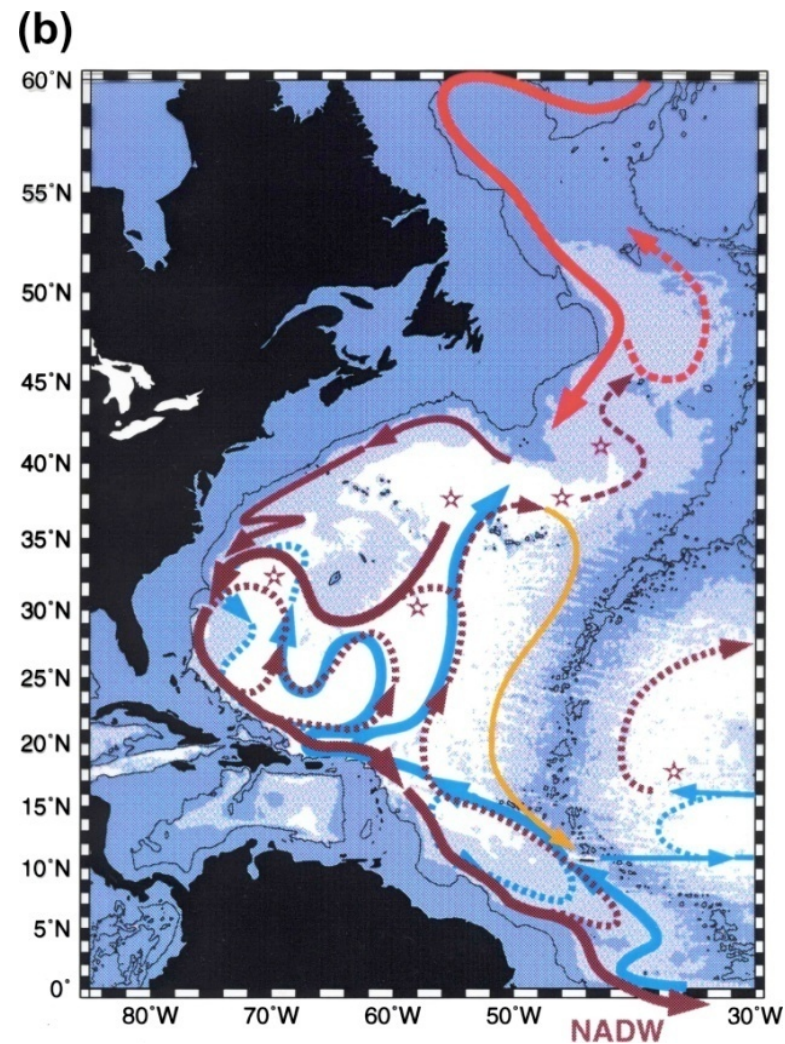
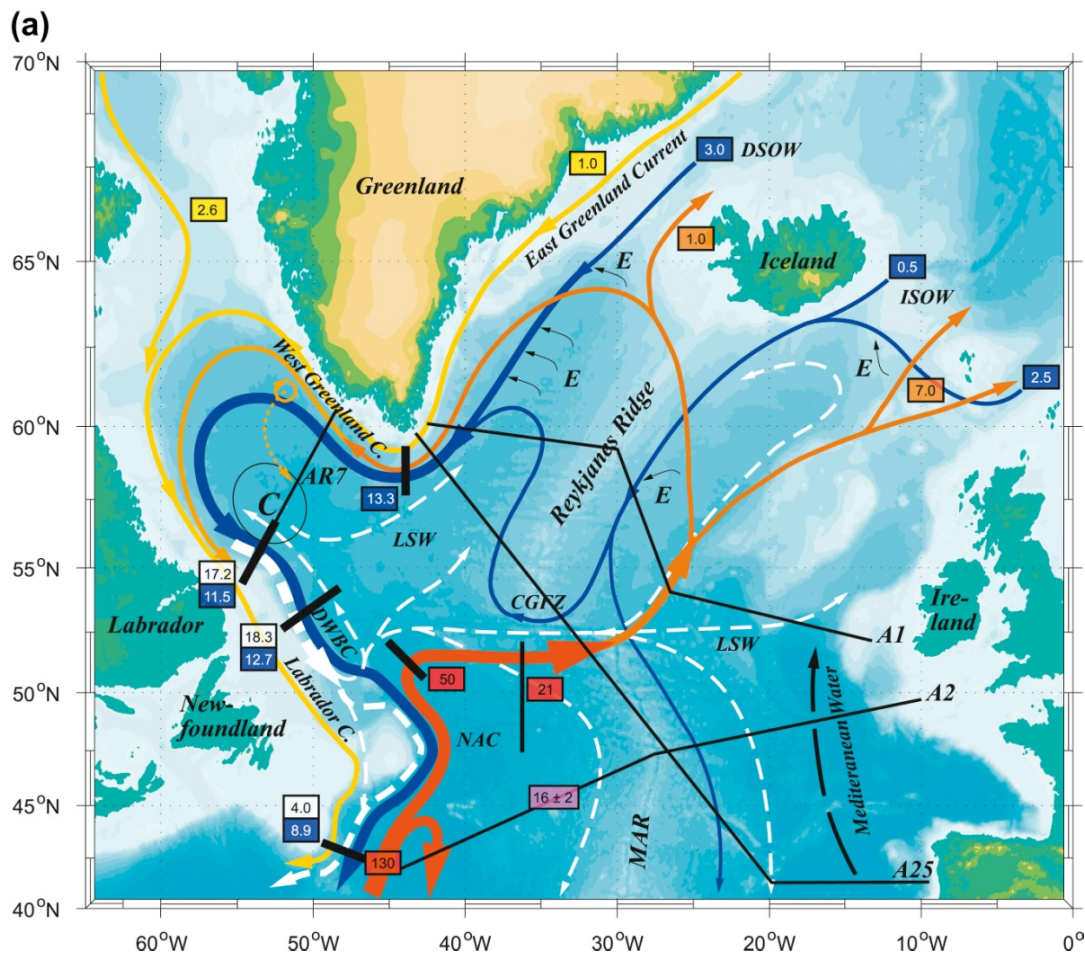
- **Correntes de Contorno Oeste Profundas (DWBC)**
 - A água densa formada no norte do AN deve, em média, fluir para sul, enquanto que águas formadas no Oceano Austral devem fluir para norte
 - Ao longo do contorno oeste do Atlântico, DWBC são associadas tanto à Água Profunda do Atlântico Norte (APAN/NADW) como à Água Antártica de Fundo (AAF/AABW)



