

ICE (°F)

40

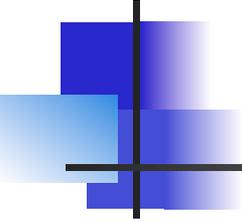
50

60

70

80

90

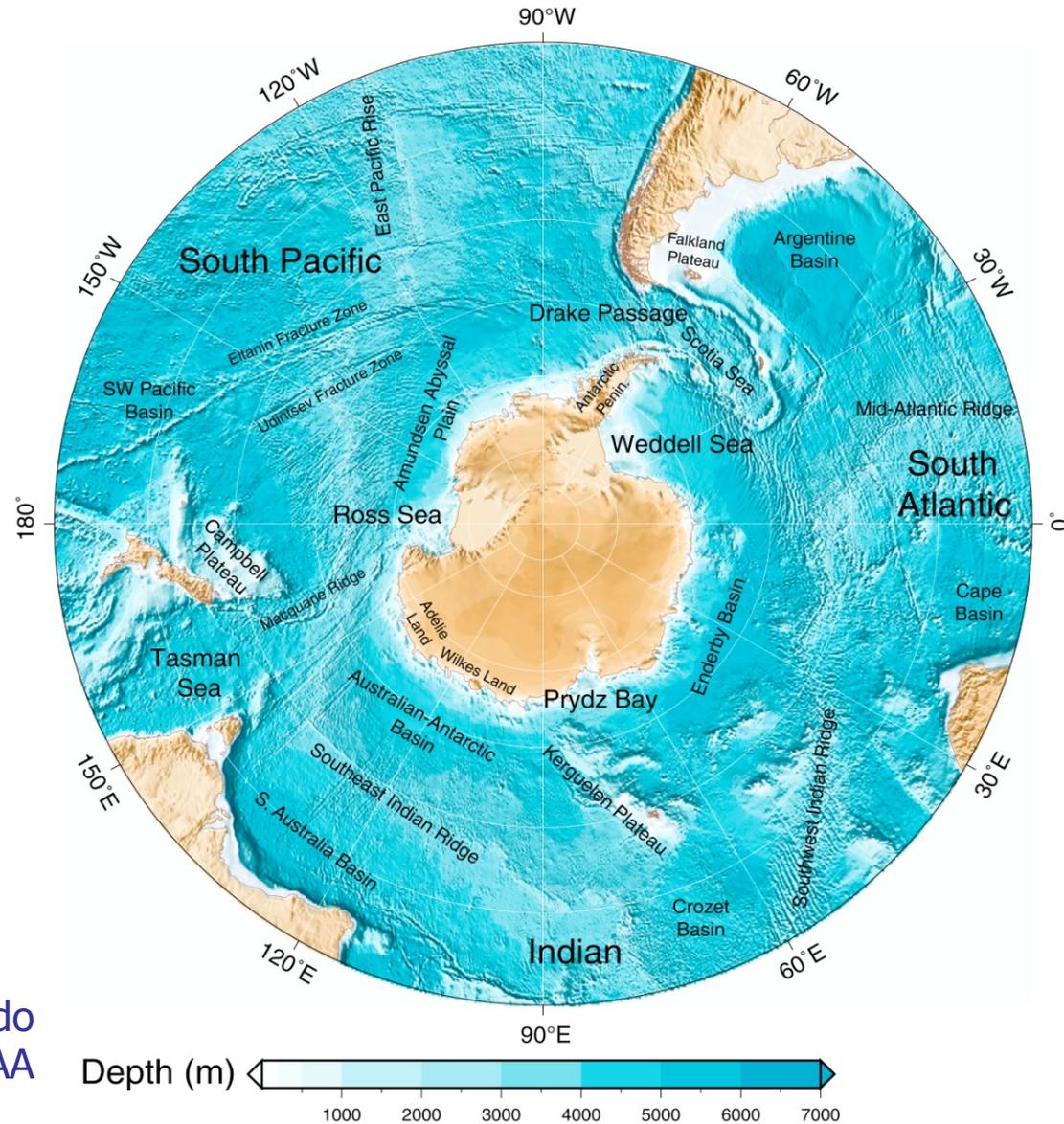


Sumário

- Introdução
- Forçantes
- Frentes e Zonas do Oceano Austral
- Oceano Austral: Circulação e transporte
- Massas de Água do Oceano Austral
- Vórtices no Oceano Austral

Introdução

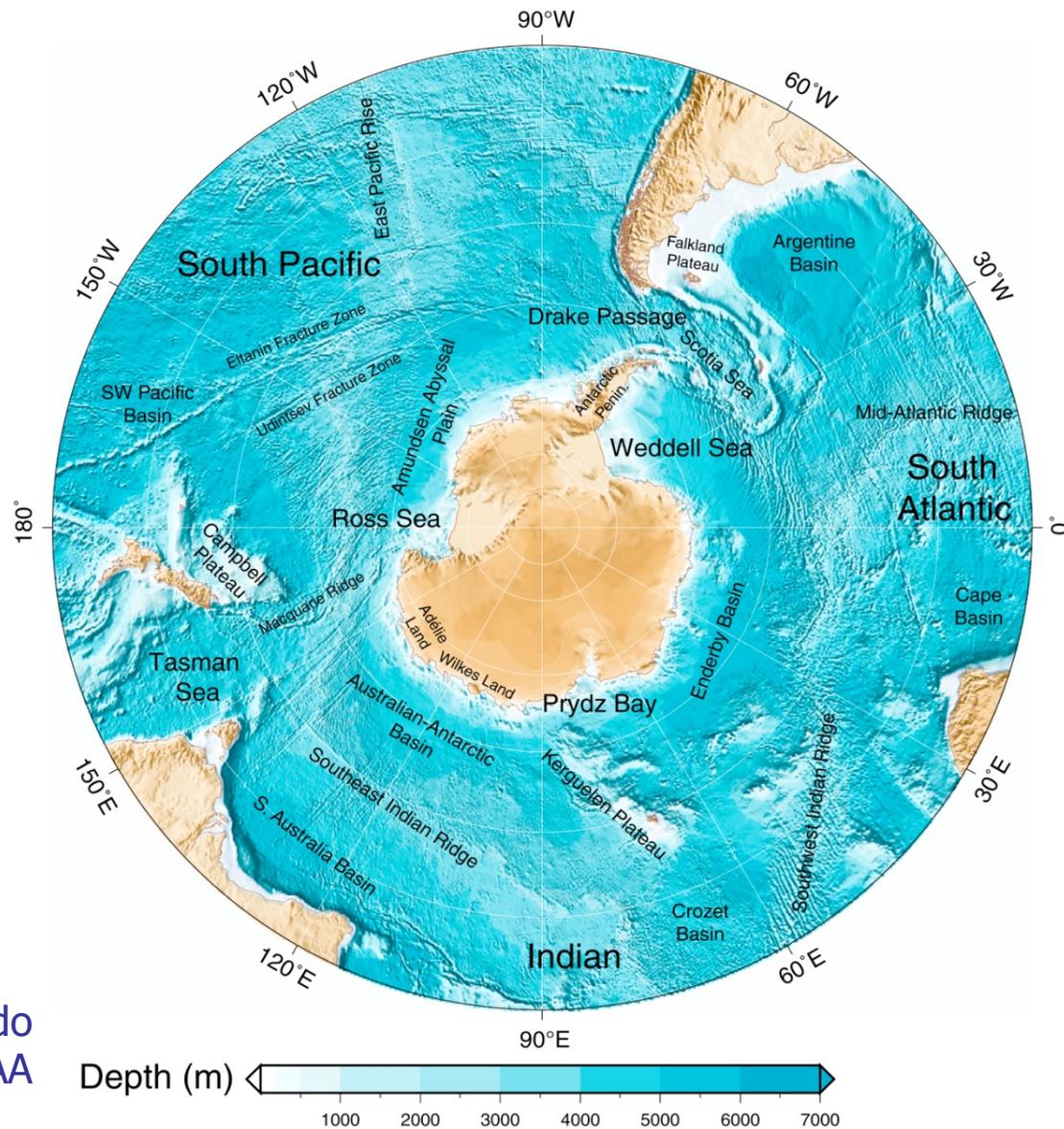
- O **Oceano Austral** inclui a ampla região oceânica que circunda a Antártica
- Não é geograficamente separado dos Oceanos Atlântico, Pacífico e Índico



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

Introdução

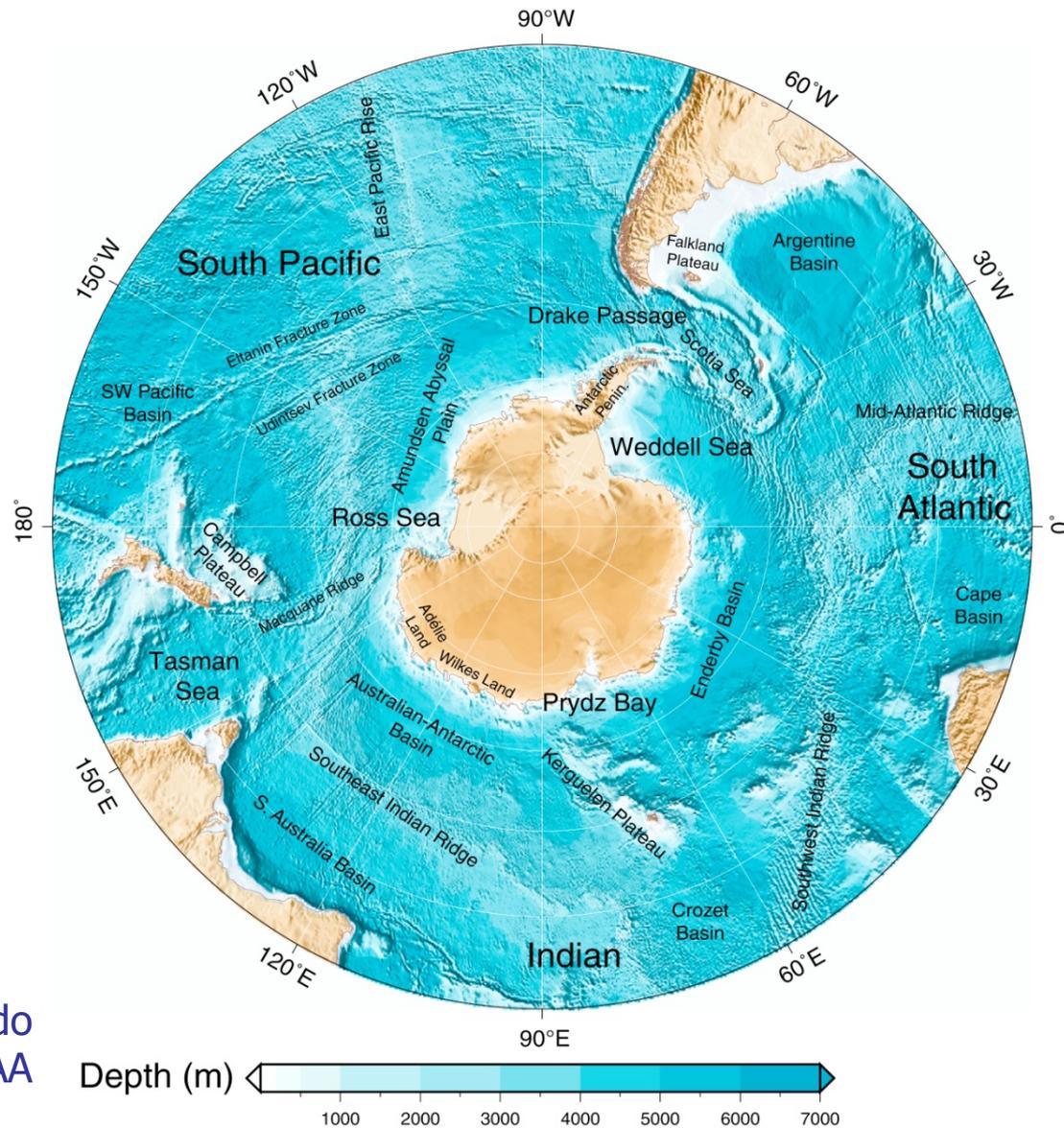
- O conceito de um oceano distinto é importante, pois a faixa de latitudes que inclui a **Passagem de Drake** não apresenta limites de terra no sentido norte-sul
- Desta forma, a **Corrente Circumpolar Antártica (ACC)** flui continuamente para leste ao longo de toda a região da Antártica



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

Introdução

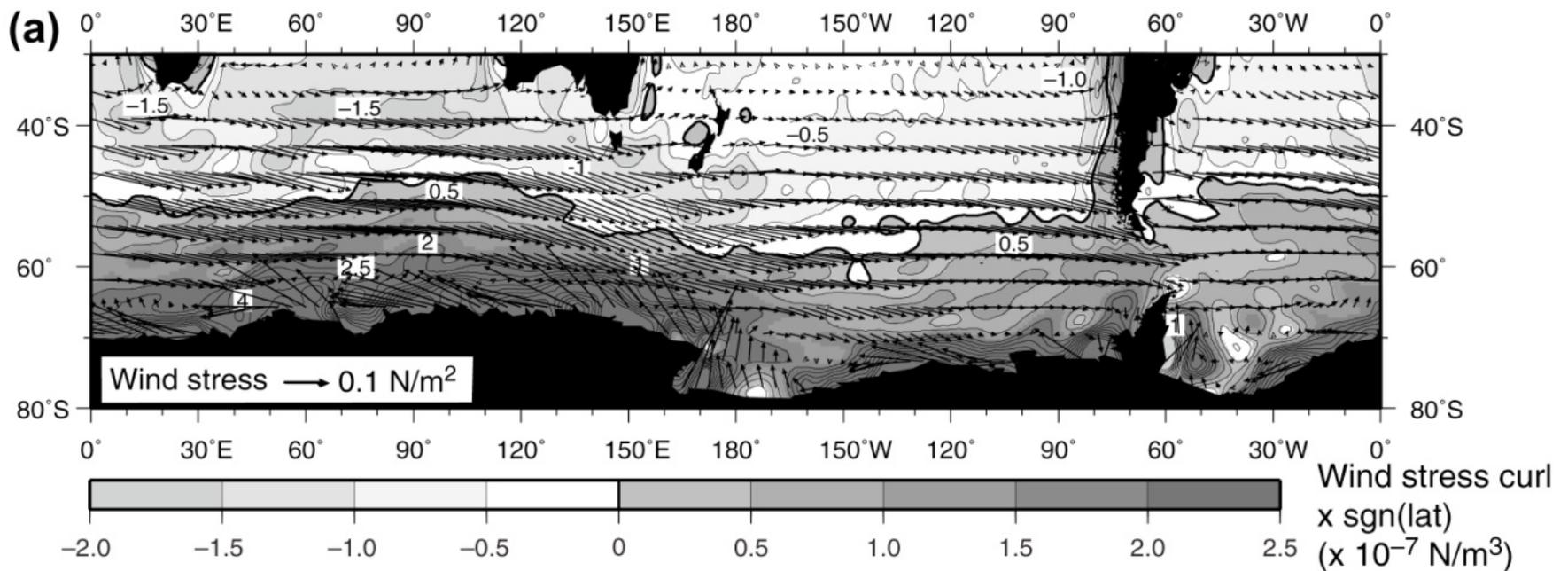
- A maior restrição ao norte da região Antártica é a Passagem de Drake
- ❖ Restrições mais amplas incluem a região ao sul da África e da Austrália
- Como a ACC não apenas conecta os 3 oceanos, mas também é uma corrente profunda, ela é considerada como um mecanismo importante para a conexão entre os oceanos



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

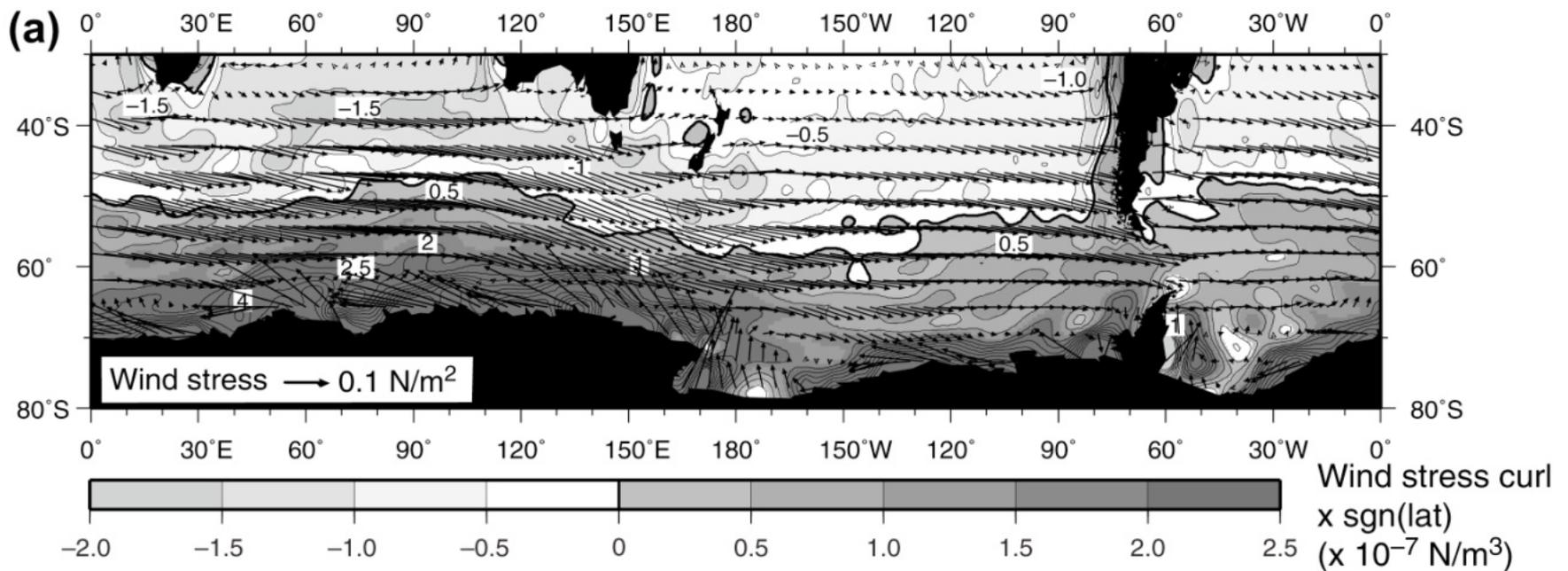
Forçantes

- Os ventos de **Oeste** dominam a faixa de latitude entre 40-60°S, enquanto que os ventos de **Leste** dominam a região próxima à Antártica (ao sul de 60°S)



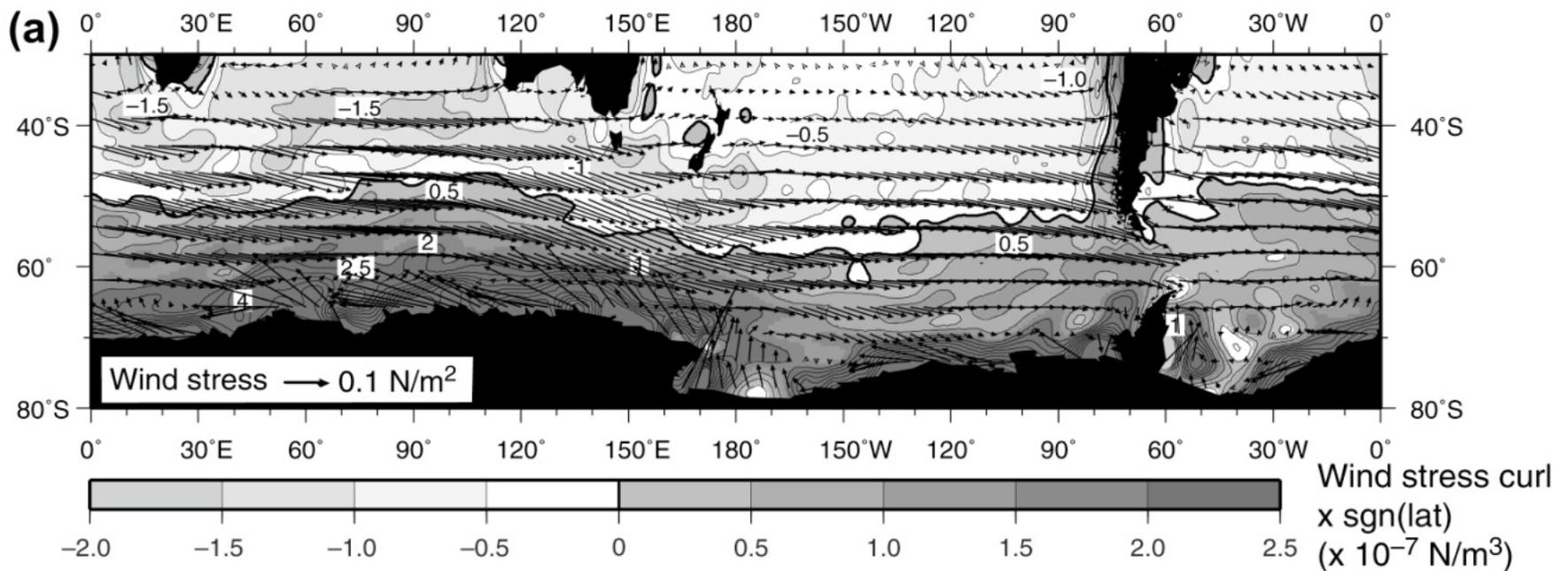
(a) Tensão média do vento (N/m^2) (vetores) e rotacional do vento ($\times 10^{-7} \text{ N/m}^3$) (cores). No caso do rotacional do vento, os valores estão multiplicados por -1 no Hemisfério Sul, sendo que valores positivos indicam ressurgência de Ekman. Fonte: Reanálise do NCEP. Extraído de Talley et al. (2011).