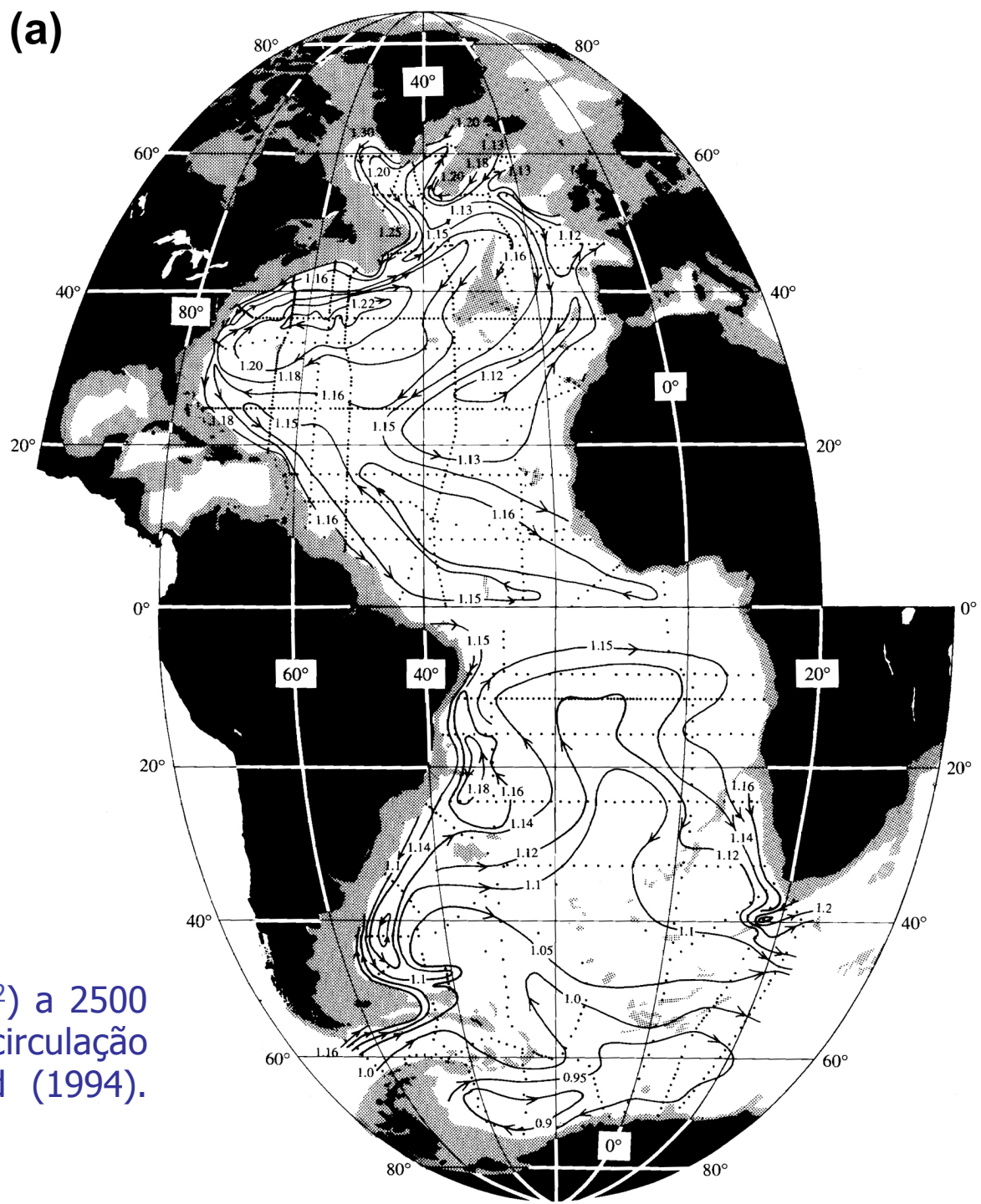
Estrutura Vertical da Circulação do OA

- **NADW's DWBC**

- Se origina das águas do Mar Nórdico (Nordic Seas Overflow Water - NSOW) e das águas de profundidades intermediárias do Mar do Labrador
- É localizada na profundidade de 2500 m, mas pode chegar até 1500 m na região do AN e nos trópicos e no AN vai até o fundo
- Ao atingir a Zona de Fratura de Charles Gibbs, parte flui para leste junto com a NAC e parte segue para sul ao longo do contorno oeste sob a Corrente do Golfo
- No Equador, parte do fluxo segue para leste, ao longo do Equador e parte continua seu caminho para sul, entrando no Atlântico Sul
- Se separa do contorno oeste em 25–40°S
- As velocidades são da ordem de 5 a 20 cm/s e o transporte é da ordem de 15 a 35 Sv, dependendo da latitude



Esquema da circulação profunda. (a) NSOW (azul), LSW (branco pontilhado) e a circulação da superfície (vermelho, laranja e amarelo) no norte do Oceano Atlântico Norte. Fonte: Schott e Brandt (2007) (b) Caminho da circulação profunda enfatizando a DWBC (linha sólida) e sua recirculação (linha tracejada). Vermelho: NSOW. Marrom: NADW. Azul: AABW. Extraído de Talley et al (2011).



Mapa de altura estérica ($10 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$) a 2500 db, ajustado para estimar a circulação geostrófica absoluta. Fonte: Reid (1994). Extraído de Talley et al (2011).