- Os ventos de Oeste estão associados à transporte de Ekman para norte na região da ACC
- Este transporte líquido de Ekman é significativo (30 Sv) e precisa ser alimentado por águas associadas a ressurgência
- O rotacional do vento está associado tanto a ressurgência como subsidência
- ❖ A região de mudança está associada ao máximo de ventos de Oeste (50°S)



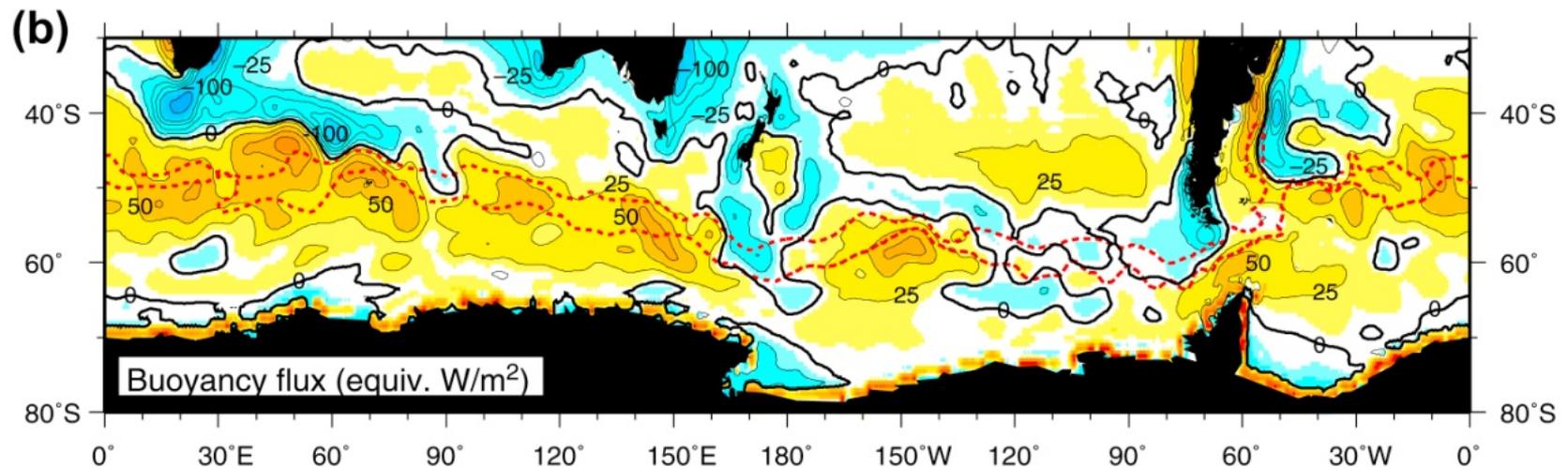
(a) Tensão média do vento (N/m^2) (vetores) e rotacional do vento ($\times 10^{-7} \text{ N/m}^3$) (cores). No caso do rotacional do vento, os valores estão multiplicados por -1 no Hemisfério Sul, sendo que valores positivos indicam ressurgência de Ekman. Fonte: Reanálise do NCEP. Extraído de Talley et al. (2011).

- ❖ Regiões de ressurgência acontecem ao sul desta latitude, sendo mais intensas próximo ao continente
- ❖ Regiões de subsidência acontecem ao norte desta latitude, sendo mais intensas no leste do OA e no OI
- Próximo do continente Antártico, os ventos de leste são favoráveis à subsidência, a picnoclina se aprofunda e existe um fluxo geostrófico para oeste

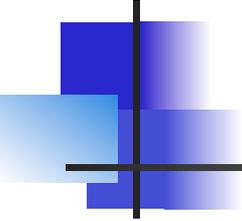


(a) Tensão média do vento (N/m^2) (vetores) e rotacional do vento ($\times 10^{-7} \text{ N/m}^3$) (cores). No caso do rotacional do vento, os valores estão multiplicados por -1 no Hemisfério Sul, sendo que valores positivos indicam ressurgência de Ekman. Fonte: Reanálise do NCEP. Extraído de Talley et al. (2011).

- Os fluxos de fluabilidade ao sul de 45°S são positivos, indicando que o oceano está ficando menos denso. A razão para uma região tão fria estar ganhando calor da atmosfera está associada a ressurgência, onde o ar marinho ligeiramente mais quente equilibra o sistema
- Regiões de perda de fluabilidade estão associadas às Correntes de Contorno Oeste (Corrente das Agulhas, Brasil e Leste Australiana)
- Regiões de perda de fluabilidade também ocorrem ao longo das regiões costeiras em que ocorrem polínias, mas estas áreas não estão representadas nesta figura, por serem muito específicas



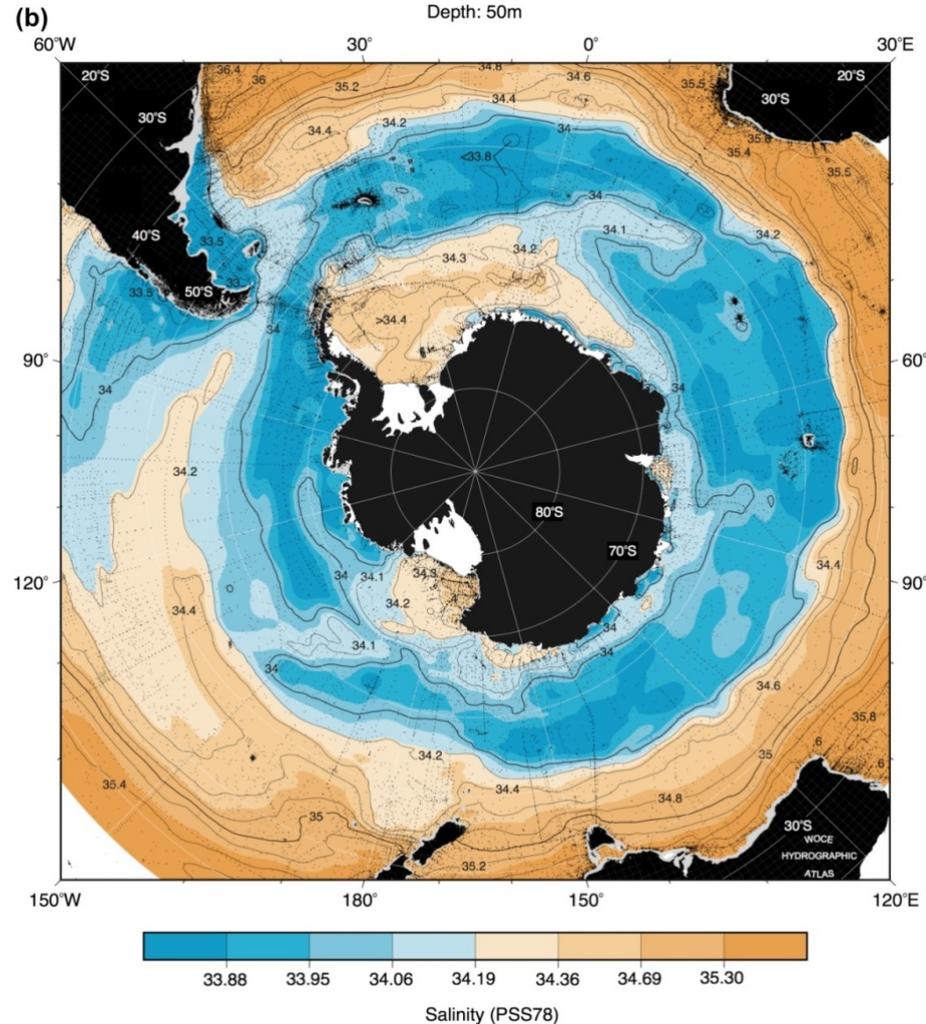
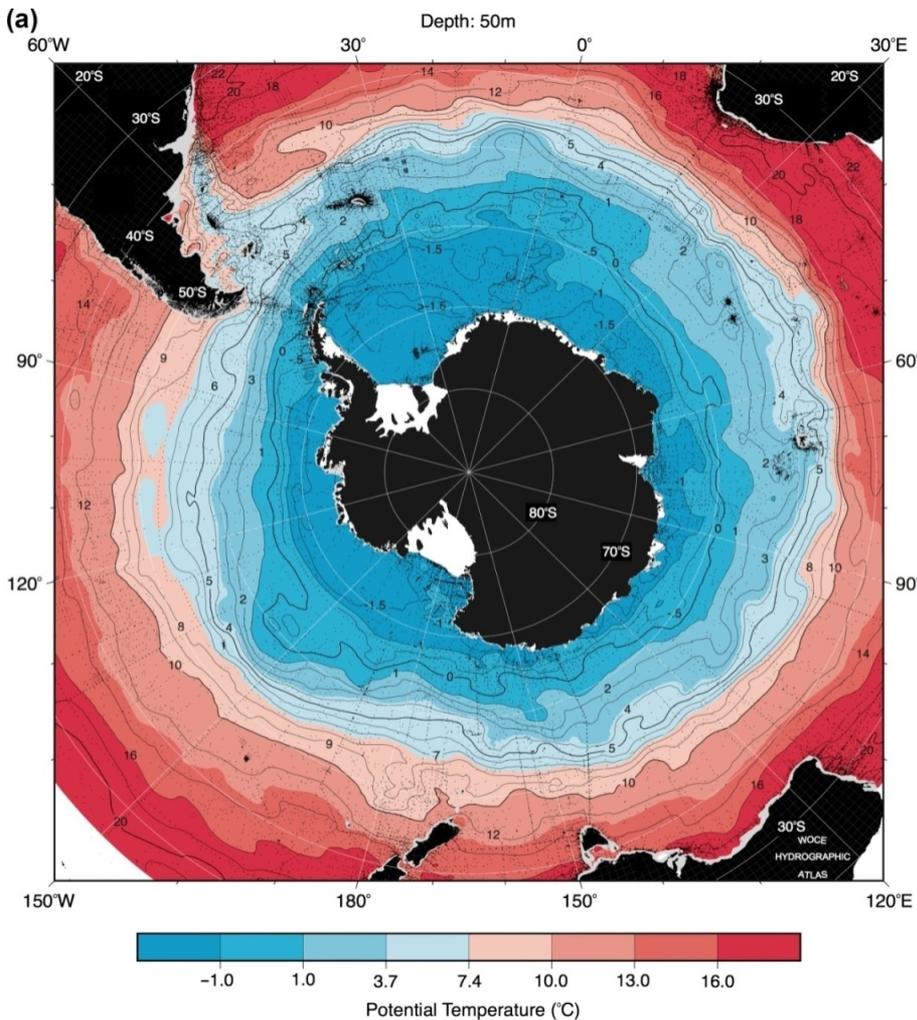
(b) Média anual dos fluxos de fluabilidade na interface ar-mar, convertidos para o equivalente em fluxo de calor (W/m^2). Fonte: Large & Yeager (2009). Valores positivos indicam que o oceano está ficando menos denso. O intervalo dos contornos é 25 W/m^2 . As linhas tracejadas indicam a posição das Frentes Subantártica e Polar. Extraído de Talley et al. (2011).



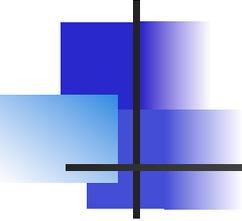
Frentes e Zonas do Oceano Austral

- Devido ao fato de existir uma passagem zonal aberta e do padrão praticamente zonal da ACC, a distribuição das isolinhas de todas as propriedades no Oceano Austral é praticamente zonal
- Ao sul da ACC, as propriedades e a circulação são organizados por giros ciclônicos nos Mares de Weddell e Ross
- Ao longo da ACC, as propriedades se organizam ao longo de **três frentes** principais que separam **quatro zonas** mais amplas
 - Nas frentes, as correntes são intensas e para leste
 - Nas zonas entre as frentes, o fluxo é dominado por vórtices e pode ser em qualquer direção

Frentes e Zonas do Oceano Austral



Distribuição das propriedades a 50 m. (a) Temperatura potencial e (b) Salinidade. Fonte: Atlas do WOCE do Oceano Austral. Extraído de Talley et al. (2011).



Frentes e Zonas do Oceano Austral

- As frentes que circundam a Antártica como parte da ACC incluem:
 - Frente Subantártica (SAF)
 - Frente Polar (PF)
 - Frente Sul da Corrente Circumpolar Antártica (SACCF)
- Ao sul desta região, podemos definir ainda:
 - Fronteira Sul (SB), que representa o limite sul da camada de baixo oxigênio associada a Água Circumpolar Profunda Superior (UCDW)
 - Frente do Talude Antártico (ASF), encontrada ao longo do talude continental, associada ao fluxo para oeste e separando as águas muito densas da plataforma das águas do oceano aberto

- As zonas são divididas em:

- Zona Subantártica (SAZ): ao norte da SAF

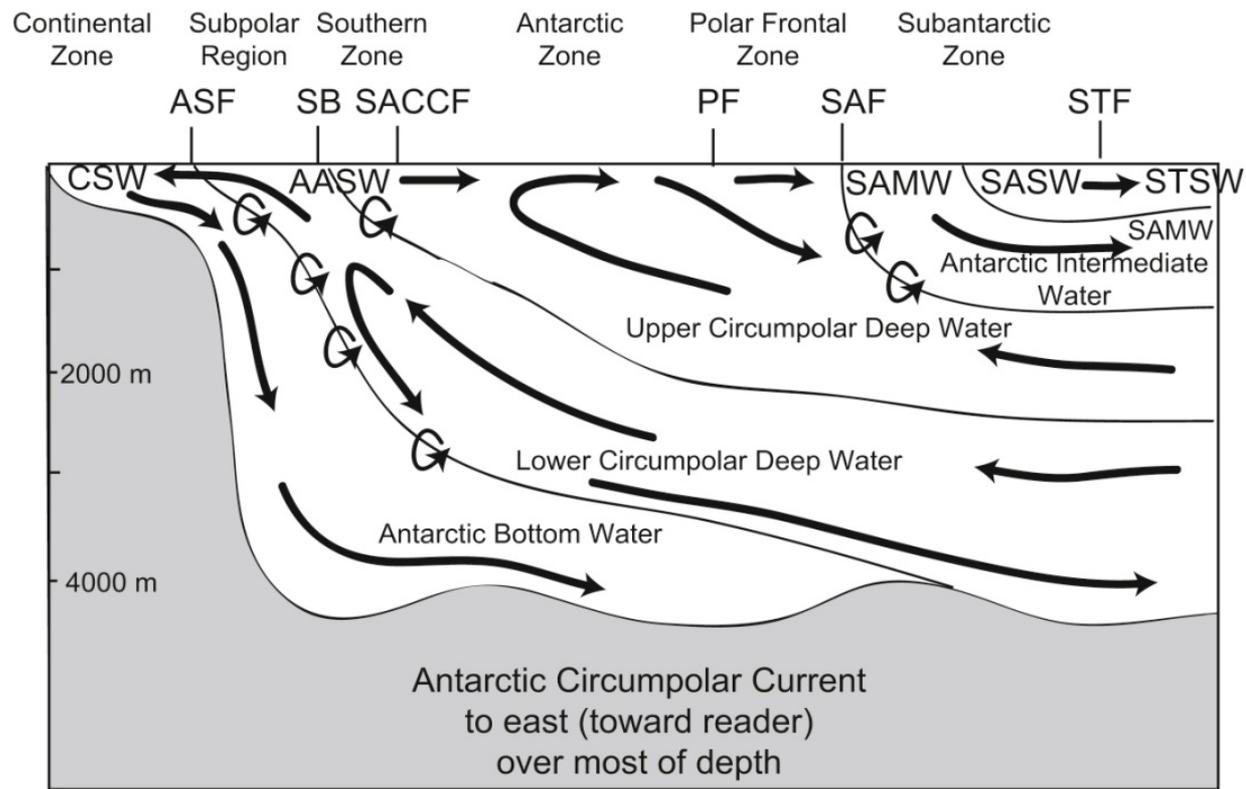
- Zona da Frente Polar (PFZ): entre a SAF e a PF

- Zona Antártica (AZ): entre a PF e SACCF

- Zona Sul (SZ): entre a SACCF e a SB

- Zona Subpolar (SPZ): ao sul da SB, incluindo os giros ciclônicos dos Mares de Weddell e Ross

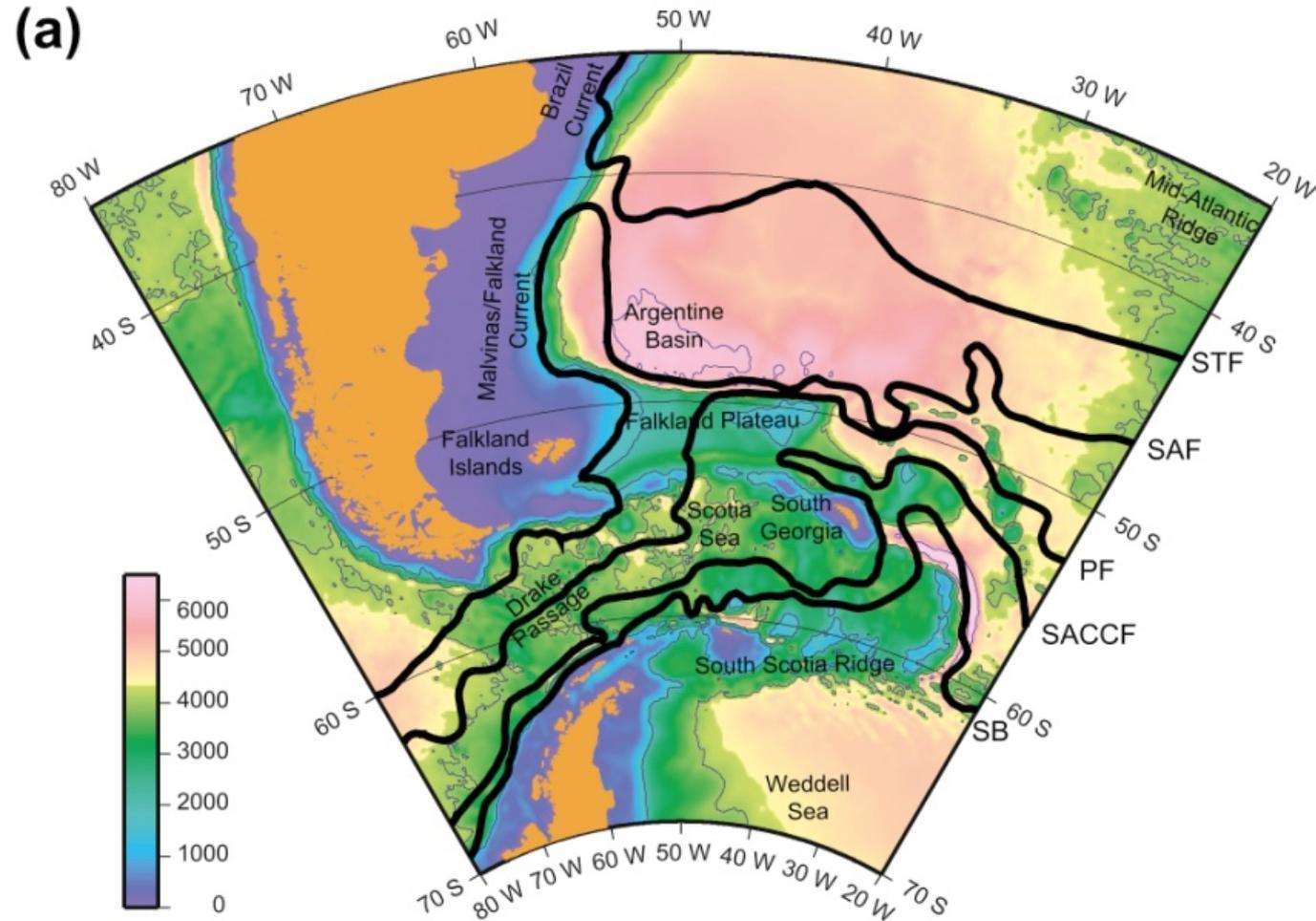
- Zona Continental: na plataforma continental ao sul da ASF



Esquema de uma seção meridional no Oceano Austral mostrando as massas de água, a circulação meridional, as frentes e a maioria das frentes. Siglas: Continental Shelf Water (CSW), Antarctic Surface Water (AASW), Subantarctic Mode Water (SAMW), Subantarctic Surface Water (SASW), Subtropical Surface Water (STSW), Antarctic Slope Front (ASF), Southern Boundary (SB), Southern ACC Front (SACCF), Polar Front (PF), Subantarctic Front (SAF) e Subtropical Front (STF). Extraído de Talley et al. (2011).