Estrutura Vertical da Circulação do OA

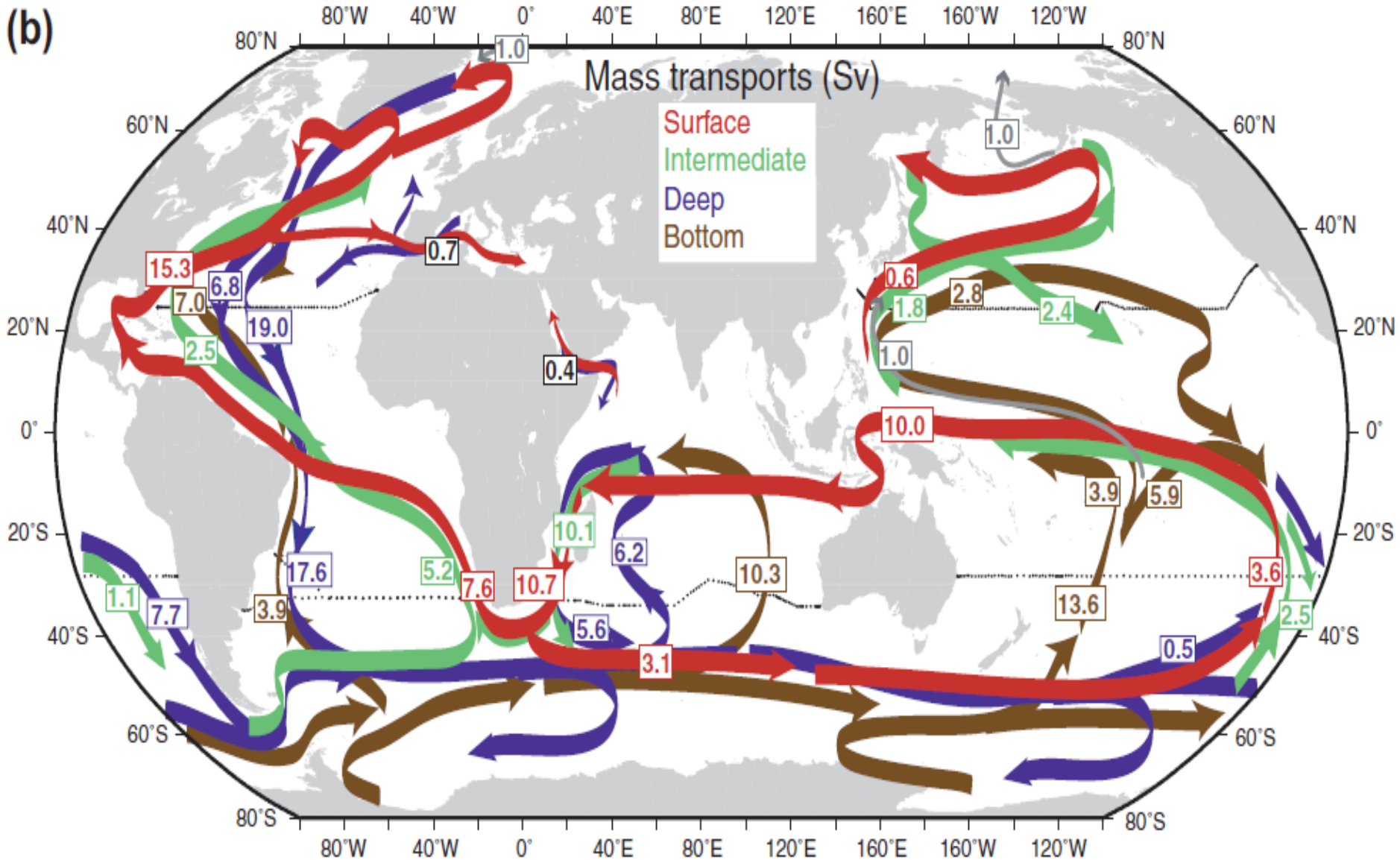
- **AABW's DWBC**

- Se torna um fluxo organizado no AS sudoeste
- Flui para norte bordejando a região oceânica do contorno oeste e abaixo da NADW's DWBC
- Seu transporte é da ordem de 7 Sv
- No Equador, parte de seu transporte flui para leste juntamente com a NADW e parte segue para norte. Neste ponto, atravessa o contorno leste da Cadeia Meso-Oceânica perdendo seu caráter de DWBC
- A AABW perde em transporte por ressurgência para as isopicnais superiores que contem a NADW e então desaparece



Estrutura Vertical da Circulação do OA

- **Circulação Termohalina no Atlântico**
- É composta de 2 partes:
 - Fluxo para norte das camadas mais superficiais que se tornam densas no Oceano Atlântico Norte, afundam e fluem para sul em profundidade, eventualmente formando a NADW
 - Fluxo para norte da densa AABW que ressurge na base da NADW, desaparecendo nas latitudes médias do Atlântico Norte