Frentes e Zonas do Oceano Austral

- Existem regiões onde as frentes (como a SAF) seguem os contornos batimétricos

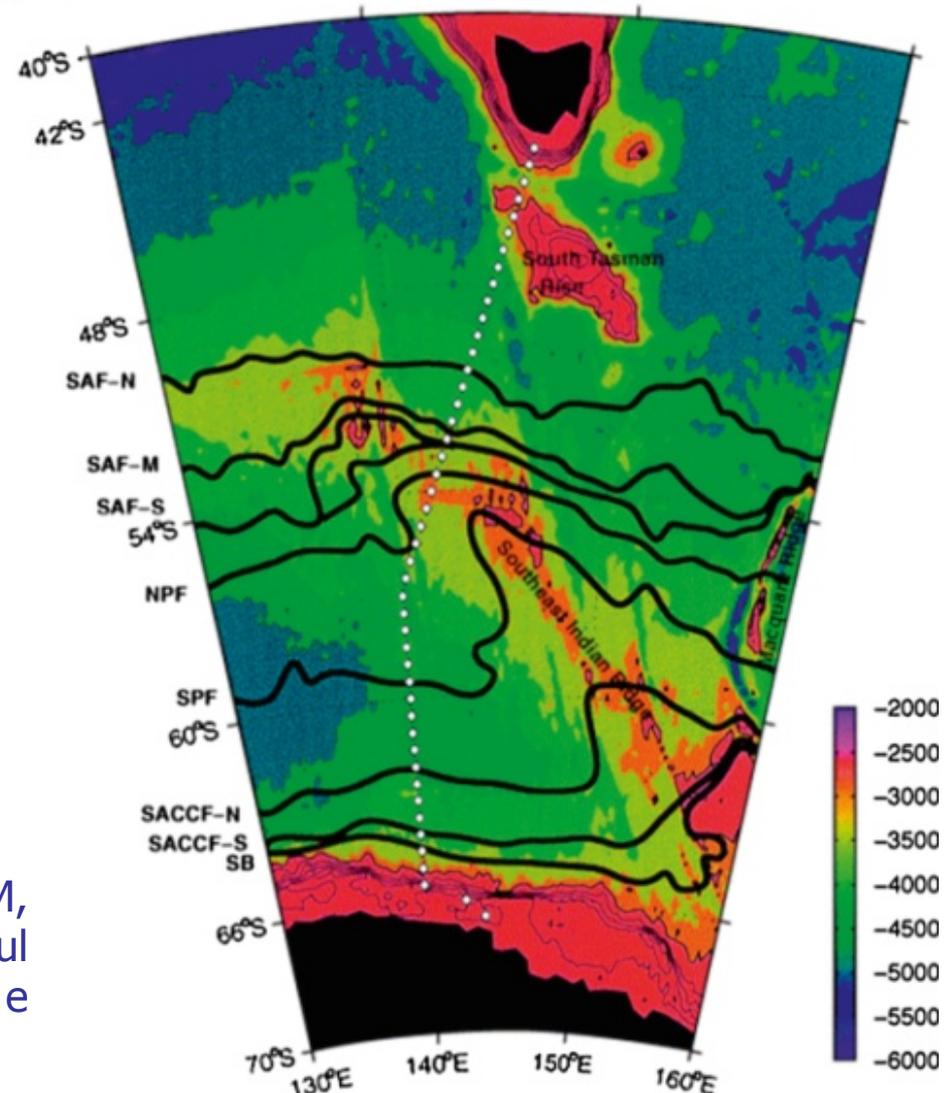


(a) Frentes na Passagem de Drake e no sudoeste do Oceano Atlântico. Fonte: Orsi et al. (2005). Extraído de Talley et al. (2011).

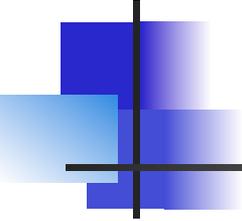
Frentes e Zonas do Oceano Austral

- Em outras regiões, uma mesma frente pode se dividir em vários ramos

(b)



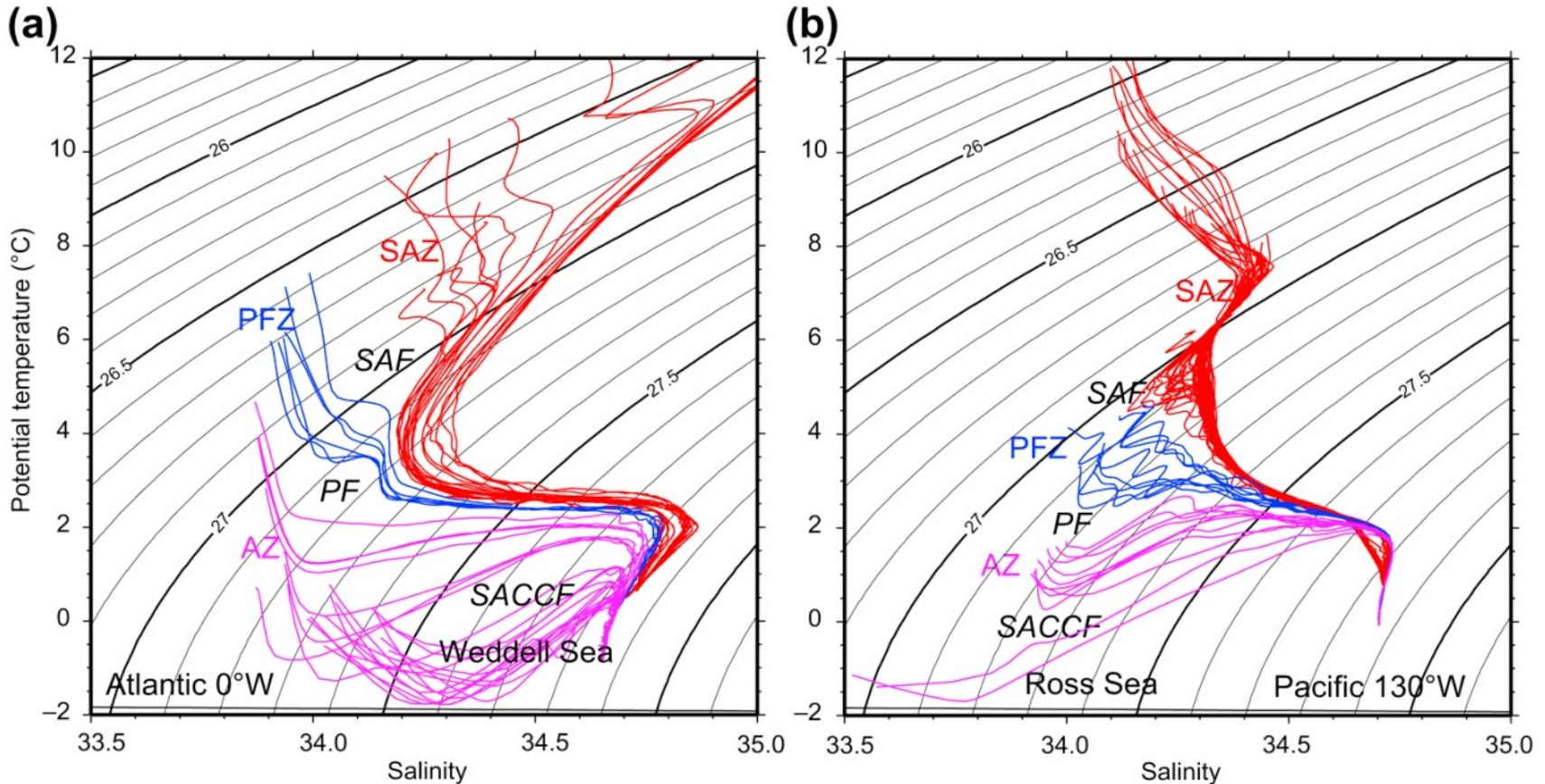
(b) Frentes no sul da Austrália (Tasmânia). N, M, S referem-se aos ramos norte, intermediário e sul de uma determinada frente. Fonte: Sokolov e Rintoul (2002). Extraído de Talley et al. (2011).



Frentes e Zonas do Oceano Austral

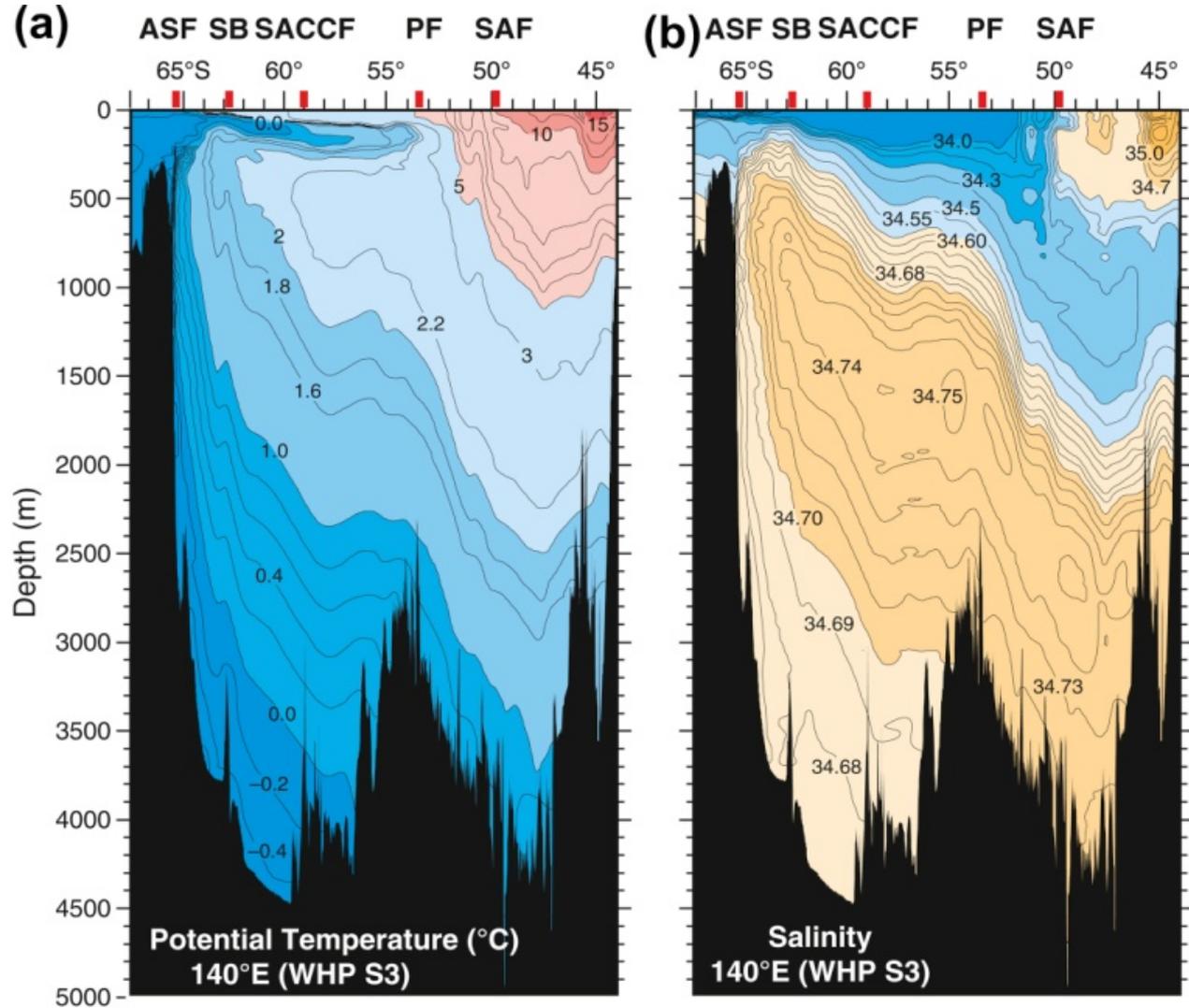
- As frentes da ACC são mais acentuadas na camada superficial ou imediatamente abaixo desta camada
 - Estas frentes estão associadas na coluna d'água à isopicnais bastante inclinadas
 - As frentes também estão associadas à regiões de transição entre as propriedades das massas de água
- Sendo assim, a identificação das frentes é feita através de marcadores, que incluem:
 - A existência de uma propriedade particular da água, como a temperatura, um gradiente de temperatura, salinidade, oxigênio em uma determinada profundidade
 - A transição entre regimes de propriedade da água típicos das zonas entre as frentes

Frentes e Zonas do Oceano Austral



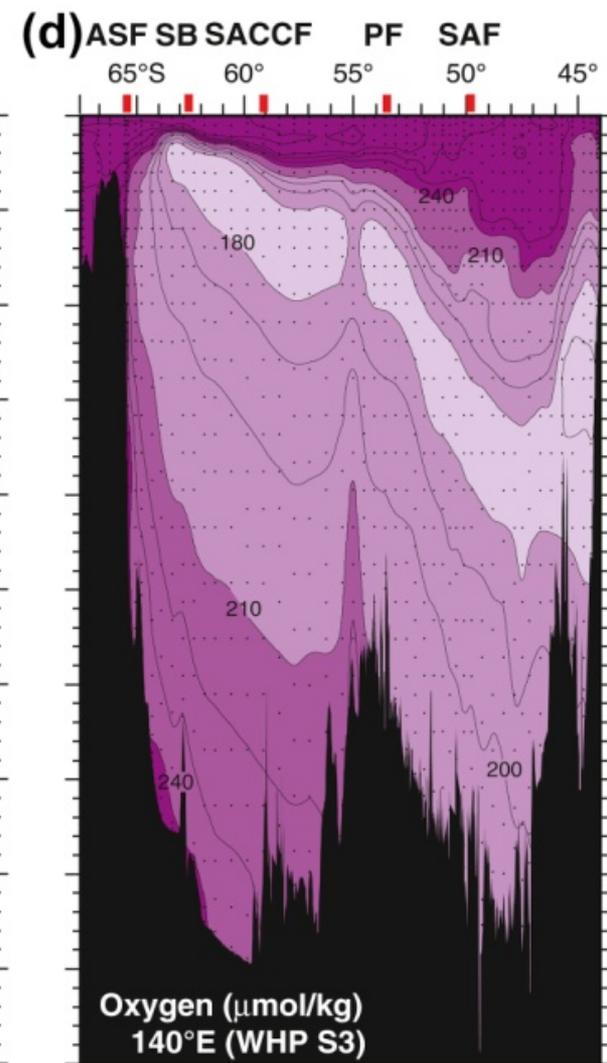
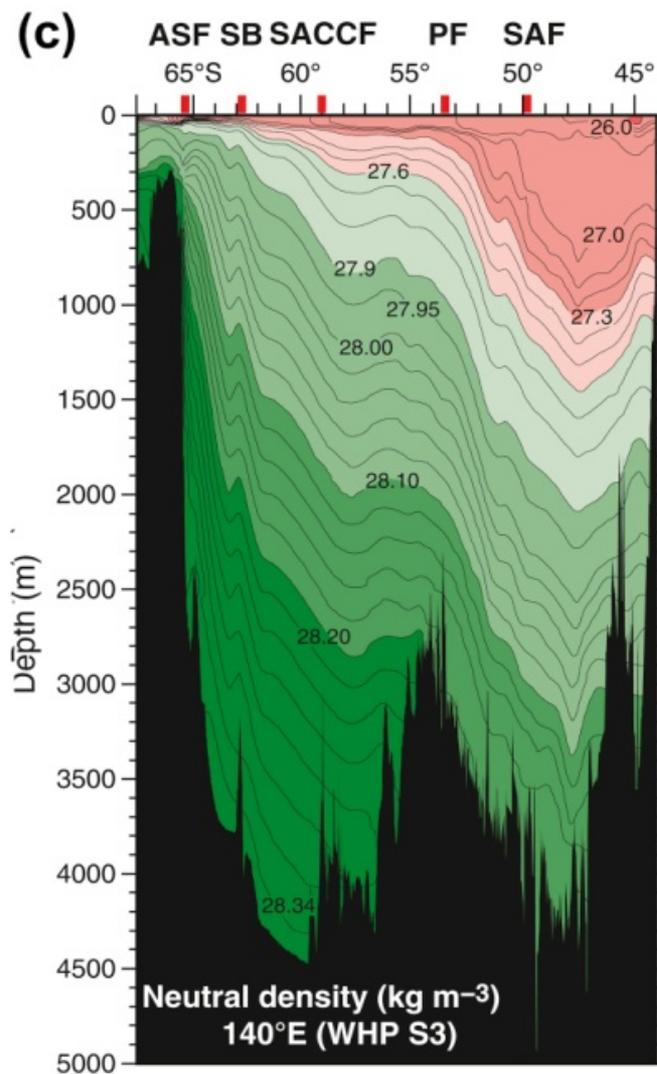
Relação temperatura potencial-salinidade para (a) O Oceano Atlântico (meridiano de Greenwich) e (b) Oceano Pacífico (130°W), incluindo as frentes e zonas da ACC. A linha próxima do fundo representa o ponto de congelamento. Siglas: SAZ (Subantarctic Zone), SAF (Subantarctic Front), PFZ (Polar Frontal Zone), PF (Polar Front), AZ (Antarctic Zone), SACCF (Southern ACC Front). Extraído de Talley et al. (2011).

- A SAF pode ser identificada através:
 - Da inclinação das isopicnais (indicando um fluxo para leste)
 - Limite sul da língua de baixa salinidade associado a AAIW e SAMW



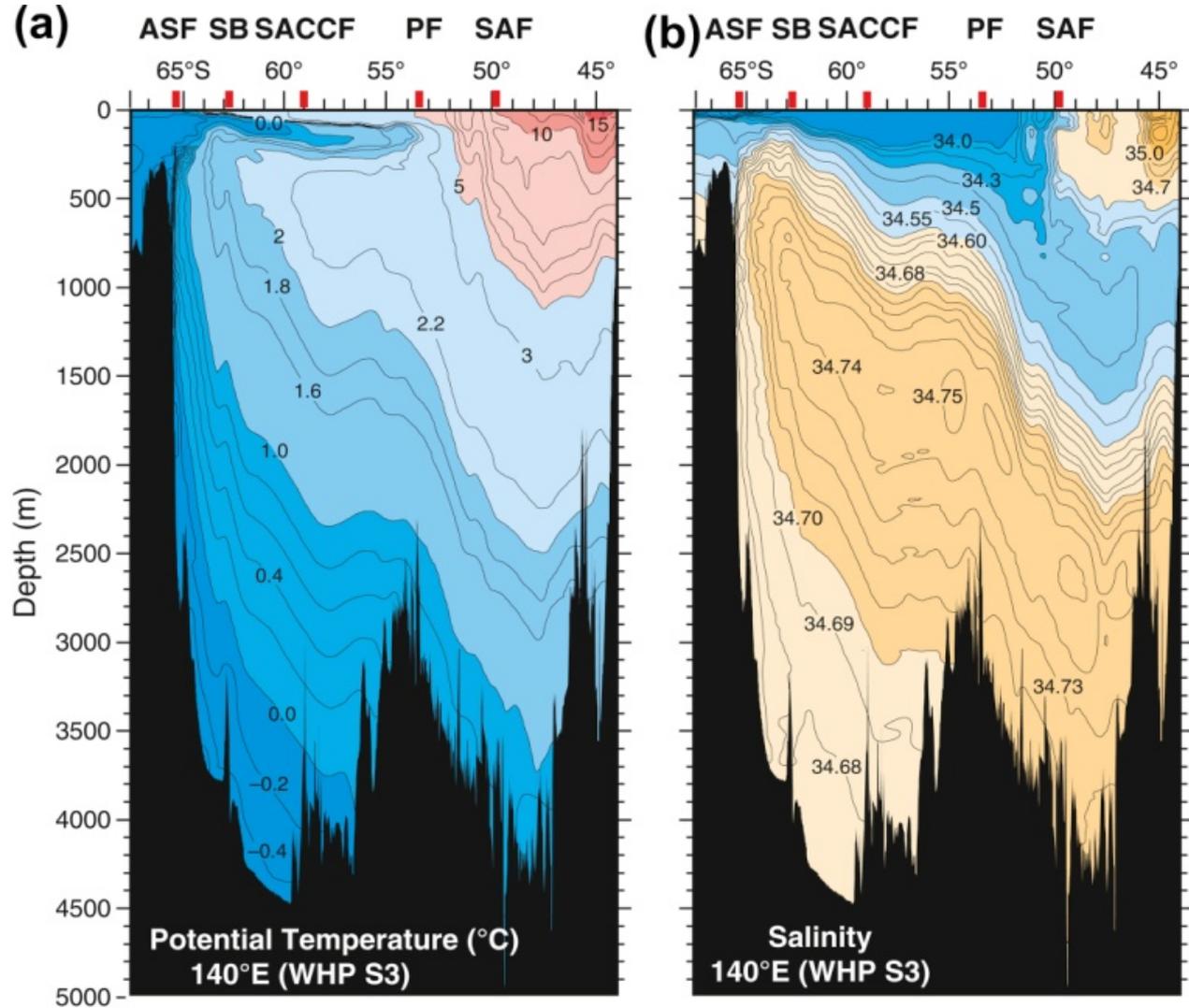
(a) Temperatura potencial e (b) salinidade ao longo de um perfil entre a Tasmânia e a Antártica. Siglas: Subantarctic Front (SAF), Polar Front (PF), Southern ACC Front (SACCF), Southern Boundary (SB) e Antarctic Slope Front (ASF). Fonte: Atlas do WOCE. Extraído de Talley et al. (2011).