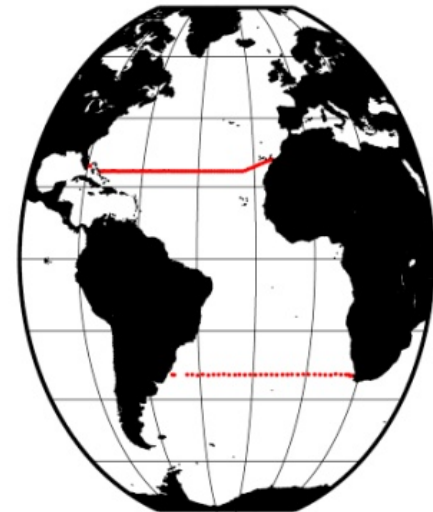
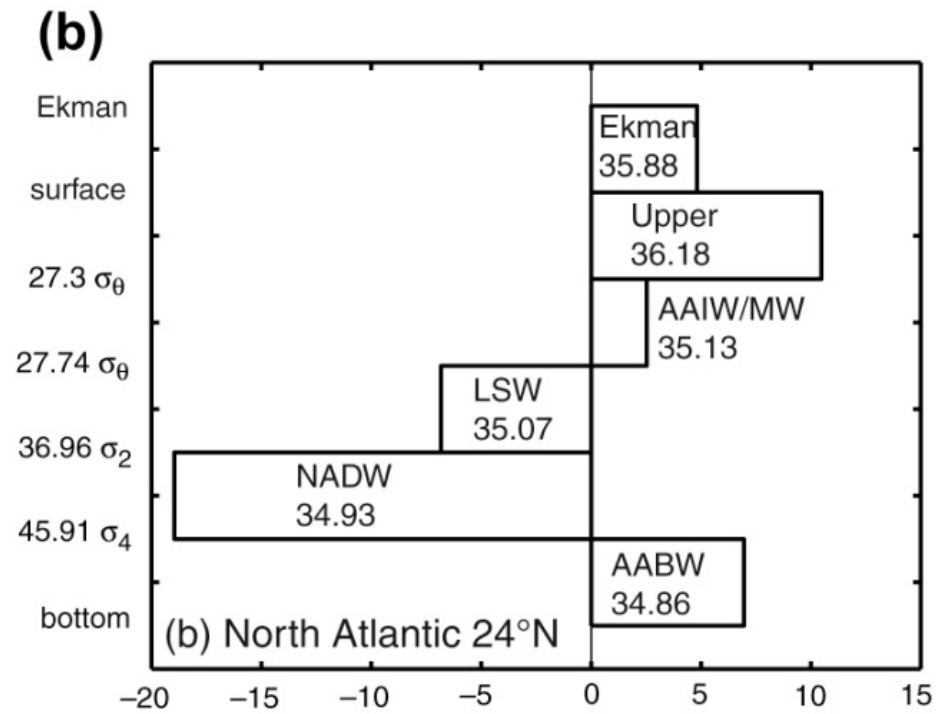
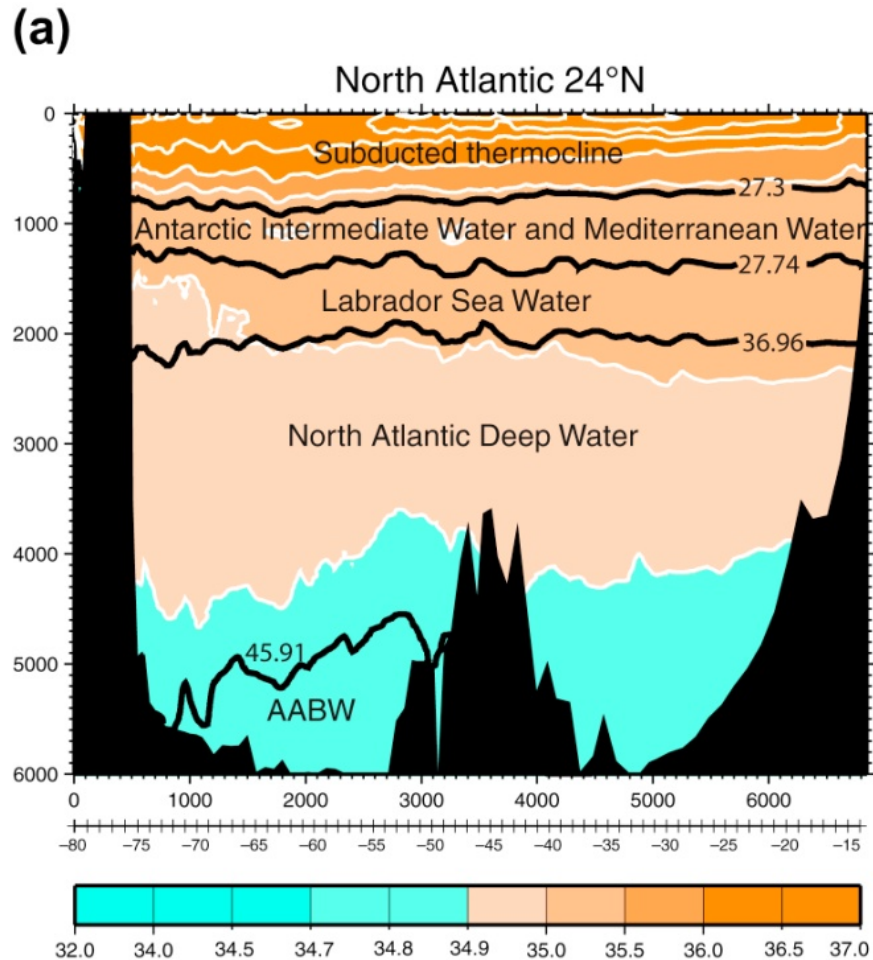


Esquema da Circulação Termohalina e seus transportes (Sv). Extraído de Talley et al (2011).

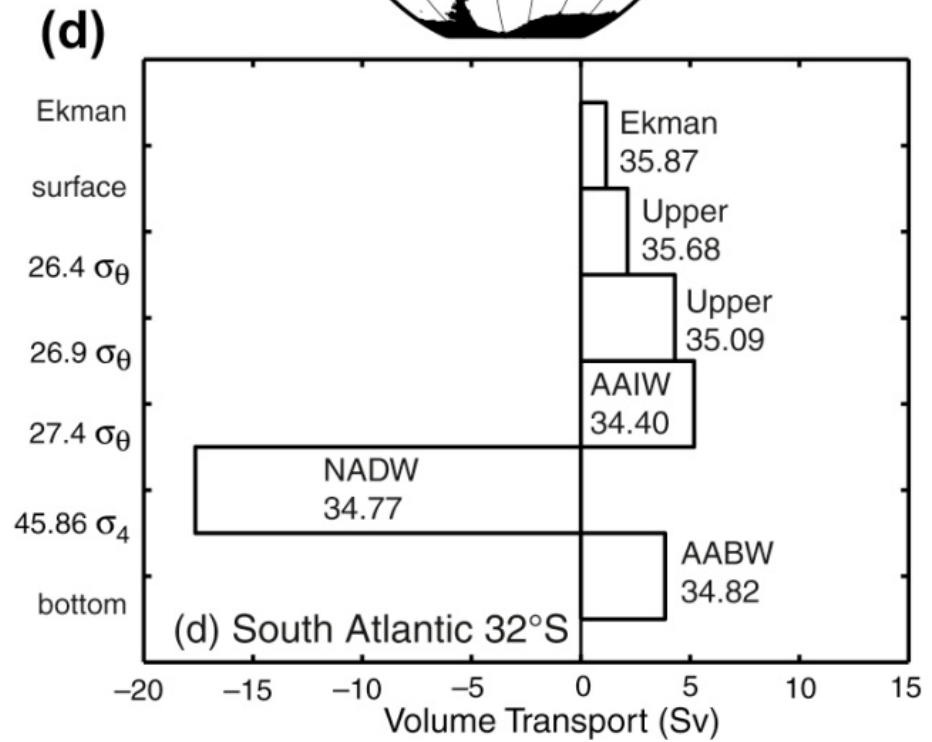
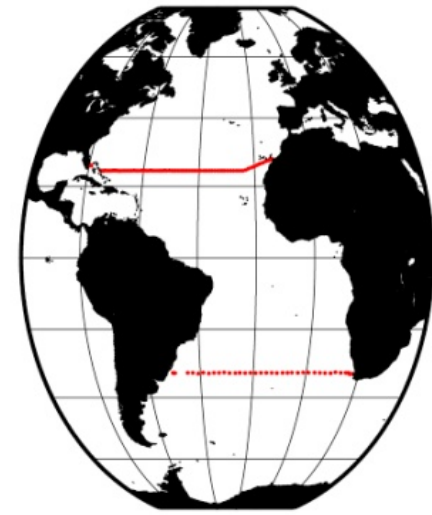
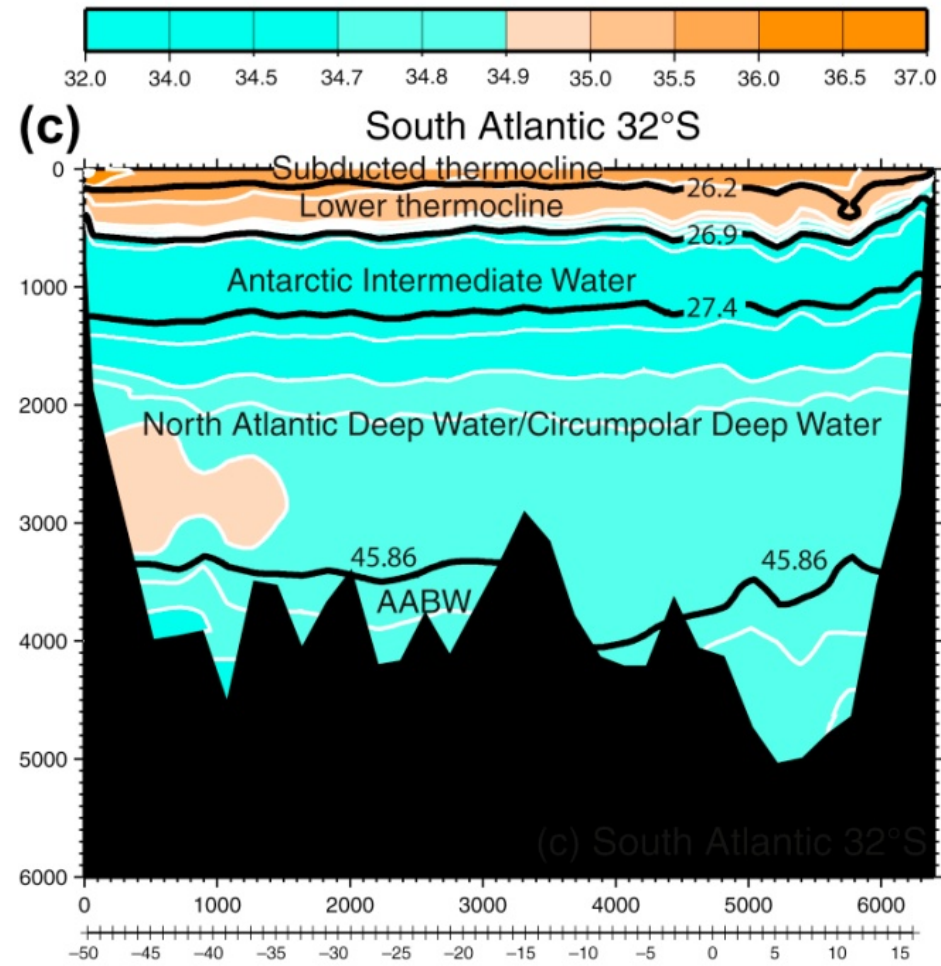


Estrutura Vertical das Massas d'água do OA

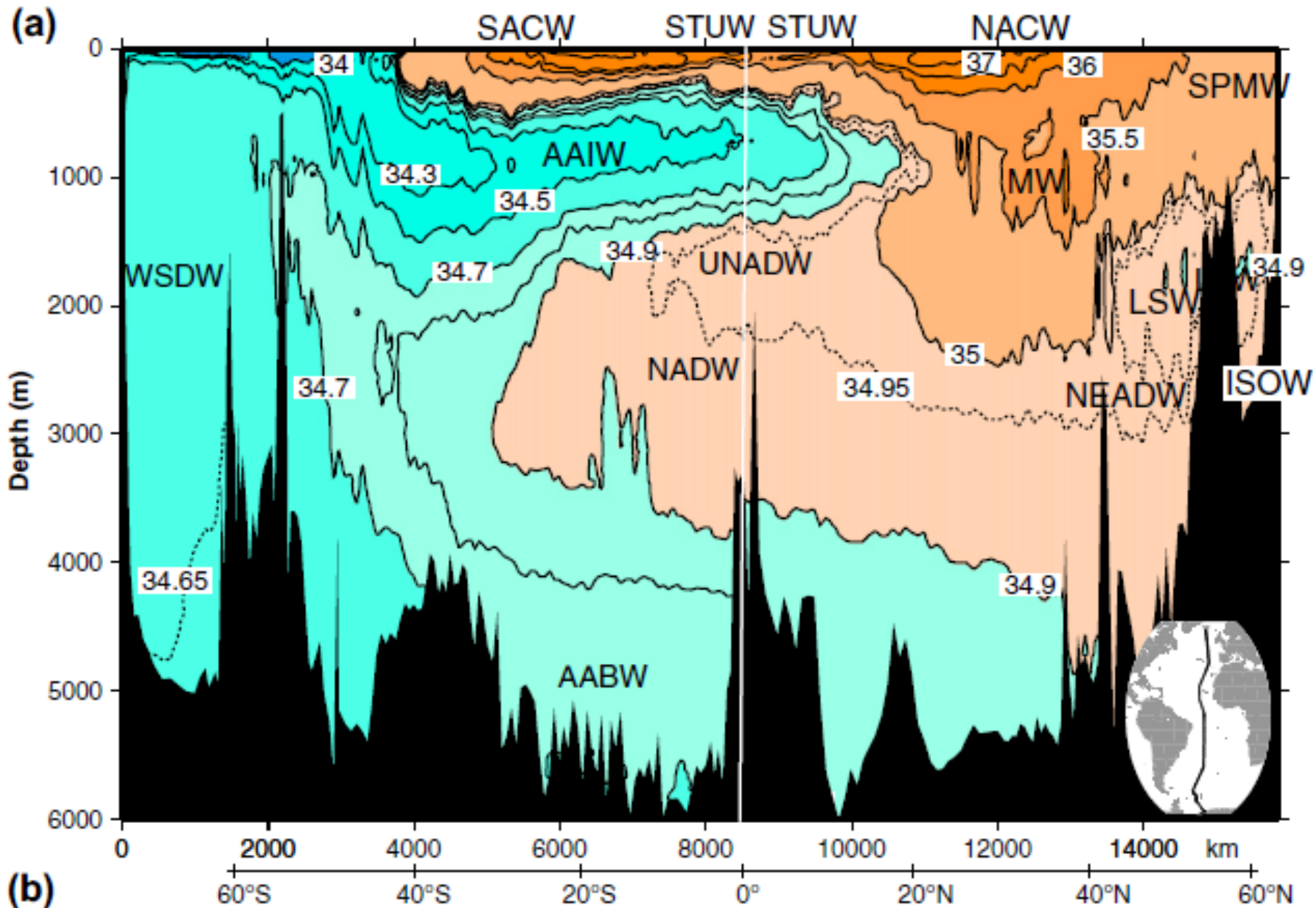
- As estruturas e processos envolvendo as águas da camada superficial são comuns em todos os oceanos
- A Água Central do Atlântico Norte e a Água Central do Atlântico Sul são águas da picnoclina e se estendem a 300 m próximo ao Equador e de 600 a 900 m em latitudes médias
- Abaixo da picnoclina, em profundidades intermediárias de 500 – 2000 m, temos no OA as águas intermediárias:
 - Água do Labrador, Água do Mediterrâneo e Água Intermediária Antártica
- Na circulação profunda temos a Água do Mar Nórdico (NSOW) e a Água Profunda do Atlântico Norte (NADW) formadas no AN e a Água Antártica de Fundo (AABW) e a Água Circumpolar Profunda oriundas do Oceano Austral