- A SAF pode ser identificada através:
 - Da inclinação das isopicnais (indicando um fluxo para leste)
 - Limite sul da língua de baixa salinidade associado a AAIW e SAMW



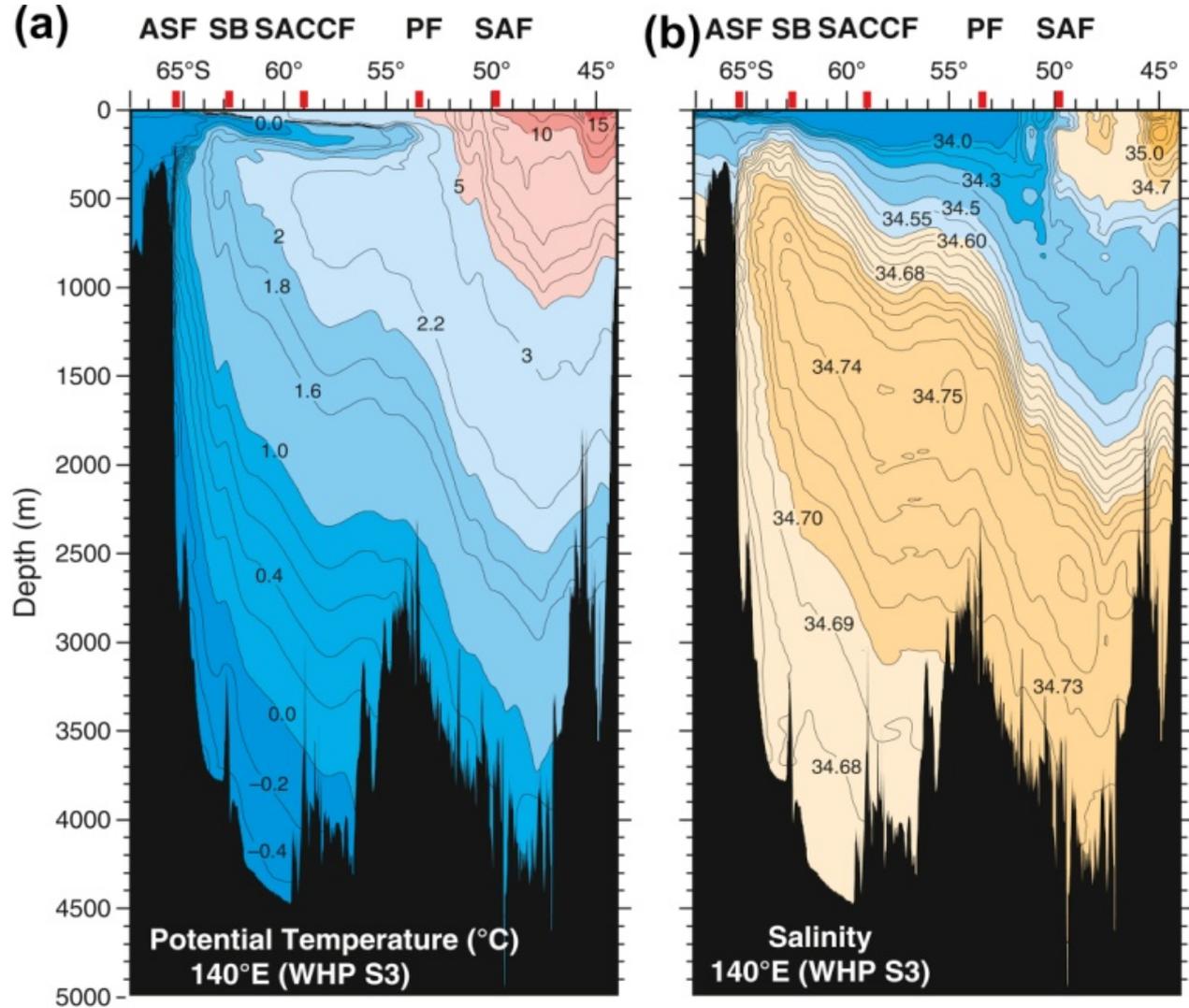
(c) Densidade neutra e (d) oxigênio ao longo de um perfil entre a Tasmânia e a Antártica. Siglas: Subantarctic Front (SAF), Polar Front (PF), Southern ACC Front (SACCF), Southern Boundary (SB) e Antarctic Slope Front (ASF).
Fonte: Atlas do WOCE. Extraído de Talley et al. (2011).

- A PF pode ser identificada através:
 - Da inclinação das isopícnais (indicando também um fluxo para leste)
 - Limite norte do mínimo de temperatura em profundidades rasas. Em muitas regiões isto é associado à localização mais ao norte da isoterma de 2°C



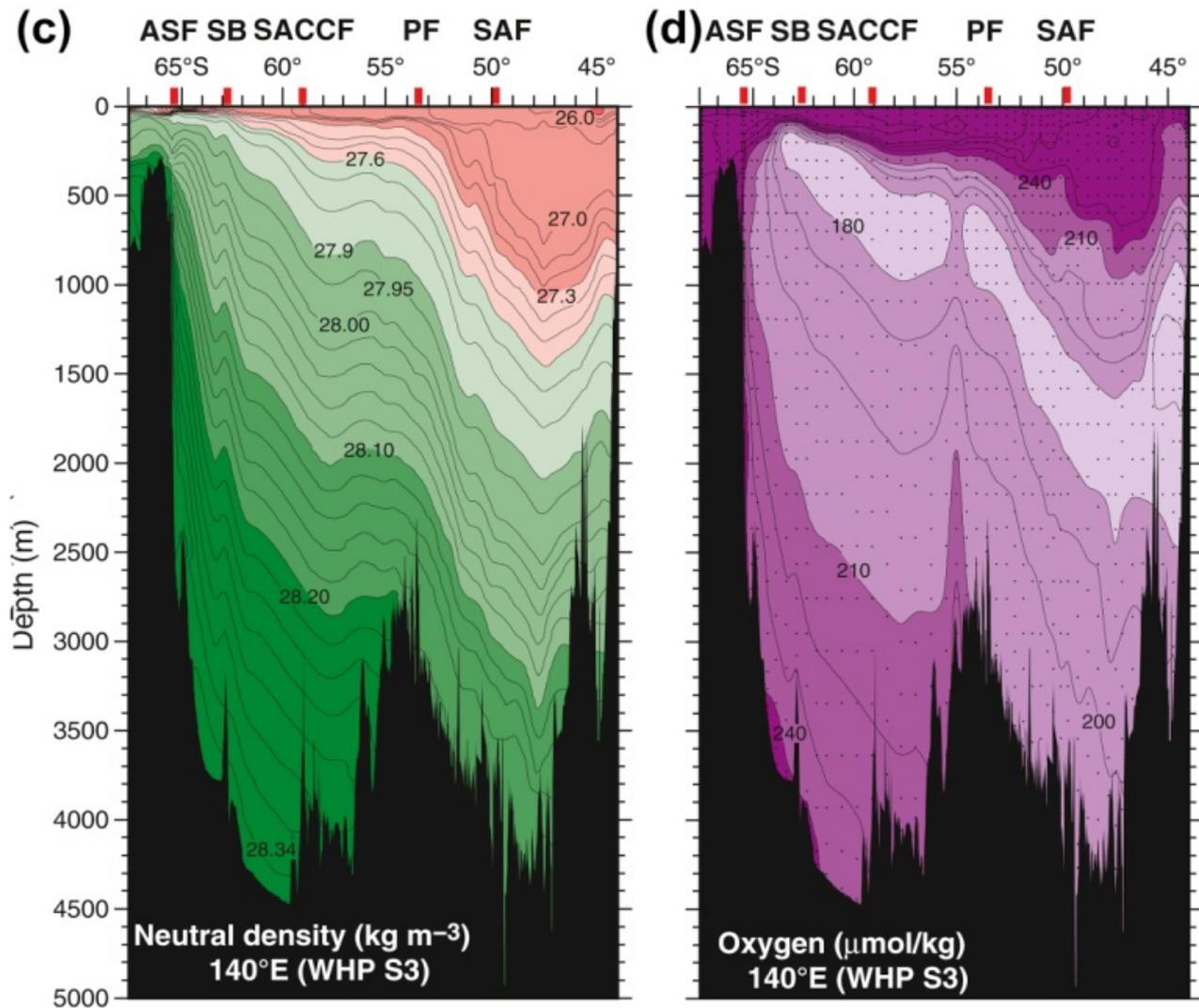
(a) Temperatura potencial e (b) salinidade ao longo de um perfil entre a Tasmânia e a Antártica. Siglas: Subantarctic Front (SAF), Polar Front (PF), Southern ACC Front (SACCF), Southern Boundary (SB) e Antarctic Slope Front (ASF). Fonte: Atlas do WOCE. Extraído de Talley et al. (2011).

- A SACCF pode ser identificada através:
 - Da inclinação das isopicnais (indicando uma corrente intensa no lado sul da ACC)
 - Temperatura abaixo de 0°C no núcleo de temperatura mínima em profundidades mais rasas do que 1500 m ou temperaturas superiores a $1,8^{\circ}\text{C}$ no núcleo de máxima temperatura em profundidades superiores a 500 m



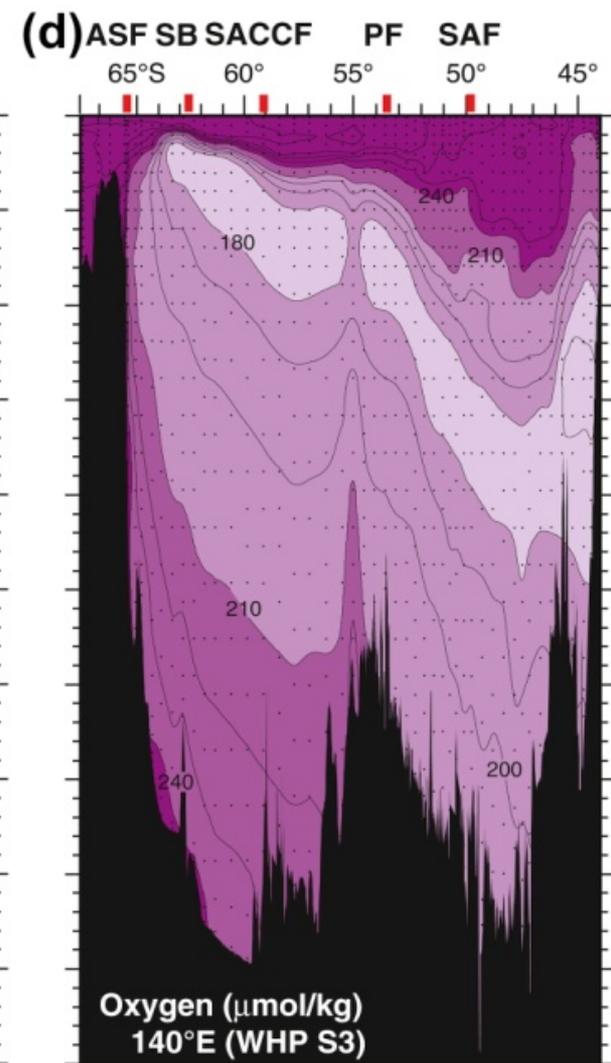
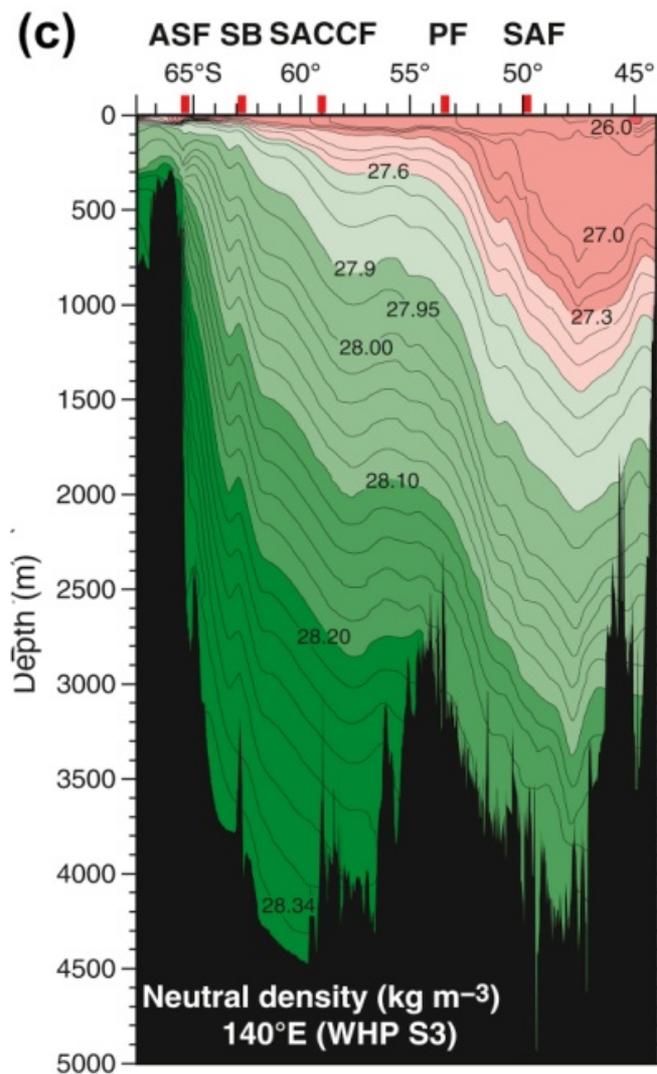
(a) Temperatura potencial e (b) salinidade ao longo de um perfil entre a Tasmânia e a Antártica. Siglas: Subantarctic Front (SAF), Polar Front (PF), Southern ACC Front (SACCF), Southern Boundary (SB) e Antarctic Slope Front (ASF). Fonte: Atlas do WOCE. Extraído de Talley et al. (2011).

- A SB pode ser identificada através:
 - Do limite sul da ACC em função das propriedades da água
 - Do limite sul do mínimo de oxigênio que caracteriza a UCDW
 - Do limite norte das águas muito frias que circundam a Antártica



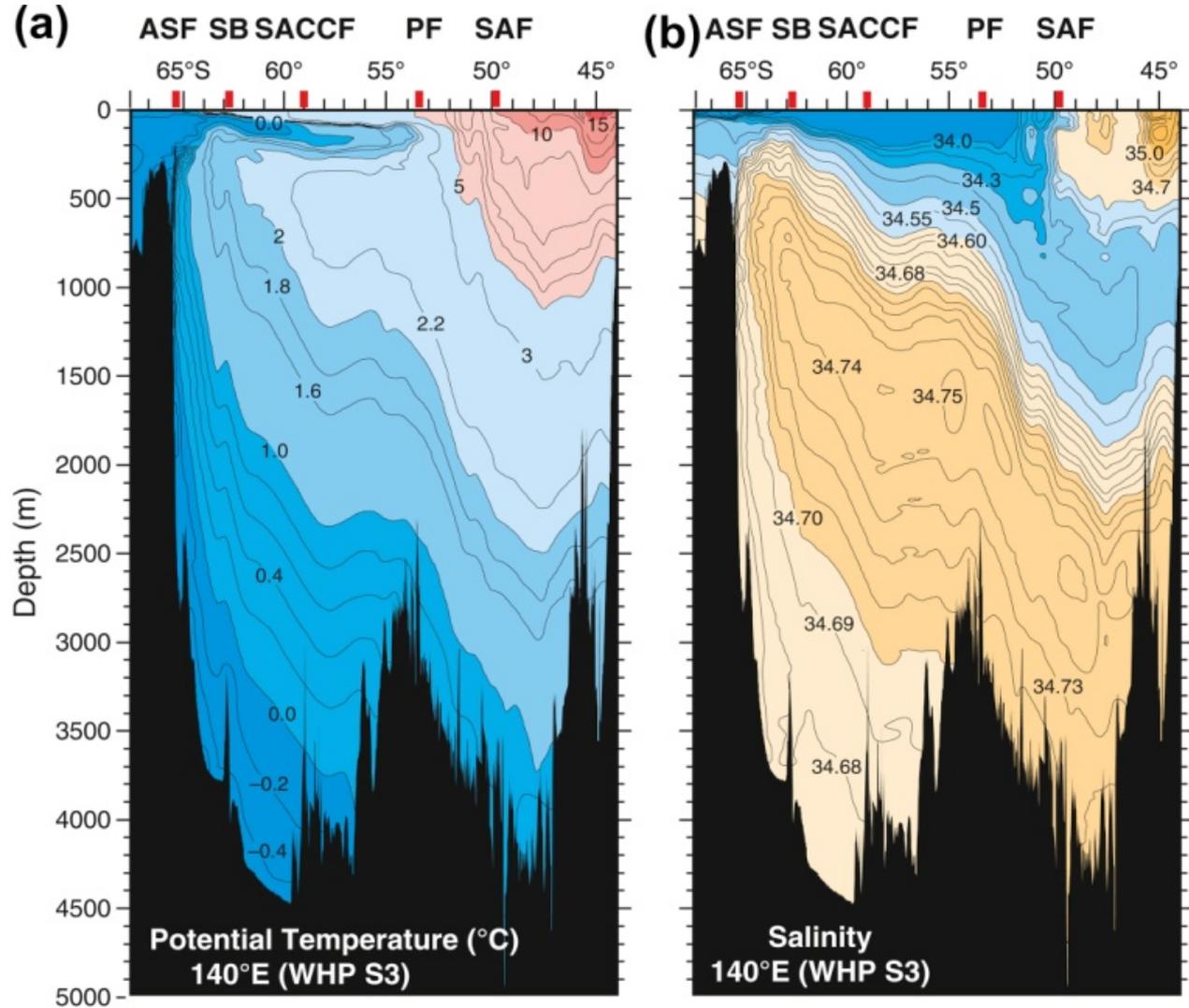
(c) Densidade neutra e (d) oxigênio ao longo de um perfil entre a Tasmânia e a Antártica. Siglas: Subantarctic Front (SAF), Polar Front (PF), Southern ACC Front (SACCF), Southern Boundary (SB) e Antarctic Slope Front (ASF). Fonte: Atlas do WOCE. Extraído de Talley et al. (2011).

- A ASF ocorre ao longo de várias regiões do talude continental, podendo ser identificada através:
 - De um fluxo para oeste
 - Da inclinação para baixo (em direção ao talude) da picnoclina, devido à subsidência de Ekman



(c) Densidade neutra e (d) oxigênio ao longo de um perfil entre a Tasmânia e a Antártica. Siglas: Subantarctic Front (SAF), Polar Front (PF), Southern ACC Front (SACCF), Southern Boundary (SB) e Antarctic Slope Front (ASF).
Fonte: Atlas do WOCE. Extraído de Talley et al. (2011).

- Com relação às zonas, a SAZ é caracterizada:
 - Pela região ao norte da SAF
 - Por um decréscimo da salinidade ao longo da coluna d'água até atingir um mínimo, seguido de um aumento da salinidade
 - A região perto da SAF é caracterizada por uma região onde as propriedades são quase uniformes (água modal)
 - O limite norte é a STF

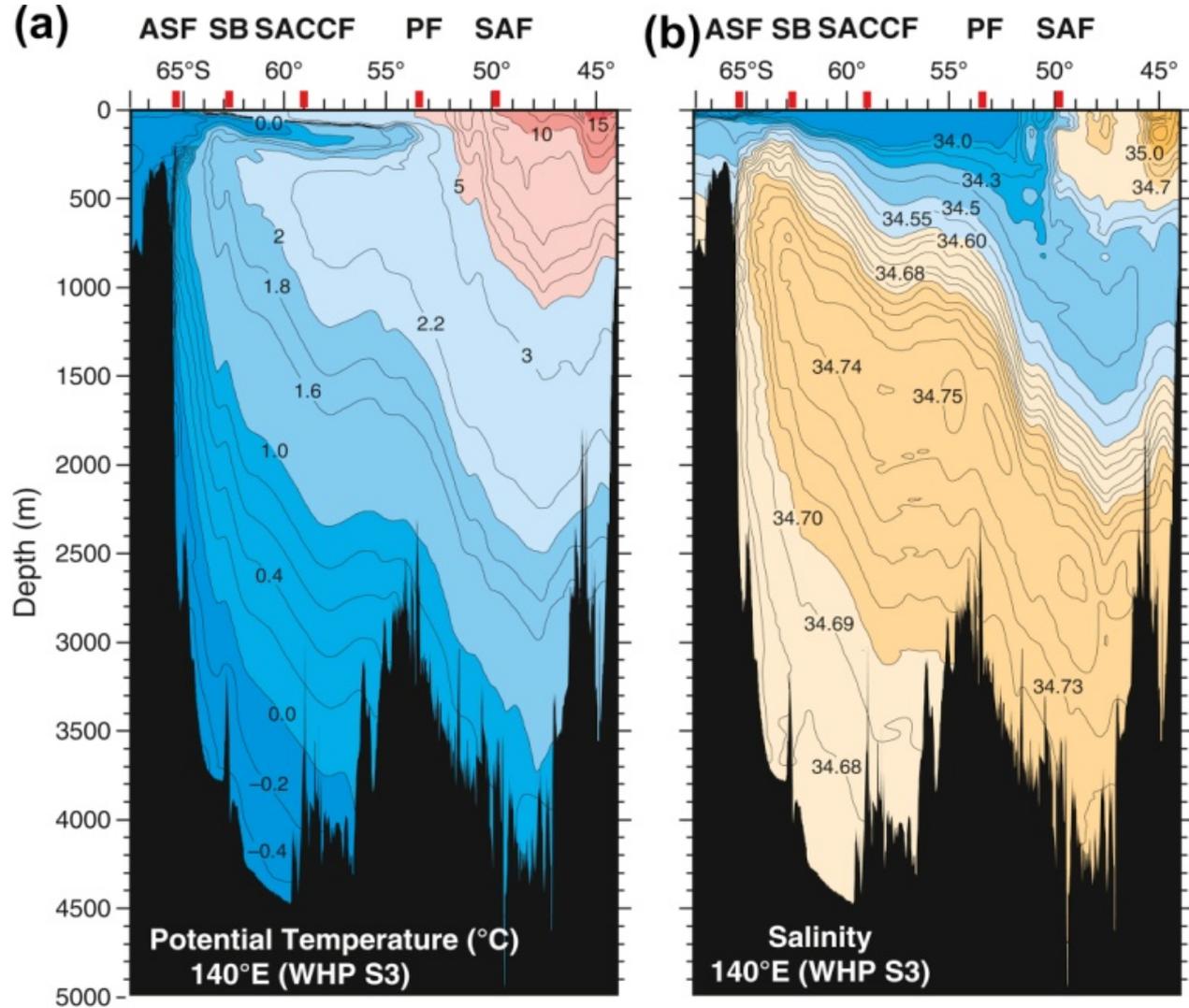


(a) Temperatura potencial e (b) salinidade ao longo de um perfil entre a Tasmânia e a Antártica. Siglas: Subantarctic Front (SAF), Polar Front (PF), Southern ACC Front (SACCF), Southern Boundary (SB) e Antarctic Slope Front (ASF). Fonte: Atlas do WOCE. Extraído de Talley et al. (2011).

- A P F Z é caracterizada:

- Pela região entre a PF e a SAF

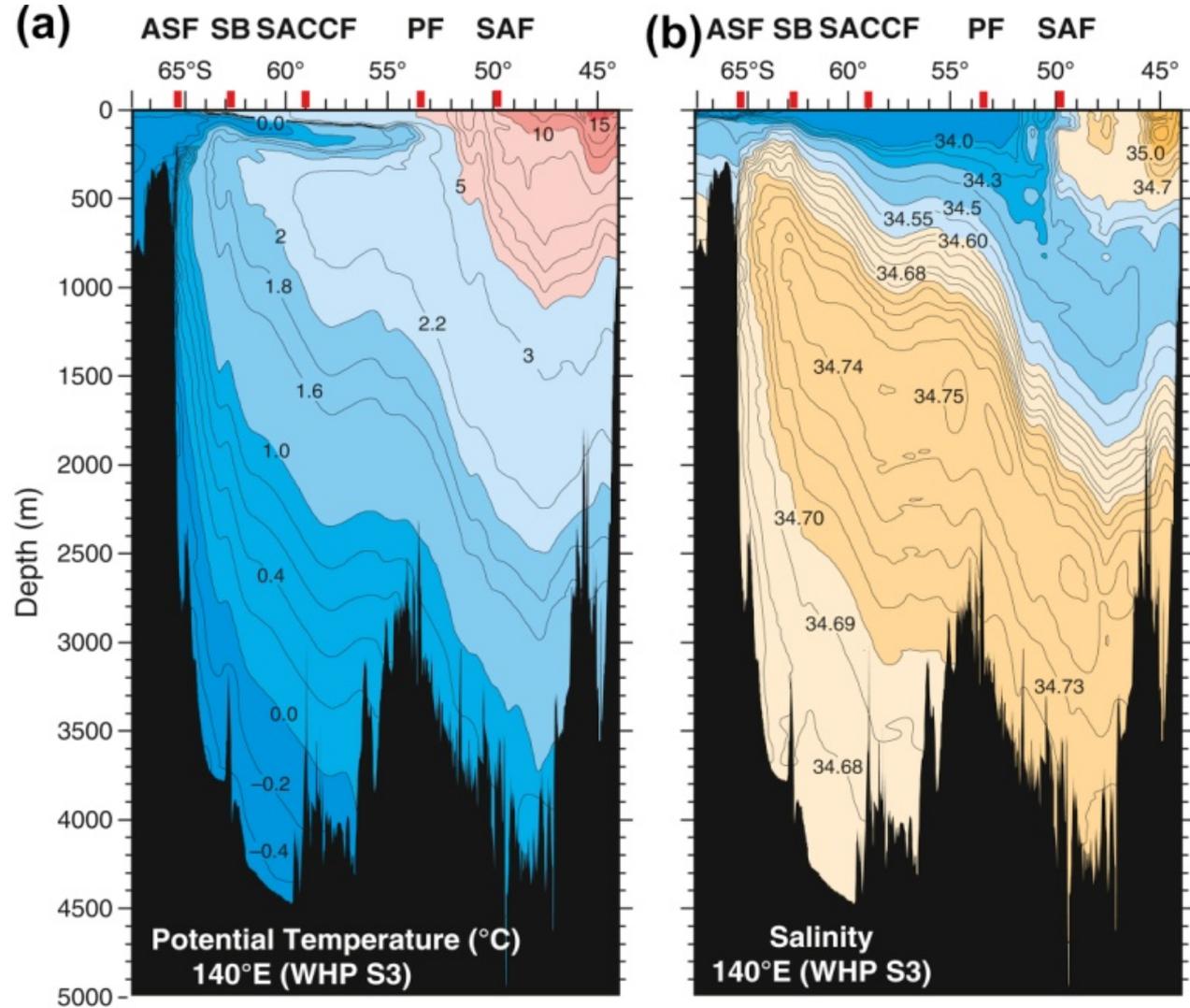
- Por uma transição entre as características termohalinas, passando de uma região isotérmica ao sul para uma região muito mais quente e mais salina



(a) Temperatura potencial e (b) salinidade ao longo de um perfil entre a Tasmânia e a Antártica. Siglas: Subantarctic Front (SAF), Polar Front (PF), Southern ACC Front (SACCF), Southern Boundary (SB) e Antarctic Slope Front (ASF). Fonte: Atlas do WOCE. Extraído de Talley et al. (2011).

A A Z é caracterizada:

- Pela região entre a SACCF e a PF
- Por uma fina camada de água fria associada a baixa salinidade durante o verão (devido ao degelo)

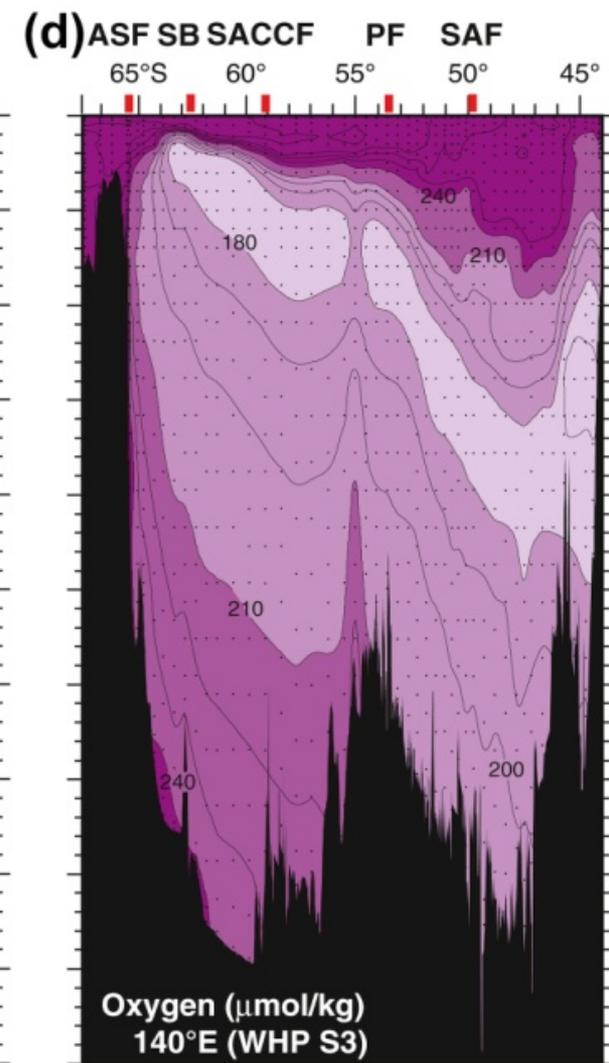
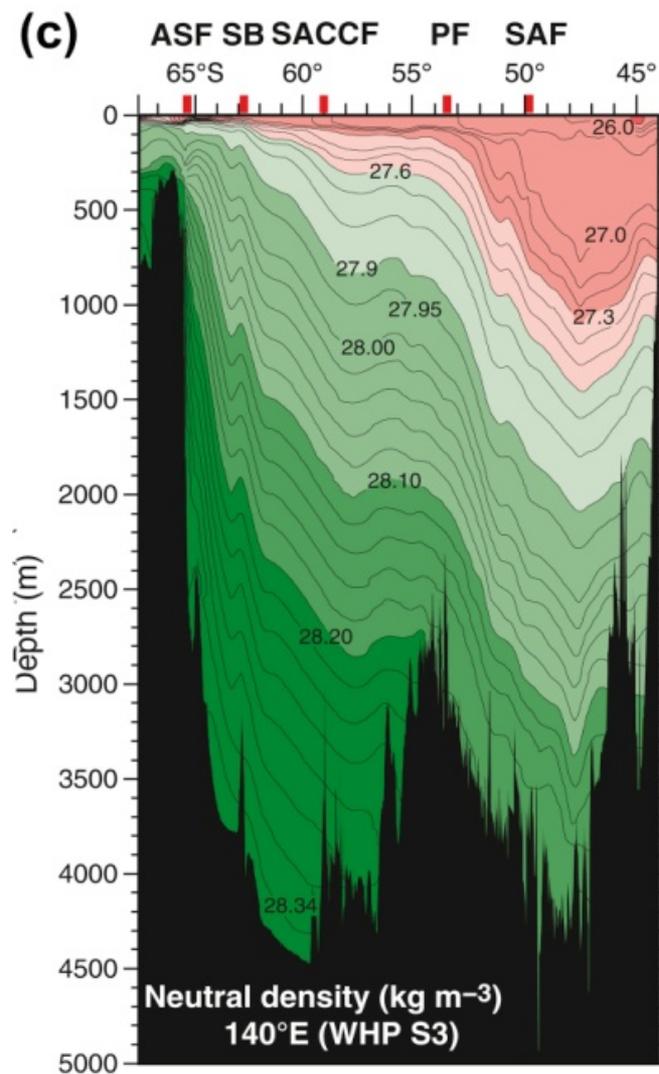


(a) Temperatura potencial e (b) salinidade ao longo de um perfil entre a Tasmânia e a Antártica. Siglas: Subantarctic Front (SAF), Polar Front (PF), Southern ACC Front (SACCF), Southern Boundary (SB) e Antarctic Slope Front (ASF). Fonte: Atlas do WOCE. Extraído de Talley et al. (2011).

A S P Z é caracterizada:

➤ Pela região entre a ASF e a SB

➤ Região de baixo oxigênio, onde UCDW ressurge na superfície e é transformada em Água Antártica de Superfície (ASW), que apresenta temperaturas muito frias

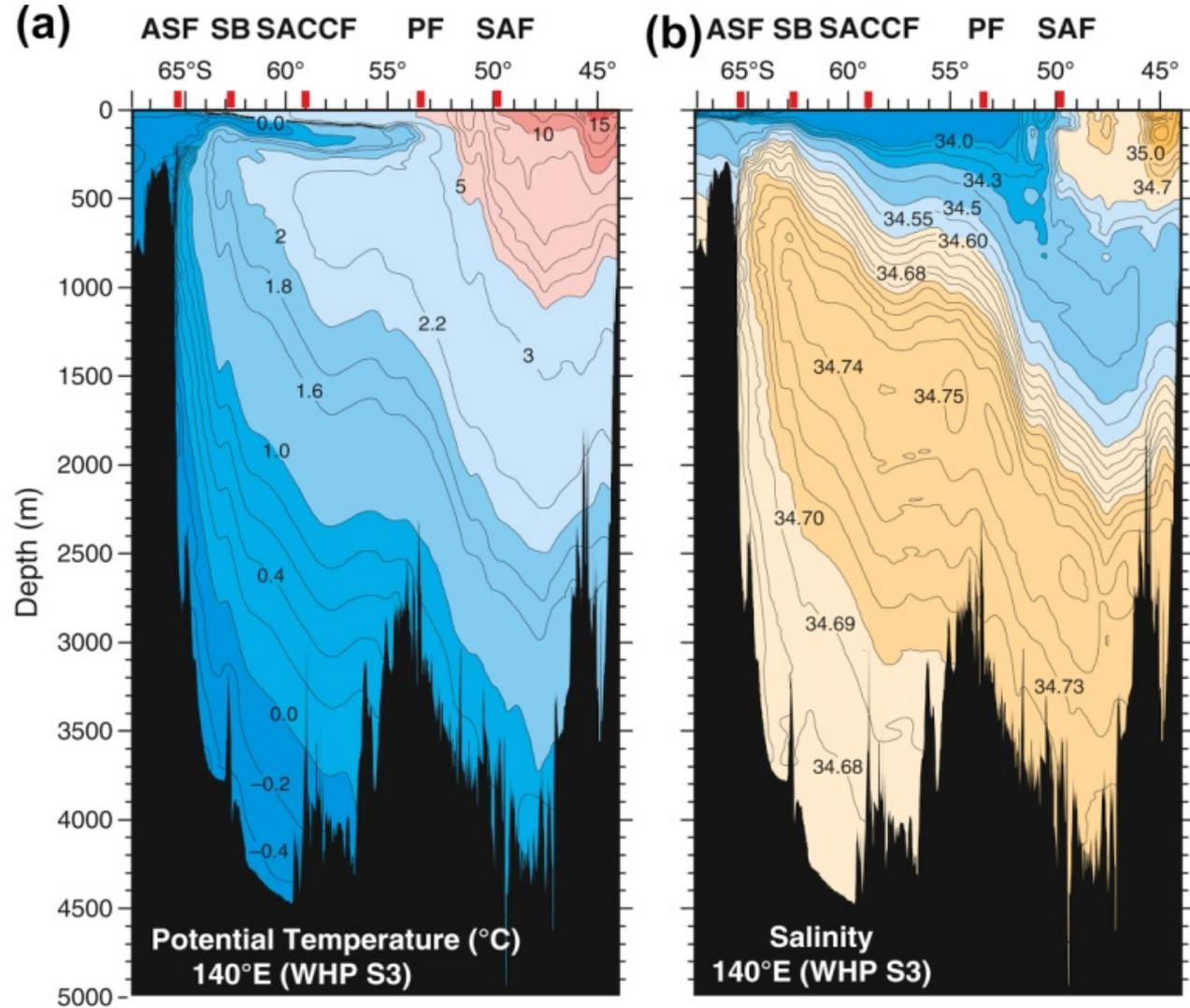


(c) Densidade neutra e (d) oxigênio ao longo de um perfil entre a Tasmânia e a Antártica. Siglas: Subantarctic Front (SAF), Polar Front (PF), Southern ACC Front (SACCF), Southern Boundary (SB) e Antarctic Slope Front (ASF). Fonte: Atlas do WOCE. Extraído de Talley et al. (2011).

- A C Z é caracterizada:

- Pela região ao sul da ASF

- Por águas muito frias ($<0^{\circ}\text{C}$) e que em alguns locais específicos são a fonte das densas águas profundas e de fundo



(a) Temperatura potencial e (b) salinidade ao longo de um perfil entre a Tasmânia e a Antártica. Siglas: Subantarctic Front (SAF), Polar Front (PF), Southern ACC Front (SACCF), Southern Boundary (SB) e Antarctic Slope Front (ASF). Fonte: Atlas do WOCE. Extraído de Talley et al. (2011).

- As zonas são divididas em:

- Zona Subantártica (SAZ): ao norte da SAF

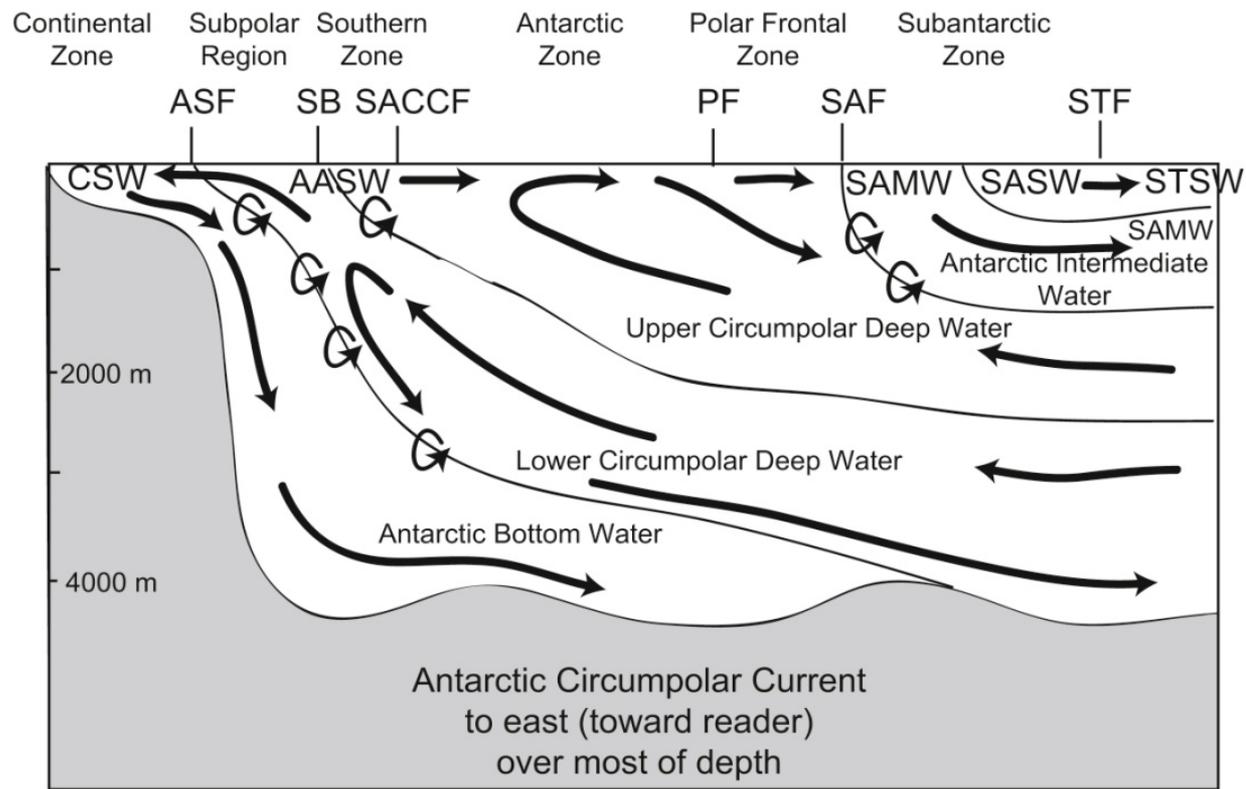
- Zona da Frente Polar (PFZ): entre a SAF e a PF

- Zona Antártica (AZ): entre a PF e SACCF

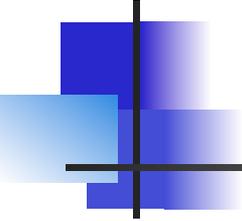
- Zona Sul (SZ): entre a SACCF e a SB

- Zona Subpolar (SPZ): ao sul da SB, incluindo os giros ciclônicos dos Mares de Weddell e Ross

- Zona Continental: na plataforma continental ao sul da ASF



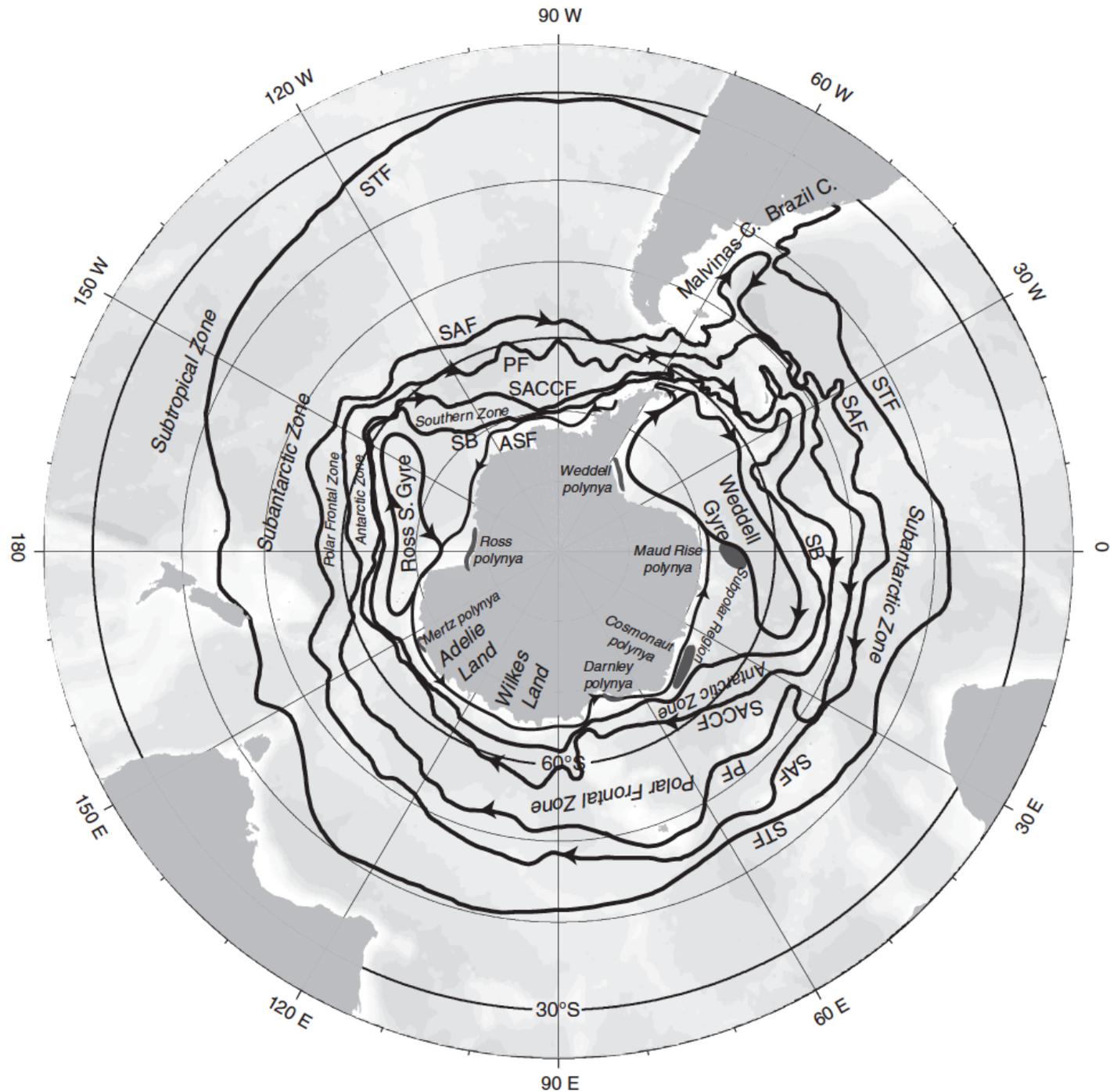
Esquema de uma seção meridional no Oceano Austral mostrando as massas de água, a circulação meridional, as frentes e a maioria das frentes. Siglas: Continental Shelf Water (CSW), Antarctic Surface Water (AASW), Subantarctic Mode Water (SAMW), Subantarctic Surface Water (SASW), Subtropical Surface Water (STSW), Antarctic Slope Front (ASF), Southern Boundary (SB), Southern ACC Front (SACCF), Polar Front (PF), Subantarctic Front (SAF) e Subtropical Front (STF). Extraído de Talley et al. (2011).