Salinidade e transporte meridional em camadas isopicnais em 24° N em 1981. As isopicnais (σ_θ , σ_2 e σ_4) que definem as camadas estão em contornos pretos na seção de salinidade. Extraído de Talley et al (2011).

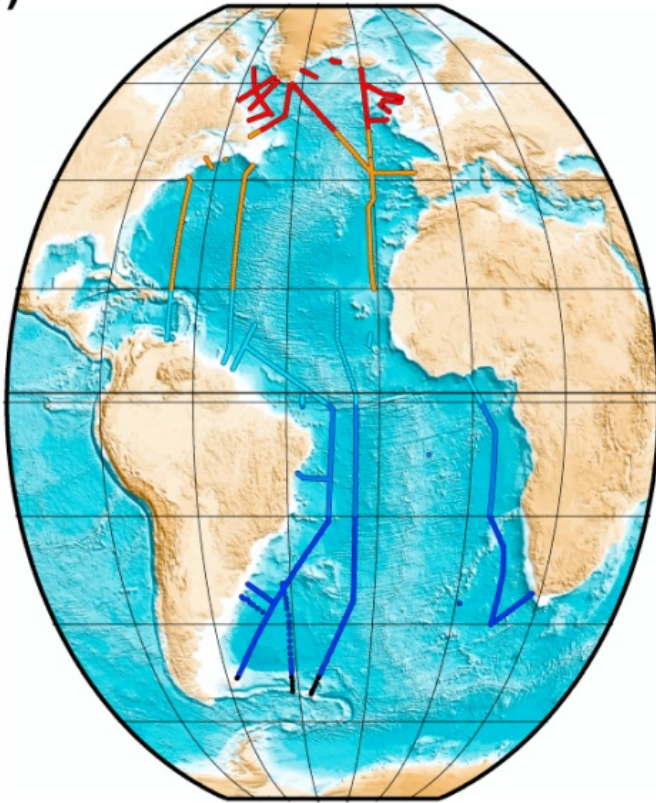


Salinidade e transporte meridional em camadas isopícnais em 32° S em 1959/1972. As isopícnais (σ_θ , σ_2 e σ_4) que definem as camadas estão em contornos pretos na seção de salinidade. Extraído de Talley et al (2011).



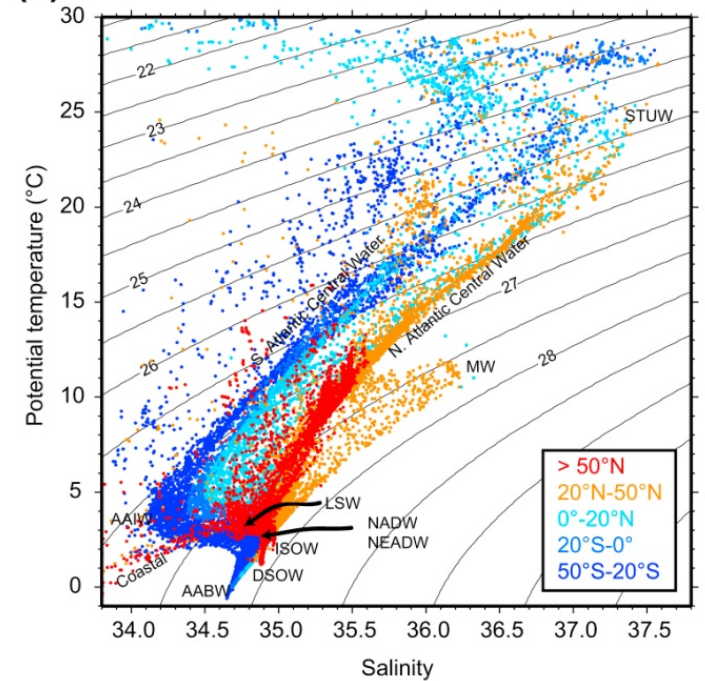
Localização da maioria das principais massas de água do Oceano Atlântico usando uma seção meridional de salinidade para em 20-25°W. Seção A16 e A23 do WOCE. Extraído de Talley et al (2011).

(d)

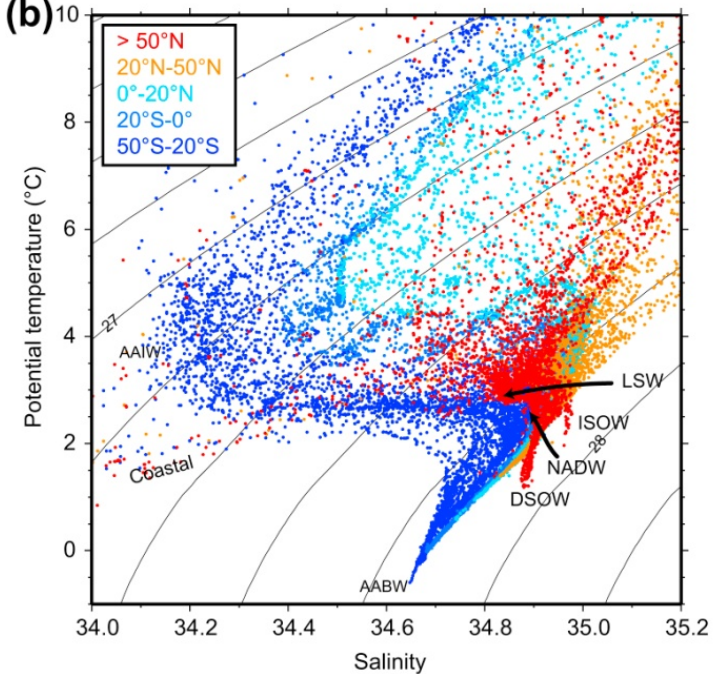


Densidade potencial versus salinidade para (a) a coluna d'água como um todo e (b) águas mais frias que 10°C. (d) mapa de localização das estações. As cores indicam a faixa de latitude. Os contornos são para densidade potencial a 0 dbar. Dados do WOCE (1988 – 1997) Extraído de Talley et al (2011).