Oceano Austral: Circulação e Transporte

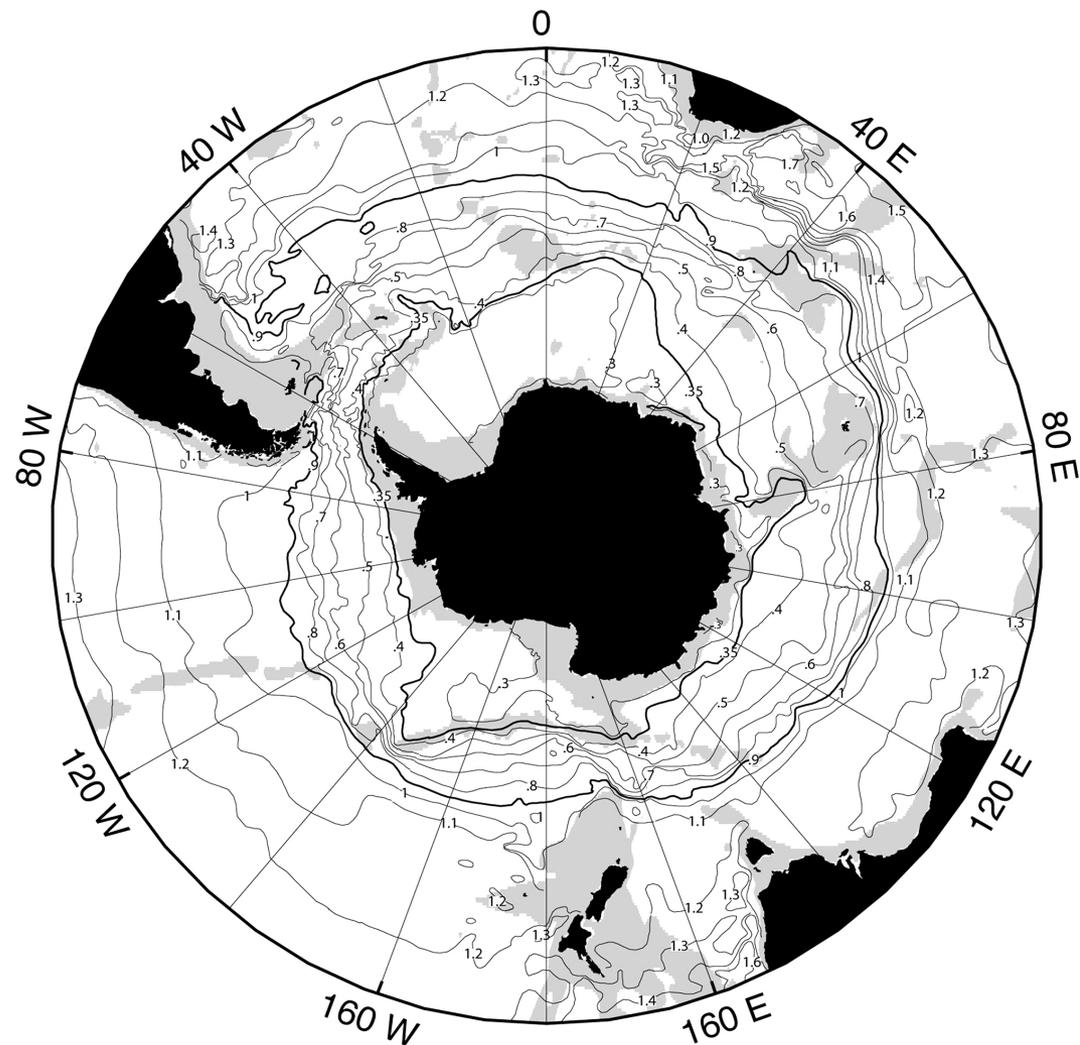
- A circulação no Oceano Austral é dominada pela forte e profunda ACC, que flui continuamente para a leste ao longo de todo o globo
- Ao sul da ACC existem dois giros ciclônicos, o do Mar de Weddell e o do Mar de Ross

A geografia do Oceano Austral, principais frentes, e zonas oceanográficas. A Frente Subtropical (STF) é 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). As regiões de polinias são apresentadas em cinza escuro. Extraído de Talley et al (2011).



• ACC

- Antigamente pensa-se que era um jato único e uniforme, mas hoje sabe-se que é composto de uma série de pequenos jatos que formam o envelope da ACC
- Na Passagem de Drake sofre uma forte obstrução, seguida de uma excursão para norte. Uma situação similar acontece no setor da Australásia
- Com a ACC se estende até o fundo, estimativas baseadas na velocidade geostrófica (associada a um nível de não movimento nulo) tendem a subestimar o seu transporte



Anomalia da altura de geopotencial a 50 db relativo a 1000 db em metros dinâmicos. Fonte: Orsi et al. (1995). As linhas em negrito representam o envelope da ACC. Extraído de Talley et al. (2011).

• ACC

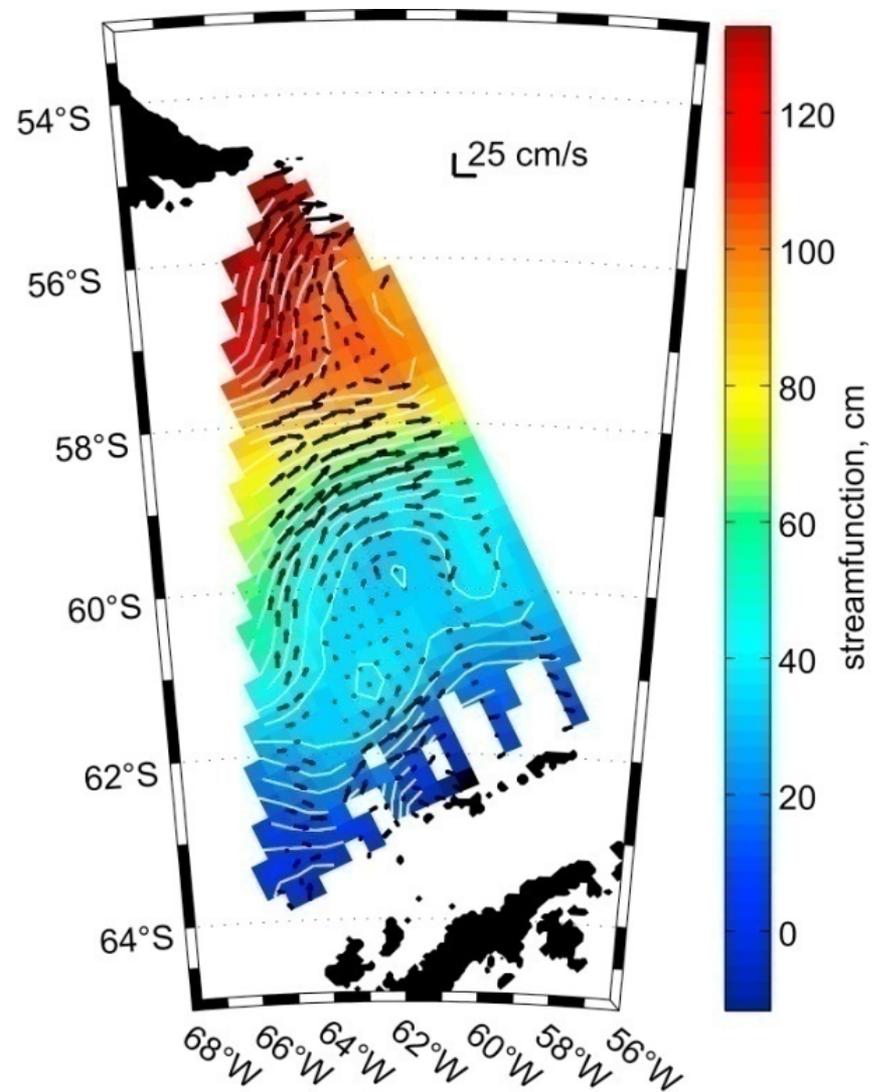
➤ Considerando-se a ACC como um todo a velocidade média é de 20 cm/s

➤ Tendo como base em derivadores superficiais, estas velocidades médias aumentam para 30-70 cm/s na SAF e 30-50 cm/s na PF. Valores ainda mais elevados ocorrem na Passagem de Drake (figura ao lado)

➤ Estimativas de transporte incluem:

❖ $107,3 \pm 10,4$ Sv (Passagem de Drake, nível de não movimento a 3000 m)

❖ 147 Sv (seção Tasmania-Antártica)

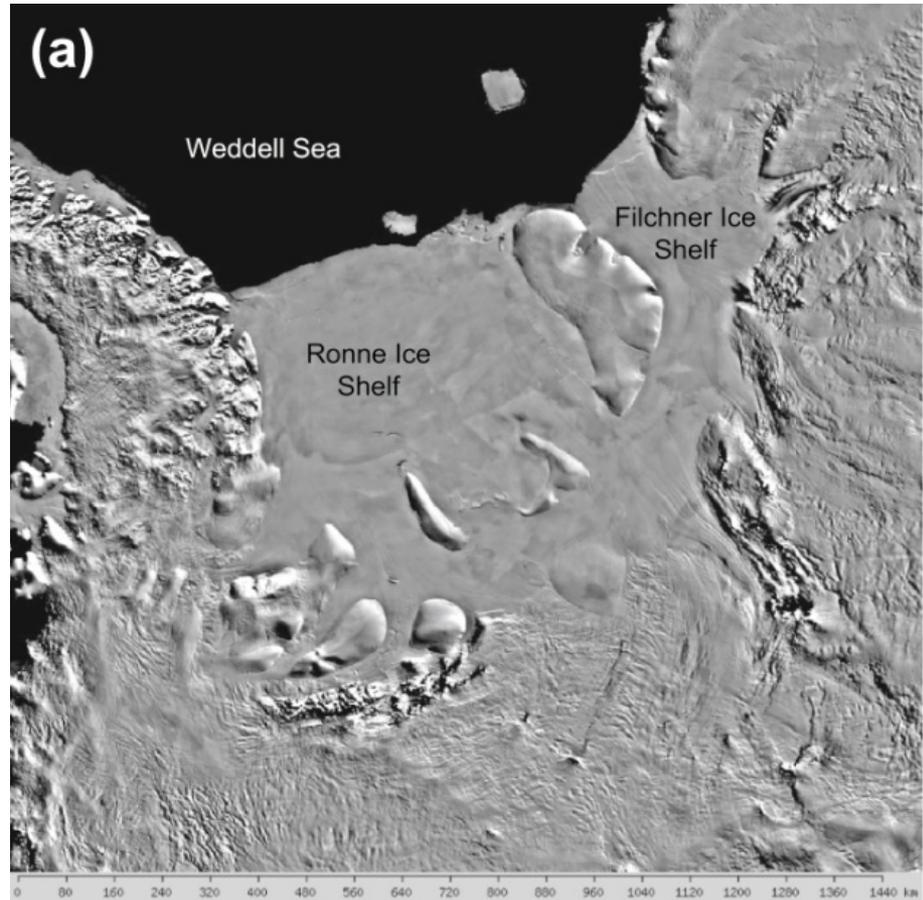


Correntes médias na Passagem de Drake, com base em médias entre a profundidade de 30-300 m de 128 passagens de ADCP ao longo de 5 anos. As correntes mais intensas do norte para o sul representam a SAF (56°S), a PF (59°S) e a SACCF (62°S). Fonte: Lenn et al. (2008). Extraído de Talley et al. (2011).

Oceano Austral: Circulação e Transporte

• Giro no Mar de Weddell

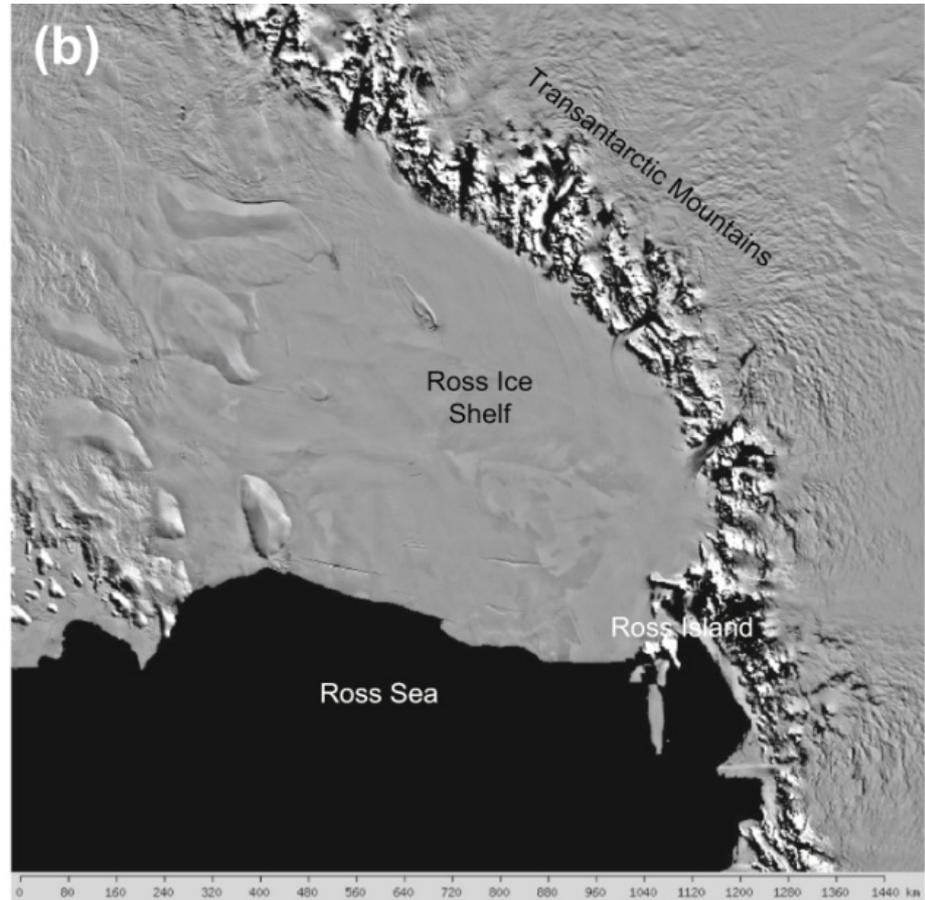
- A circulação ciclônica nos giros dos Marés de Weddell e Ross está associada à importantes locais de formação de águas densas
- O transporte líquido do giro de Weddell já foi estimado em mais de 20 Sv
- A Plataforma de gelo Filchner é a maior fonte de água densa de plataforma que se torna a **Água de Fundo do Mar de Weddell**



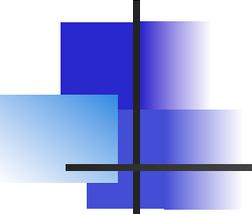
(a) Plataforma de gelo Filchner-Ronne no Mar de Weddell. Extraído de Talley et al. (2011).

Oceano Austral: Circulação e Transporte

- **Giro no Mar de Ross**
 - O transporte do giro do Mar Ross é da ordem de 20 Sv
 - A Plataforma de gelo Ross é a maior plataforma de gelo do mundo



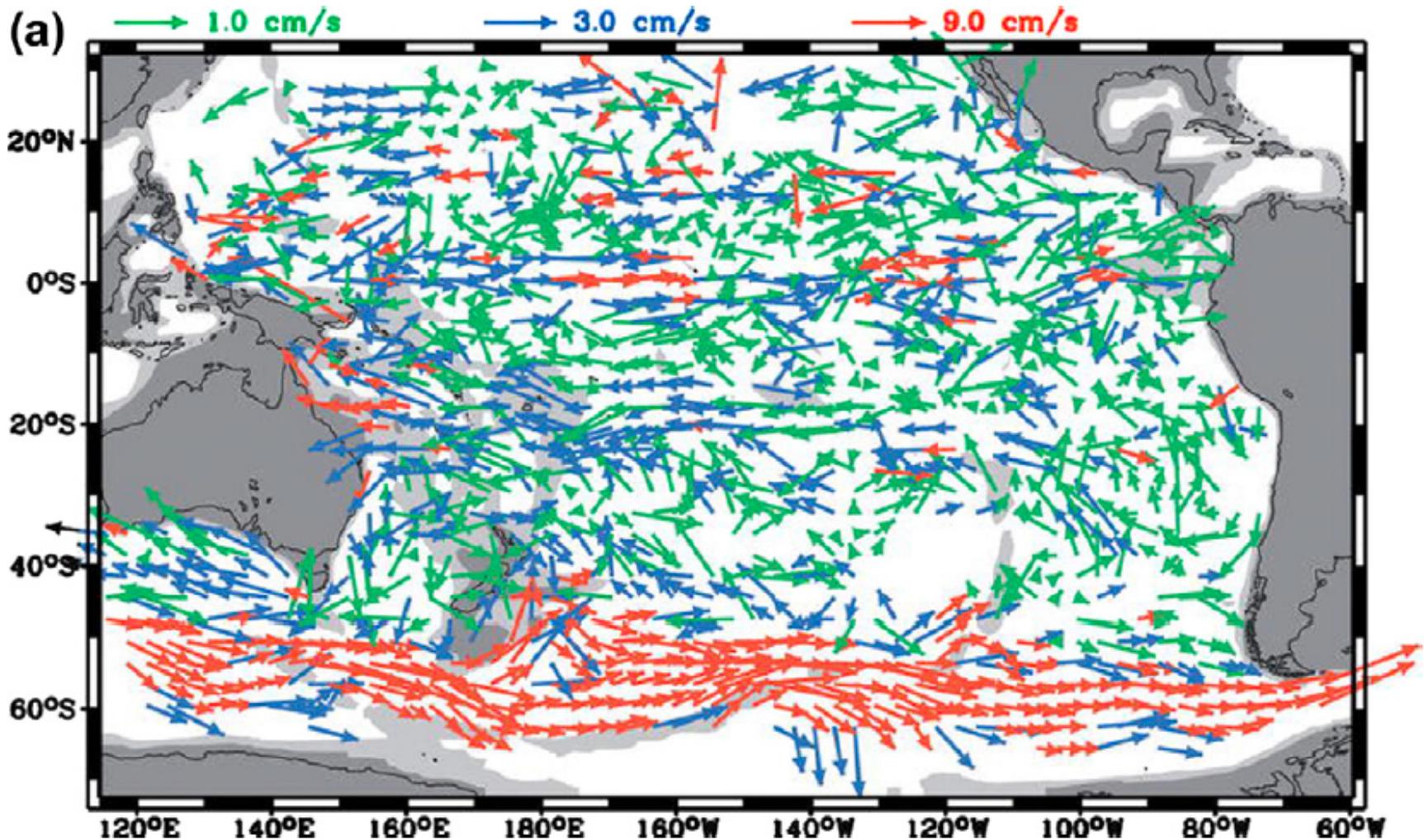
(b) Plataforma de gelo Ross no Mar de Ross. Extraído de Talley et al. (2011).