(a)



(b)



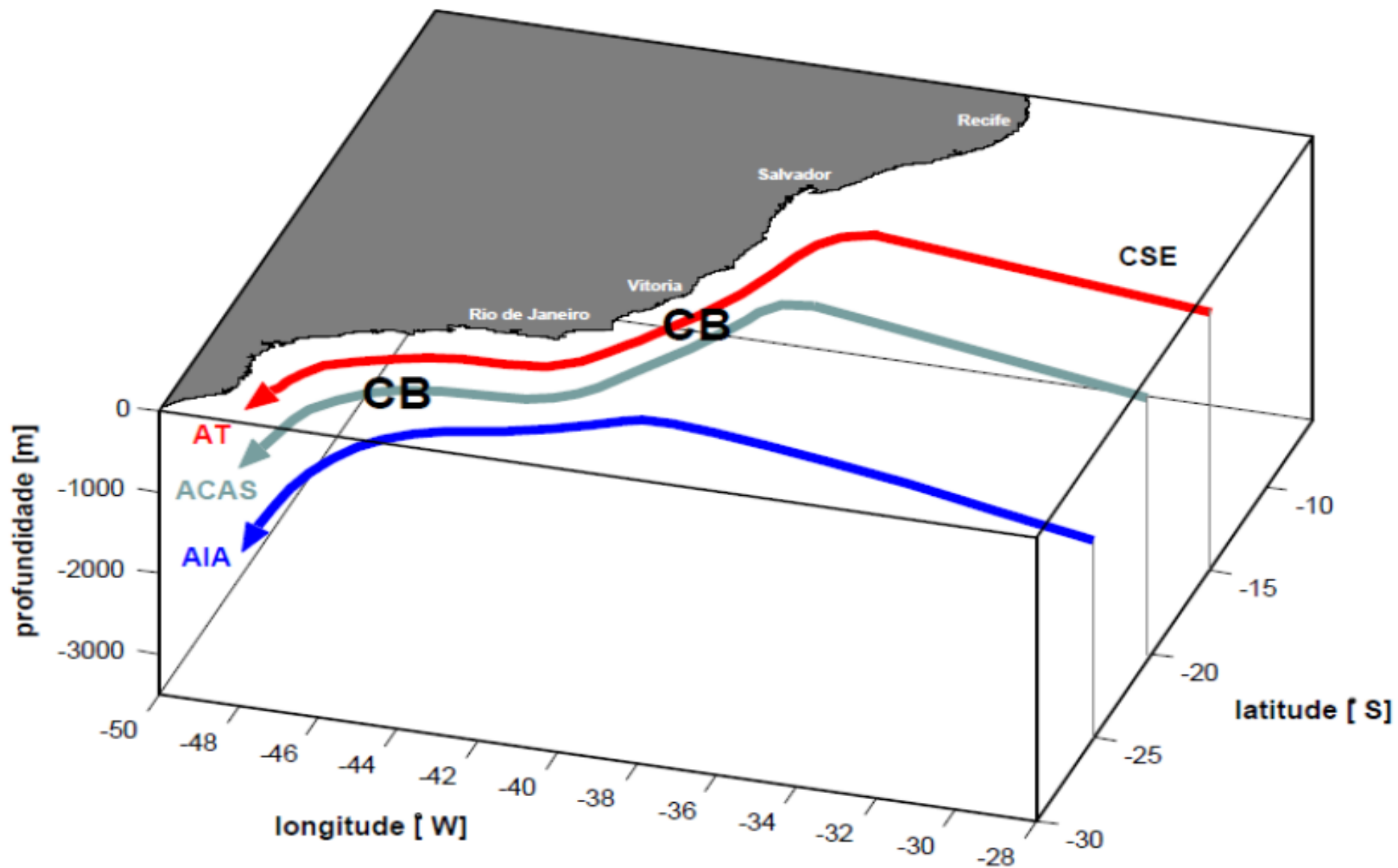


Figura 9 – Síntese da origem e do escoamento da CB ao longo da margem continental brasileira de acordo com os padrões esquemáticos de grande escala de Stramma & England (1999). Extraído de Soutelino (2008).

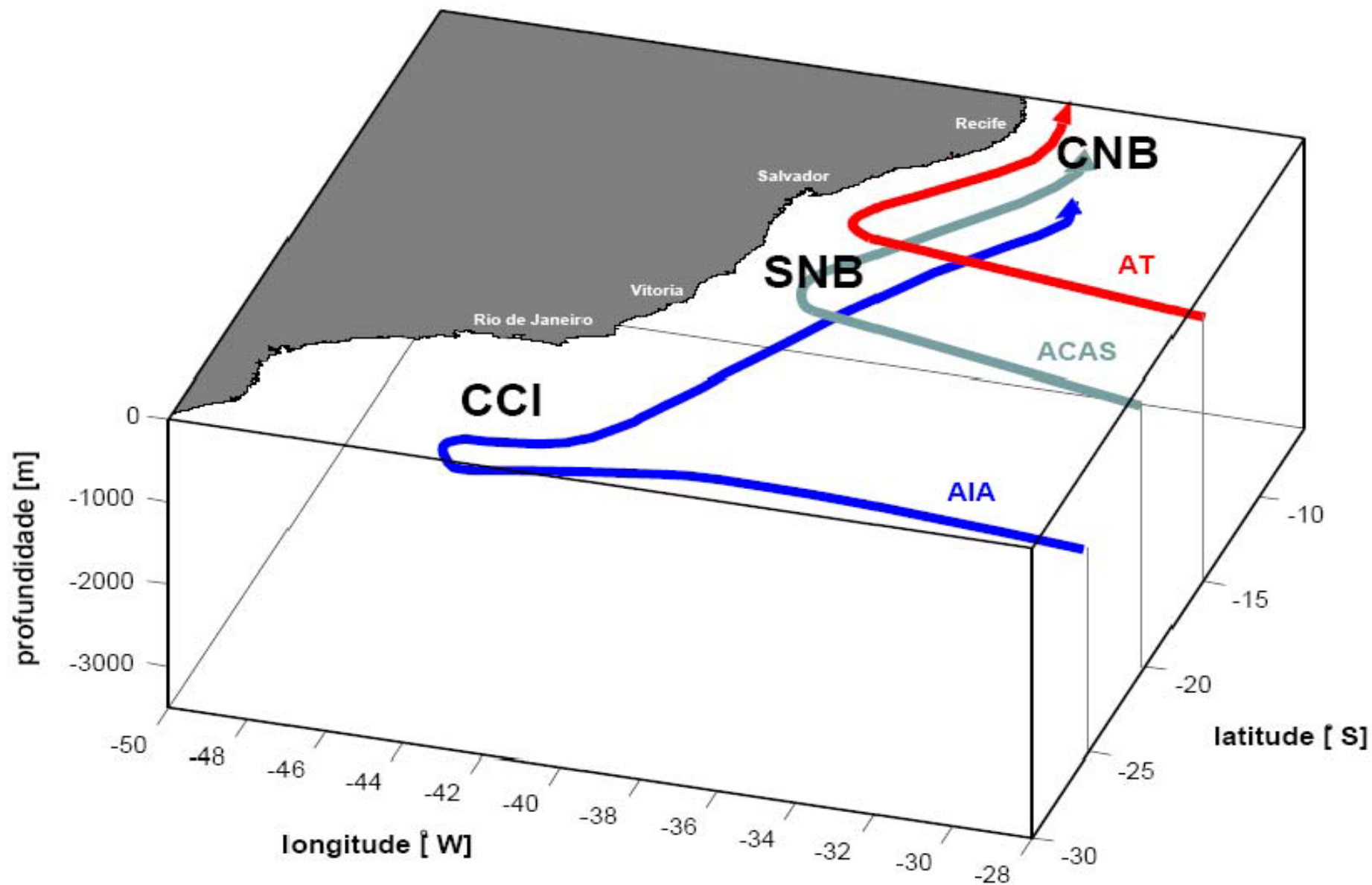


Figura 10 – Síntese da origem e do escoamento da CCI, SNB e CNB ao longo da margem continental brasileira de acordo com os padrões esquemáticos de grande escala de Stramma & England (1999). Extraído de Soutelino (2008).

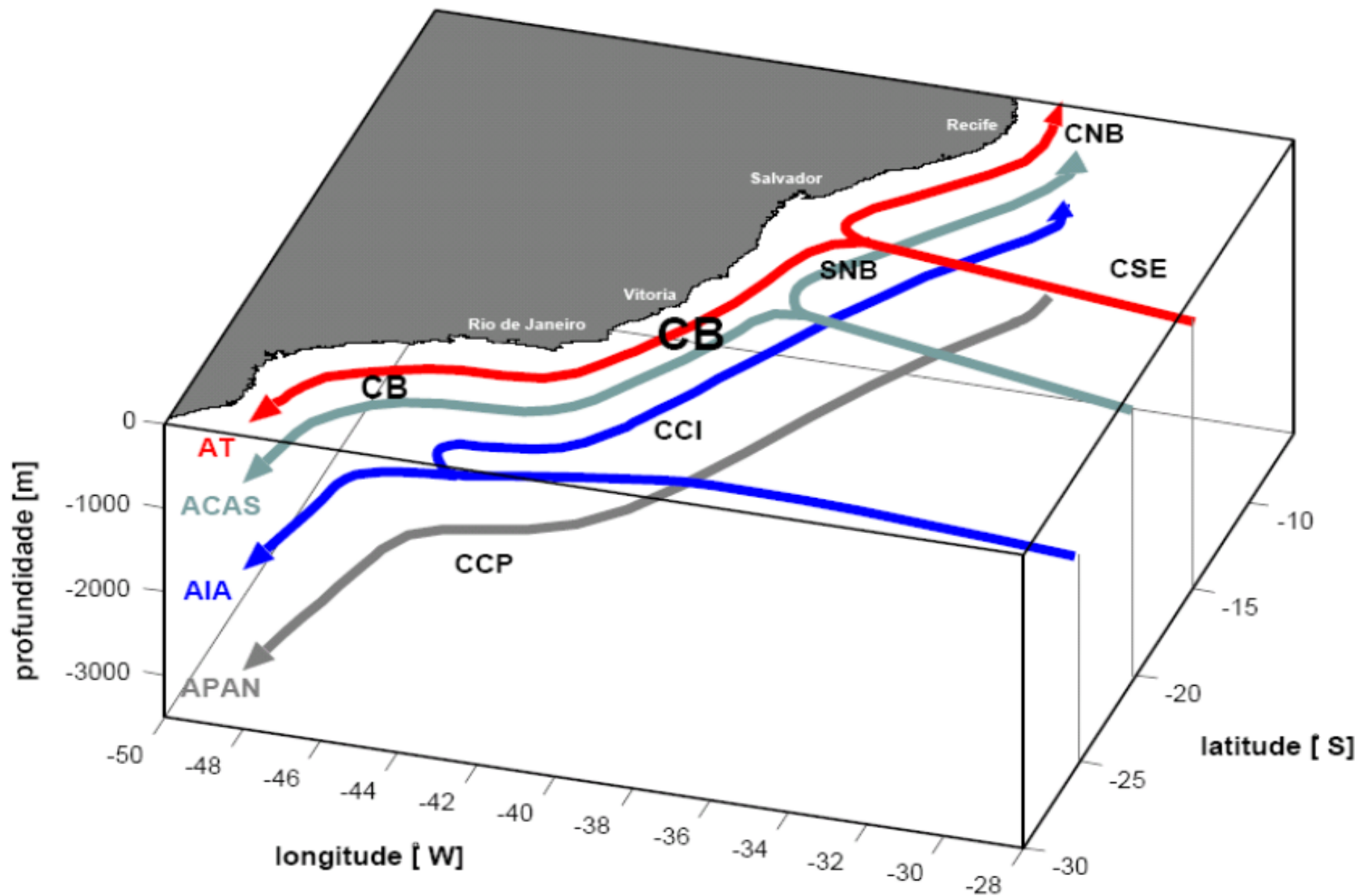


Figura 11 – Síntese da origem e do escoamento do sistema de correntes de contorno oeste ao longo da margem continental brasileira de acordo com os padrões esquemáticos de grande escala de Stramma & England (1999). Extraído de Soutelino (2008).



Referências Bibliográficas

Talley et al (2011). *Atlantic Ocean*. In Descriptive Physical Oceanography: an introduction, pp. 245 - 301.

Talley et al (2011). *Atlantic Ocean*. In Descriptive Physical Oceanography: an introduction. In Supplementary Materials of Chapter S9, pp. 1-43.