Oceano Austral: Circulação e Transporte

- **A circulação entre as profundidades intermediárias e o fundo**
- A ACC, com seu fluxo para leste, se estende desde a superfície até profundidades próximas ao fundo
 - O fato da ACC atingir profundidades próximas ao fundo depende da topografia e da profundidade local
 - A ACC e os giros associados apresentam um padrão contínuo até pelo menos a profundidade de 3000 m
 - Em regiões mais profundas, as cordilheiras meso-oceânicas já começam a impedir o fluxo contínuo da ACC
 - Em 4000 db a circulação já é quebrada em giros regionais profundos confinados as bacias profundas. Estes giros são ciclônicos
 - As DWBC são responsáveis pelo transporte da AABW para fora do continente Antártico

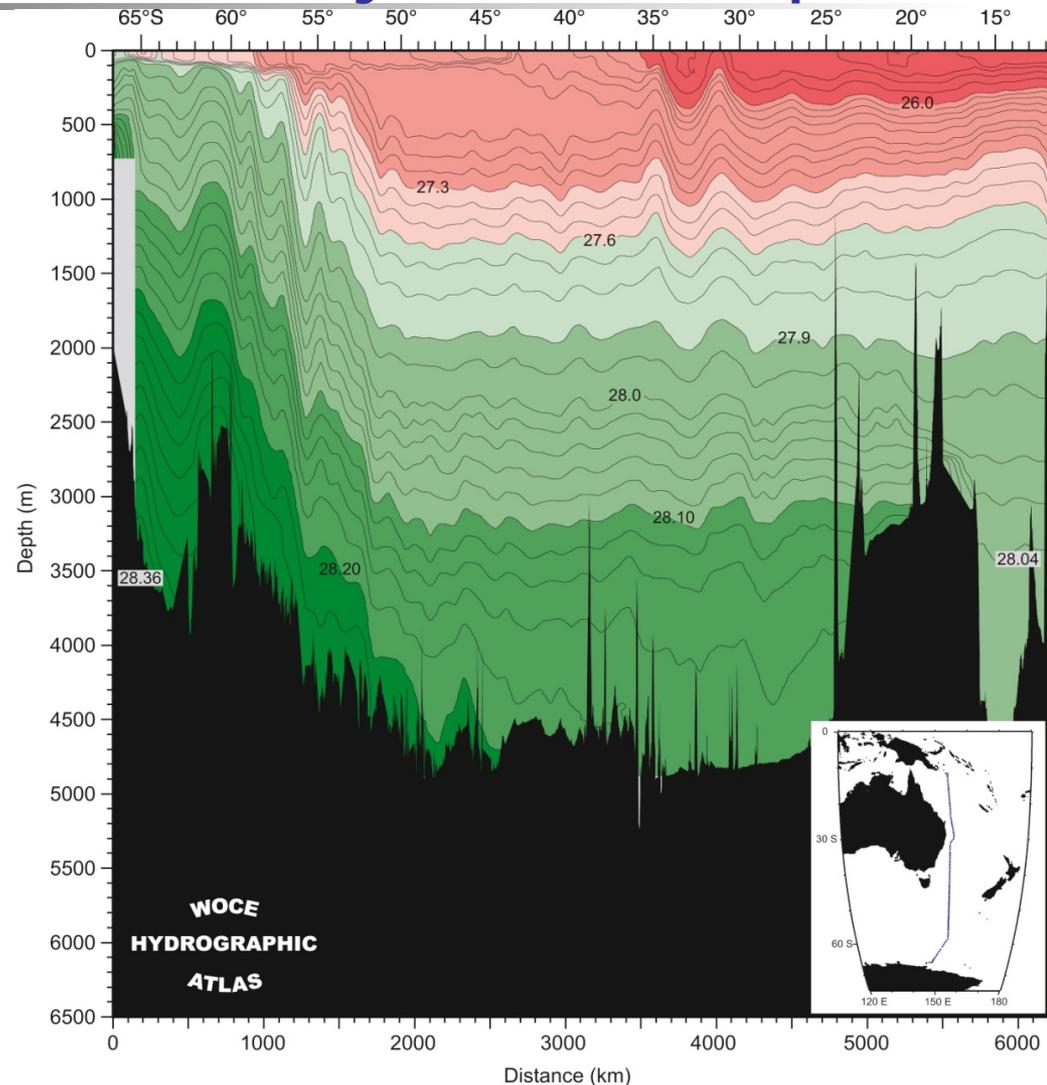
Oceano Austral: Circulação e Transporte



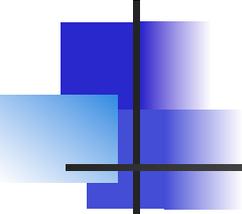
Fluxo médio em 900 m no Oceano Pacífico Tropical e Sul baseado em observações de flutuadores de sub-superfície. A velocidade está em cm/s. Fonte: Davis (2005). Extraído de Talley et al. (2011).

Oceano Austral: Circulação e Transporte

- A inclinação das isopicnais na região da ACC mostra que o cisalhamento geostrofico é considerável, sendo que a corrente decresce de velocidades da ordem de 50 cm/s (superfície) até 4-10 cm/s próximo ao fundo
- A elevação das isopicnais em profundidades intermediárias e profundas, associada à ressurgência de águas dos oceanos mais ao norte, é um importante fator na criação de águas profundas



Seção de densidade neutra no oeste do Oceano Pacífico.
Fonte: Atlas do WOCE. Extraído de Talley et al. (2011).



Massas de Água do Oceano Austral

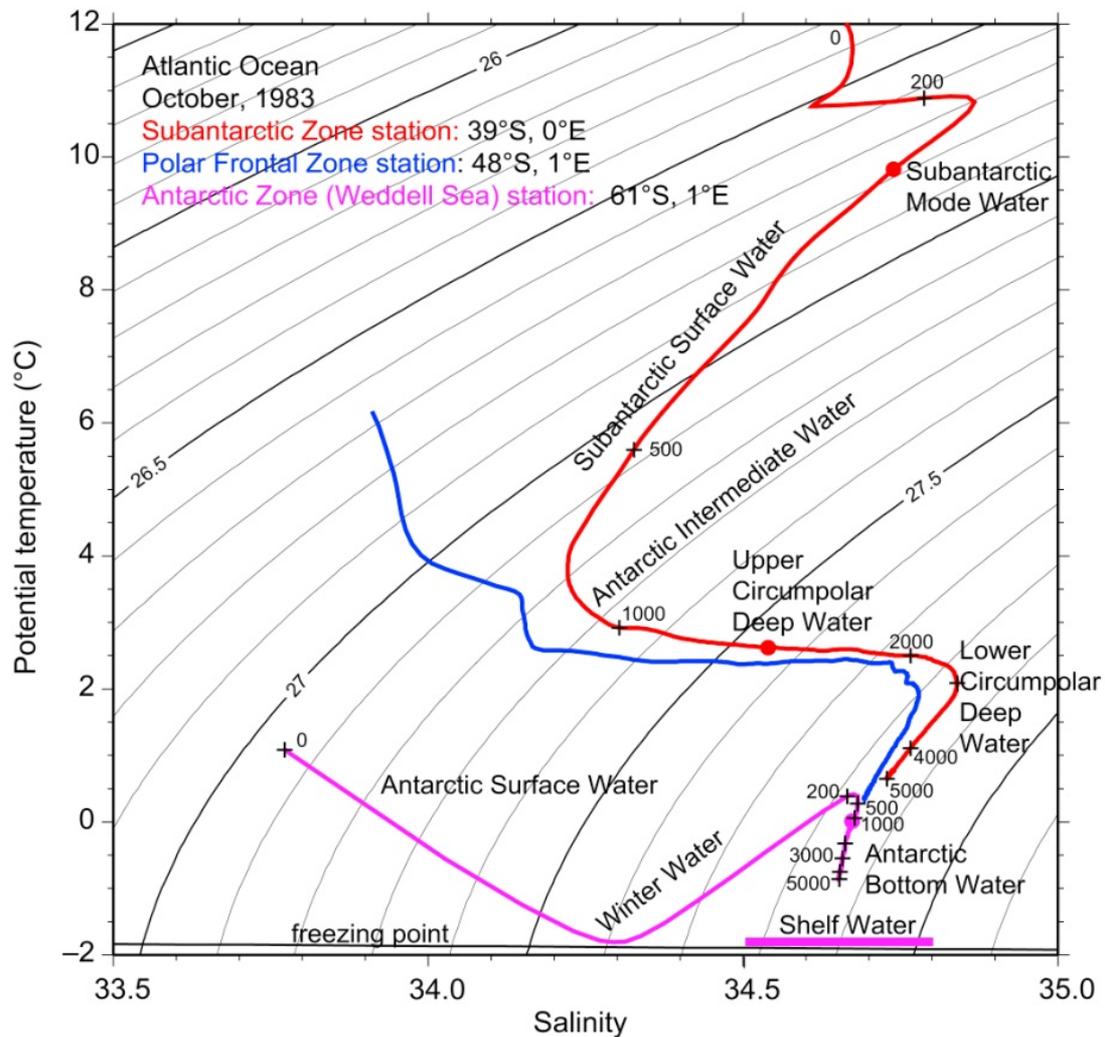
- As massas de água do Oceano Austral podem ser divididas em 4 camadas: i) águas superficiais e superiores, ii) águas intermediárias, iii) águas profundas e iv) águas de fundo
- Estas águas são principalmente identificadas pela salinidade, temperatura e densidade potencial. Entretanto, existem situações onde o processo de identificação está associado a quantidade de oxigênio

➤ Quando associamos as massas de água às zonas, temos:

❖ **Zona Antártica (AZ):** Água Antártica de Superfície, Água Circumpolar Profunda Superior e Inferior, Água Profunda do Mar de Weddell, Água Profunda do Mar de Ross e Água de Fundo

❖ **Zona da Frente Polar (PFZ):** as mesmas massas de água, mas em profundidades maiores

❖ **Zona Subantártica (SAZ):** Água Subantártica, Água Modal Subantártica, Água Antártica Intermediária e água profunda e de fundo

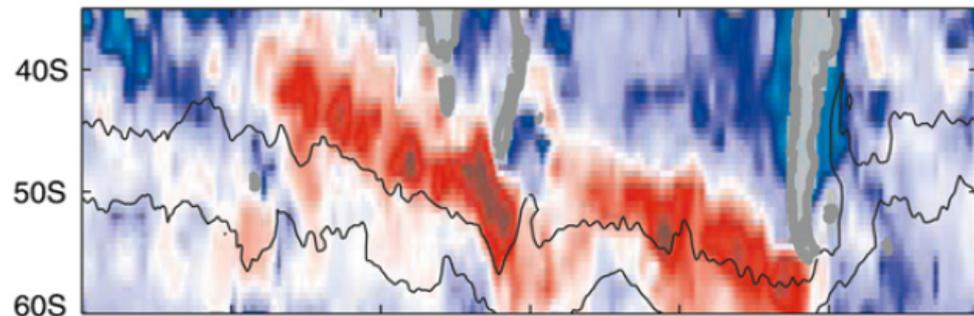


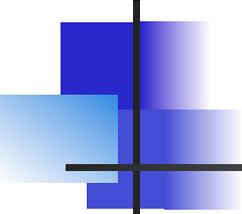
Curva da temperatura potencial-salinidade para as águas do Oceano Austral no setor Atlântico, mostrando as diferentes massas de água. Extraído de Talley et al. (2011).

Massas de Água do Oceano Austral

- **Águas superficiais**
- **Água Subantártica:** ocupa os primeiros 500 m da coluna d'água ao norte da SAF
 - A temperatura varia entre 4-10°C no inverno, chegando até 14°C no verão
 - A salinidade varia a partir de 33,9 a 34 psu no inverno e a partir de 33 psu no verão (devido ao degelo)
- **Água Modal Subantártica (SAMW):** associada a espessa camada de mistura que ocorre no inverno, ao norte da SAF

Espessura da camada de mistura no HS no final do inverno com base em perfiladores ARGO. Extraído de Talley et al. (2011).

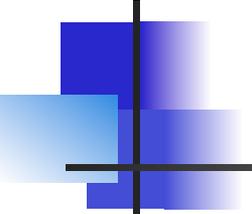




Massas de Água do Oceano Austral

- **Água Antártica de Superfície (ASW)**

- Está associada à camada superficial ao sul da SAF, sendo muito fria e doce devido ao congelamento no inverno e ao degelo no verão
- No inverno se estende até a base da camada de mistura
- No verão, consiste em uma camada superficial mais quente e menos salina que fica sobre a água remanescente do inverno
- No oceano aberto a camada de ASW tem espessuras de 100 a 250 m
- A salinidade varia entre 33 a 34,5 psu, enquanto a temperatura varia entre $-1,9^{\circ}\text{C}$ e 1°C (inverno) e entre -1°C e 4°C (verão)
- A formação sazonal de gelo de certa forma limita a amplitude térmica, uma vez que uma parte considerável do aporte de calor é usada no degelo, restando apenas uma pequena parcela para o aumento da temperatura



Massas de Água do Oceano Austral

- **Água da Plataforma Continental (CSW)**

- Ao sul da ASF, na plataforma continental, existe uma espessa camada de água muito fria, quase isotérmica. No inverno, esta camada fica muito próxima do ponto de congelamento
- Em algumas regiões, devido a rejeição de salmoura, observa-se um aumento da salinidade com a profundidade
- A CSW é tão densa quanto a AABW, mas tem temperaturas próximas do ponto do congelamento (-1,7°C)

• Água Antártica Intermediária (AAIW)

- No giros subtropicais do HS e nas regiões tropicais do OA e OP observa-se uma região de baixa salinidade entre 500 e 1500 m
- Na região da SAF ela apresenta as menores temperaturas e as menores salinidades, sendo que ambas aumentam a medida que ela é transportada para norte. No entanto, a densidade permanece praticamente constante ($\sigma_\theta = 27,3$ no OA e OI e $27,1$ no OP)
- Os valores de oxigênio dissolvido são altos no SE do OP e SW do OA (função do curto tempo que deixou a superfície)

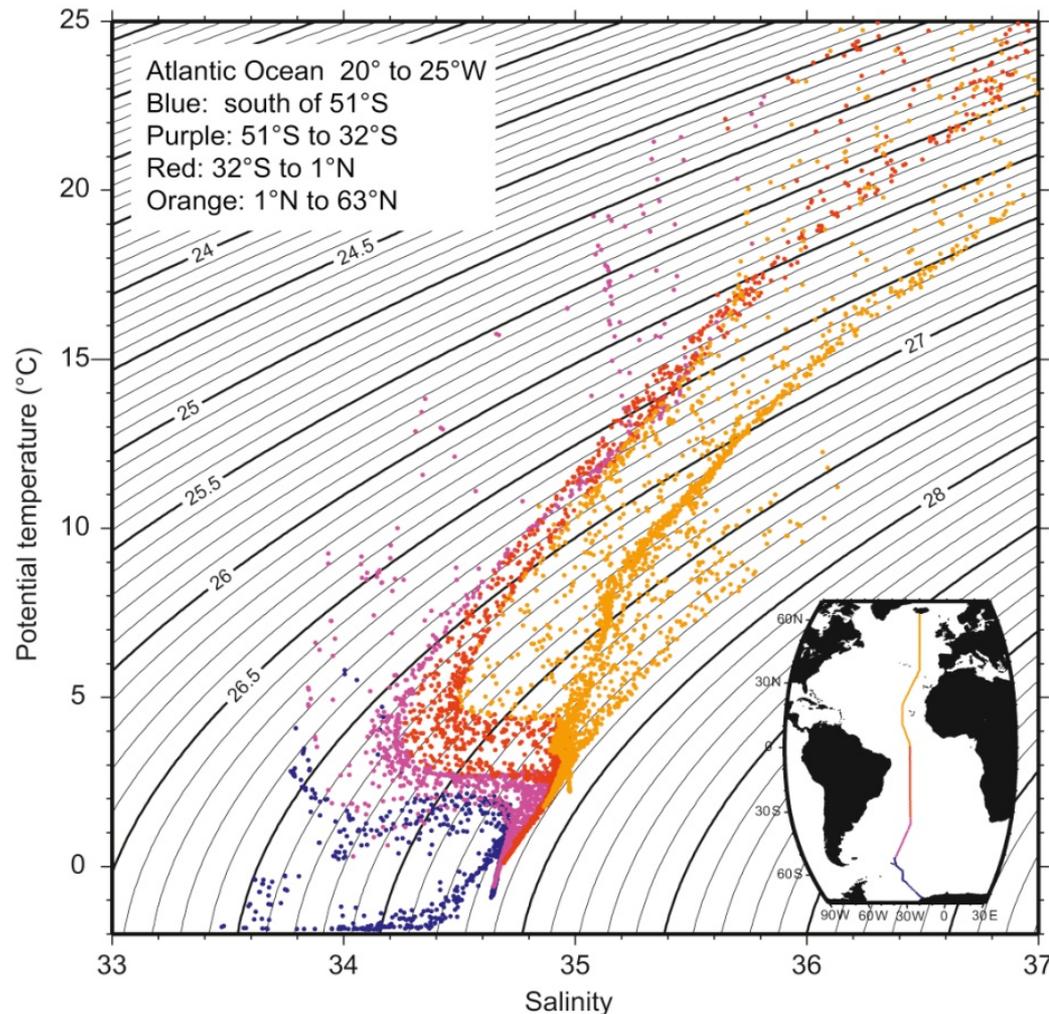


Diagrama temperatura potencial – salinidade no Mar de Weddell e Oceano Atlântico. Extraído de Talley et al. (2011).

• Água Antártica Intermediária (AAIW)

- Atualmente, acredita-se que a região de formação da AAIW seja limitada ao SE do OP e SW do OA
- Da região de formação ela seria advectada para leste ao longo da SAF e para norte entrando no giro subtropical do OA. A parte que continua sendo advectada para leste faria então um caminho similar no OI
- A divisão entre a AAIW e a UCDW ocorre aproximadamente no isopical de $\sigma_\theta = 27,5$

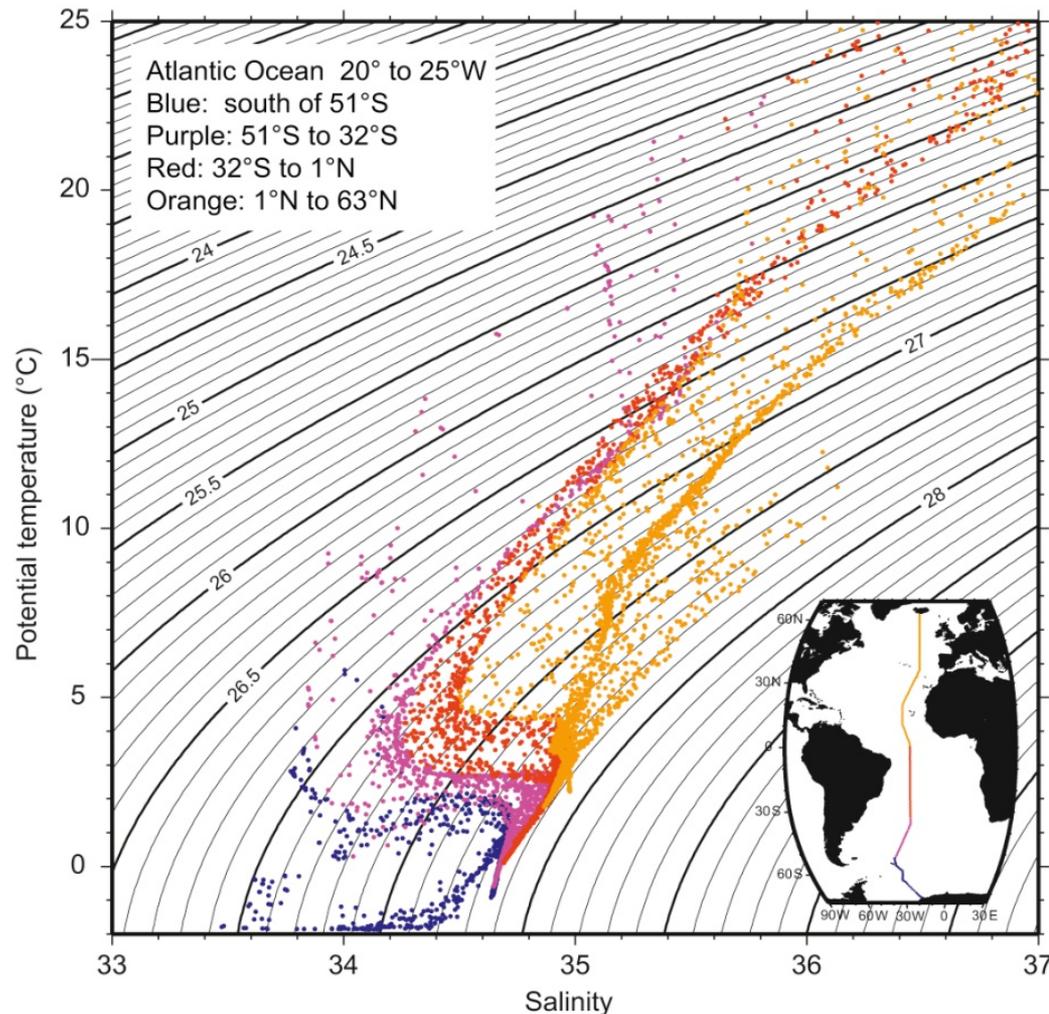
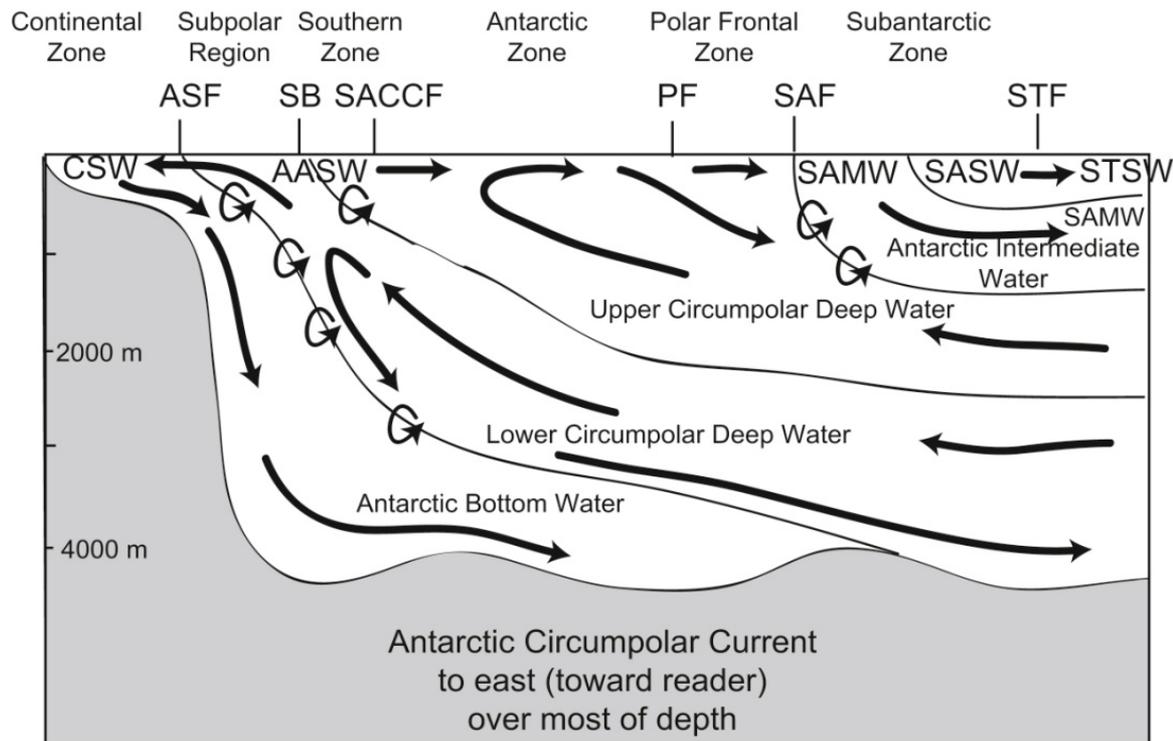


Diagrama temperatura potencial – salinidade no Mar de Weddell e Oceano Atlântico. Extraído de Talley et al. (2011).

• Água Circumpolar Profunda (CDW)

- É uma camada muito espessa de água que se estende abaixo da ASW (ao sul da SAF) ou abaixo da AAIW (ao norte da SAF) até acima das densas águas de fundo que são formadas nas plataformas da região Antártica
- A CDW é parcialmente formada pelas águas profundas das bacias de cada um dos oceanos (NADW no OA, PDW no OP e IDW no OI), uma vez que estas águas entram via ACC e se misturam

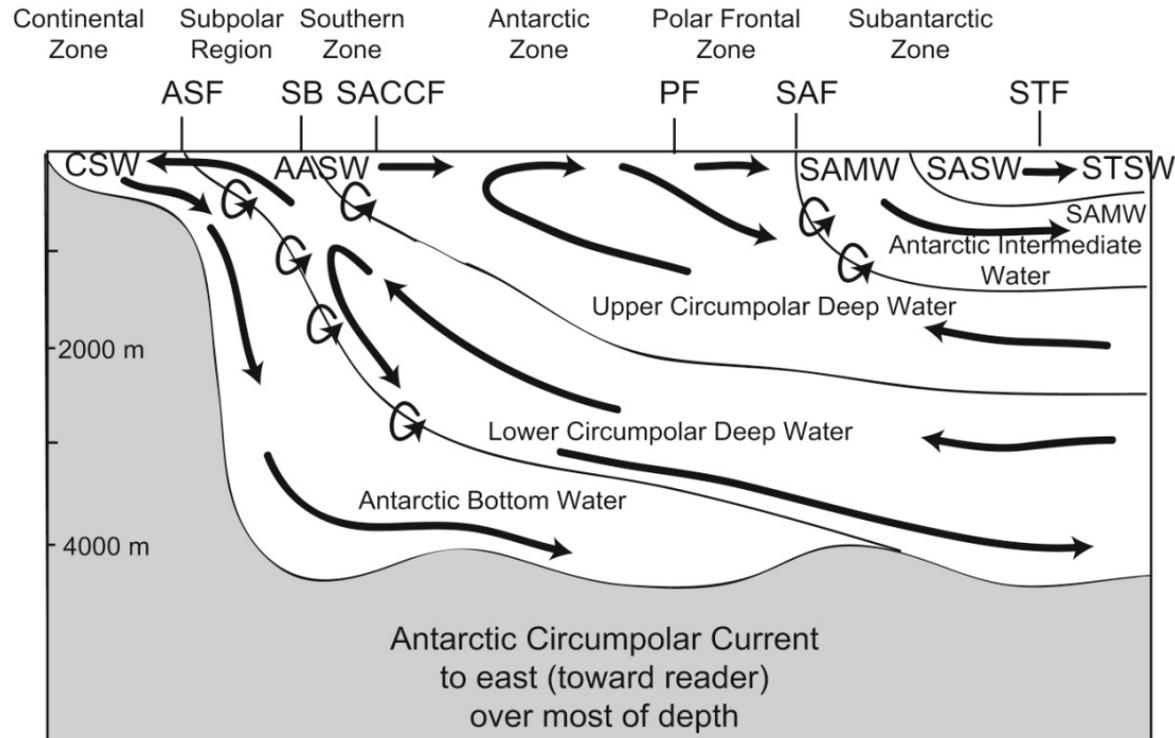
Esquema de uma seção meridional no Oceano Austral mostrando as massas de água, a circulação meridional, as frentes e a maioria das frentes. Siglas: Continental Shelf Water (CSW), Antarctic Surface Water (AASW), Subantarctic Mode Water (SAMW), Subantarctic Surface Water (SASW), Subtropical Surface Water (STSW), Antarctic Slope Front (ASF), Southern Boundary (SB), Southern ACC Front (SACCF), Polar Front (PF), Subantarctic Front (SAF) e Subtropical Front (STF). Extraído de Talley et al. (2011).



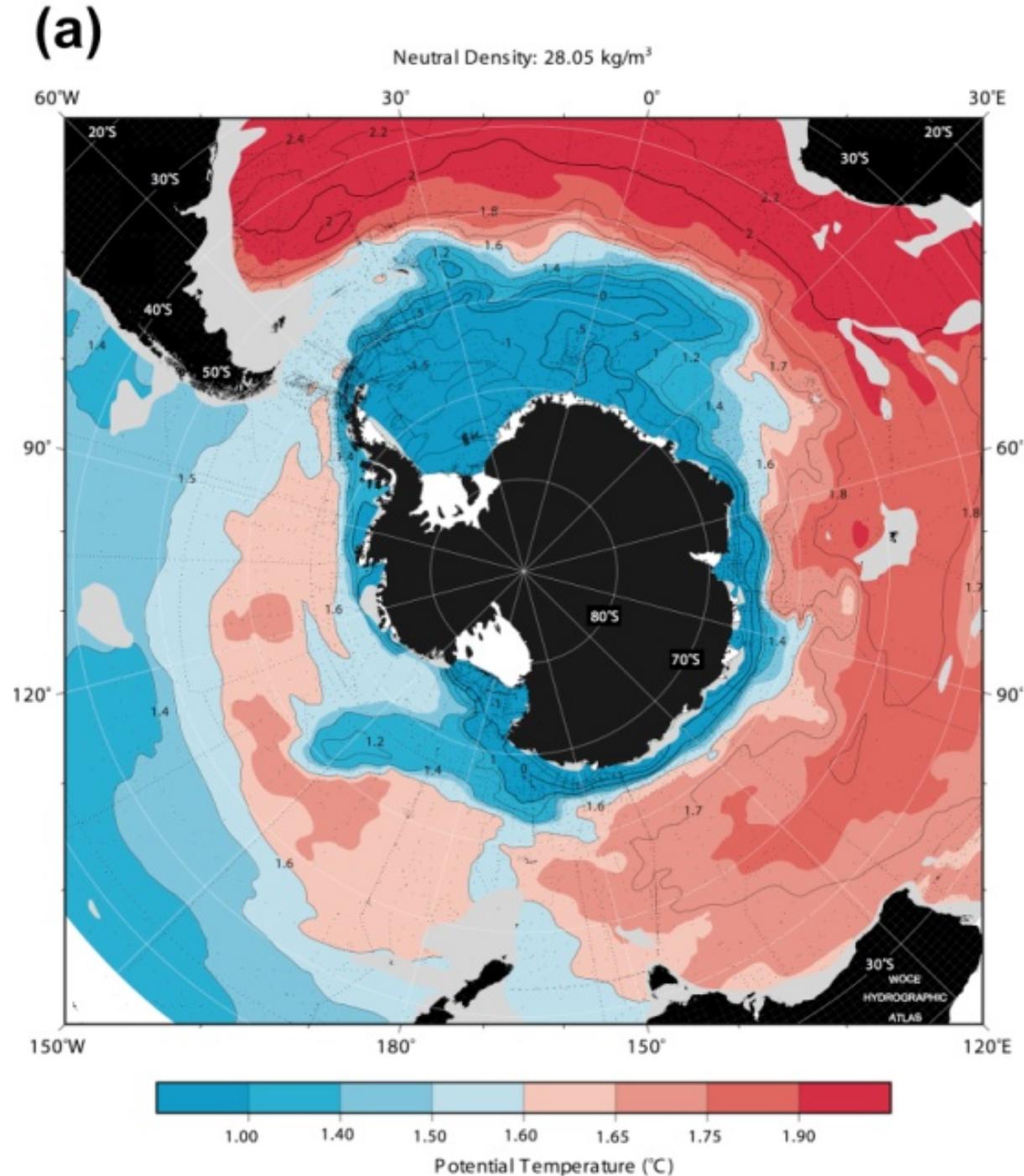
• Água Circumpolar Profunda (CDW)

- A CDW ressurgue ao longo da ACC no oceano superior na AZ e PFZ onde é transformada nas águas da Antártica. A CDW tem uma importante componente de águas Antárticas que são formadas localmente
- A CDW é dividida em uma camada superior (UCDW) e uma inferior (LCDW).
- ❖ A UCDW é identificada por um mínimo de oxigênio
- ❖ A LCDW é identificada por um máximo de salinidade

Esquema de uma seção meridional no Oceano Austral mostrando as massas de água, a circulação meridional, as frentes e a maioria das frentes. Siglas: Continental Shelf Water (CSW), Antarctic Surface Water (AASW), Subantarctic Mode Water (SAMW), Subantarctic Surface Water (SASW), Subtropical Surface Water (STSW), Antarctic Slope Front (ASF), Southern Boundary (SB), Southern ACC Front (SACCF), Polar Front (PF), Subantarctic Front (SAF) e Subtropical Front (STF). Extraído de Talley et al. (2011).

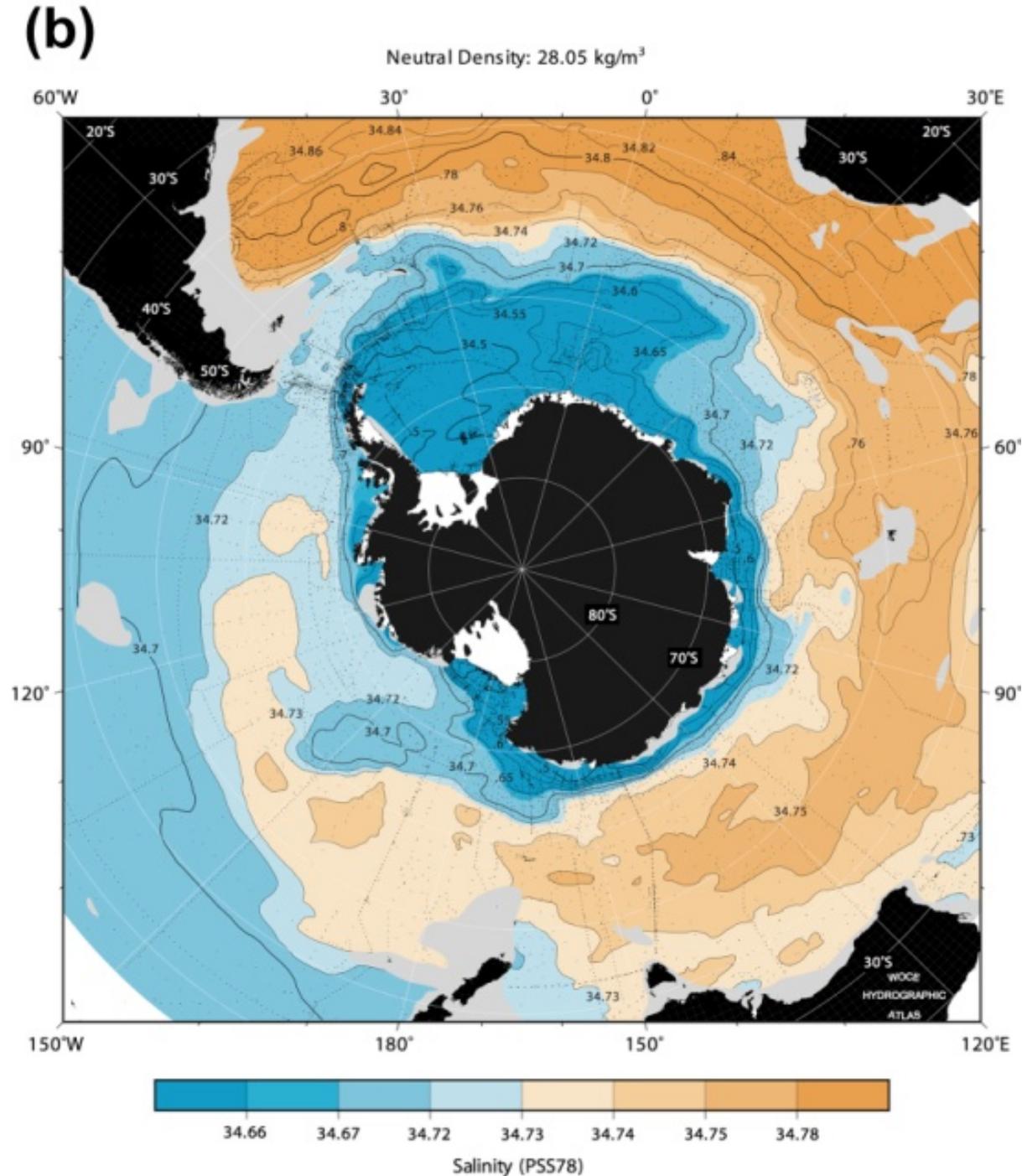


- O núcleo da UCDW tem temperatura potencial entre 1,3-1,8°C



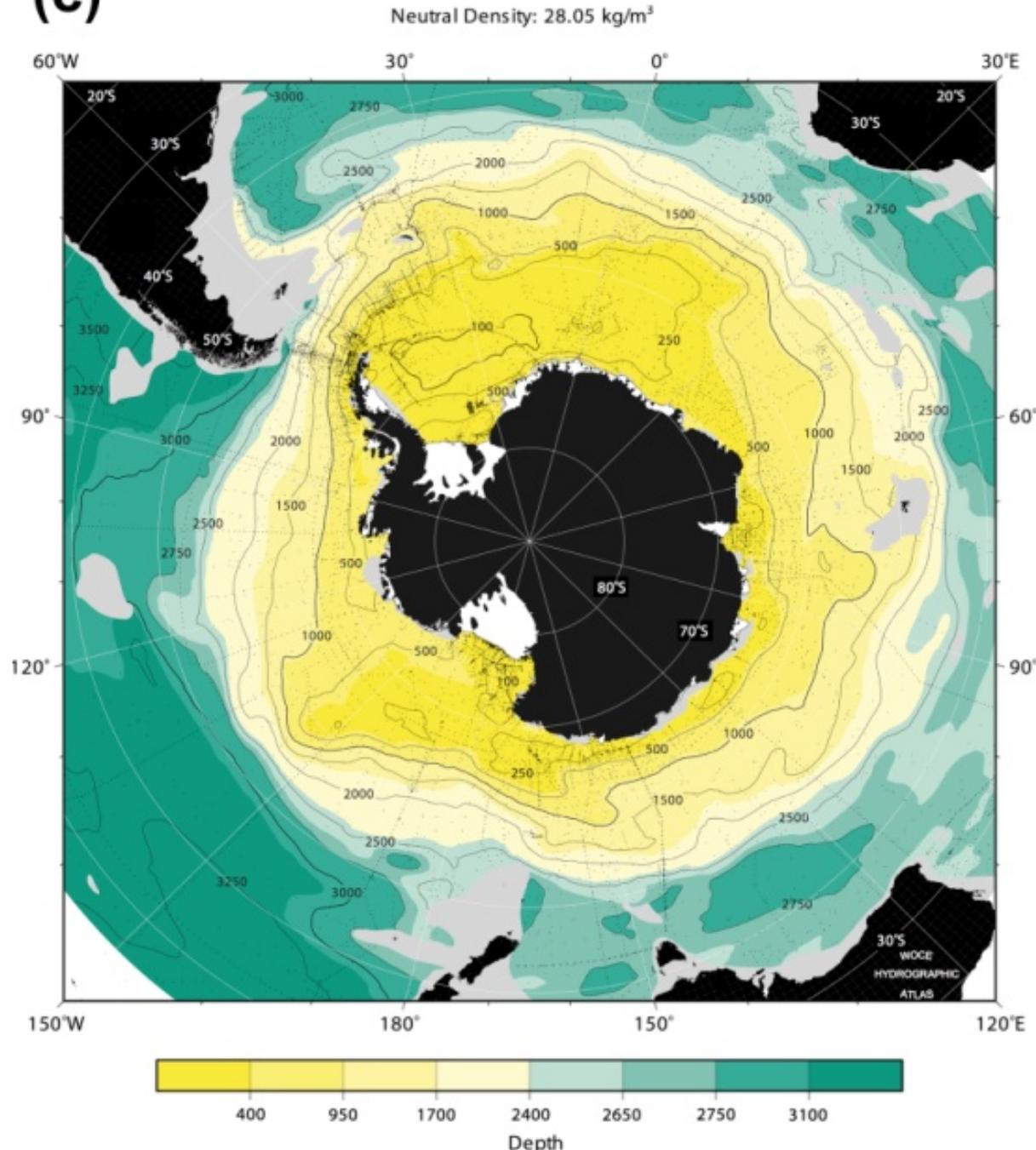
Propriedades ao longo da UCDW para a densidade neutra de 28,05. (a) temperatura potencial. Extraído de Talley et al. (2011).

- A salinidade da UCDW atinge valores máximos na região do OA (34,8-34,9 psu) e mínimos na região do OP (34,72 psu)



Propriedades ao longo da UCDW para a densidade neutra de 28,05. (b) salinidade. Extraído de Talley et al. (2011).

(c)

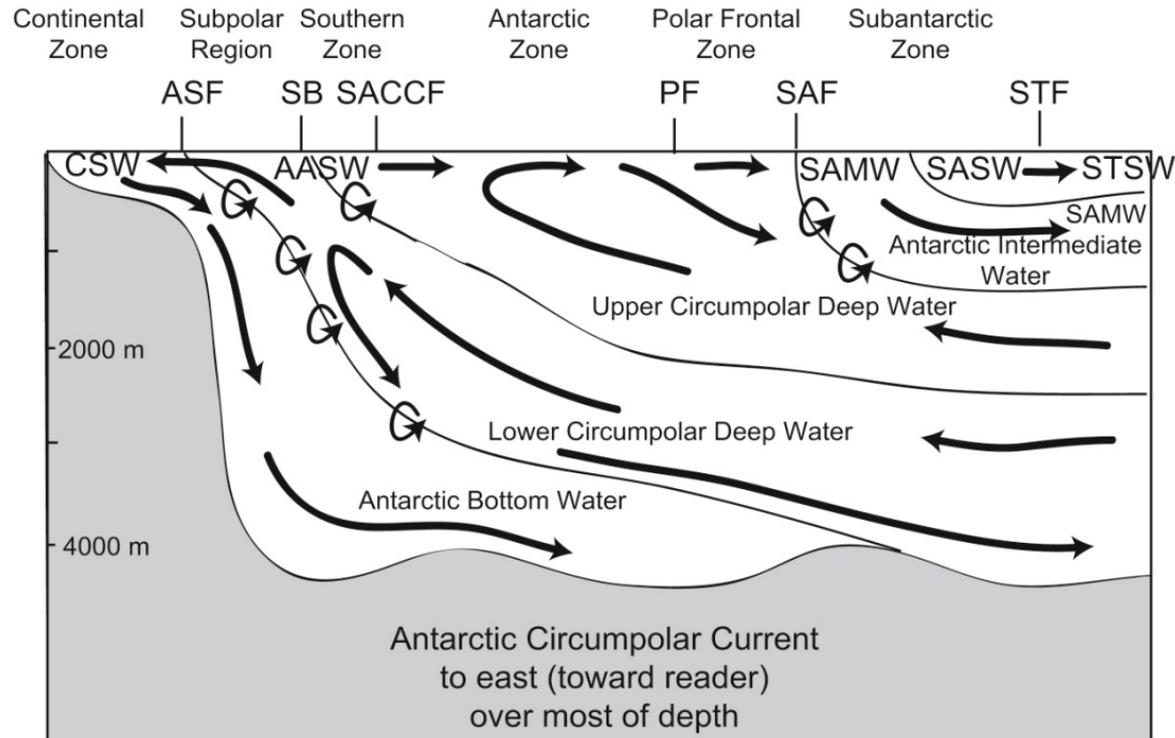


Propriedades ao longo da UCDW para a a densidade neutra de 28,05. (c) profundidade. Extraído de Talley et al. (2011).

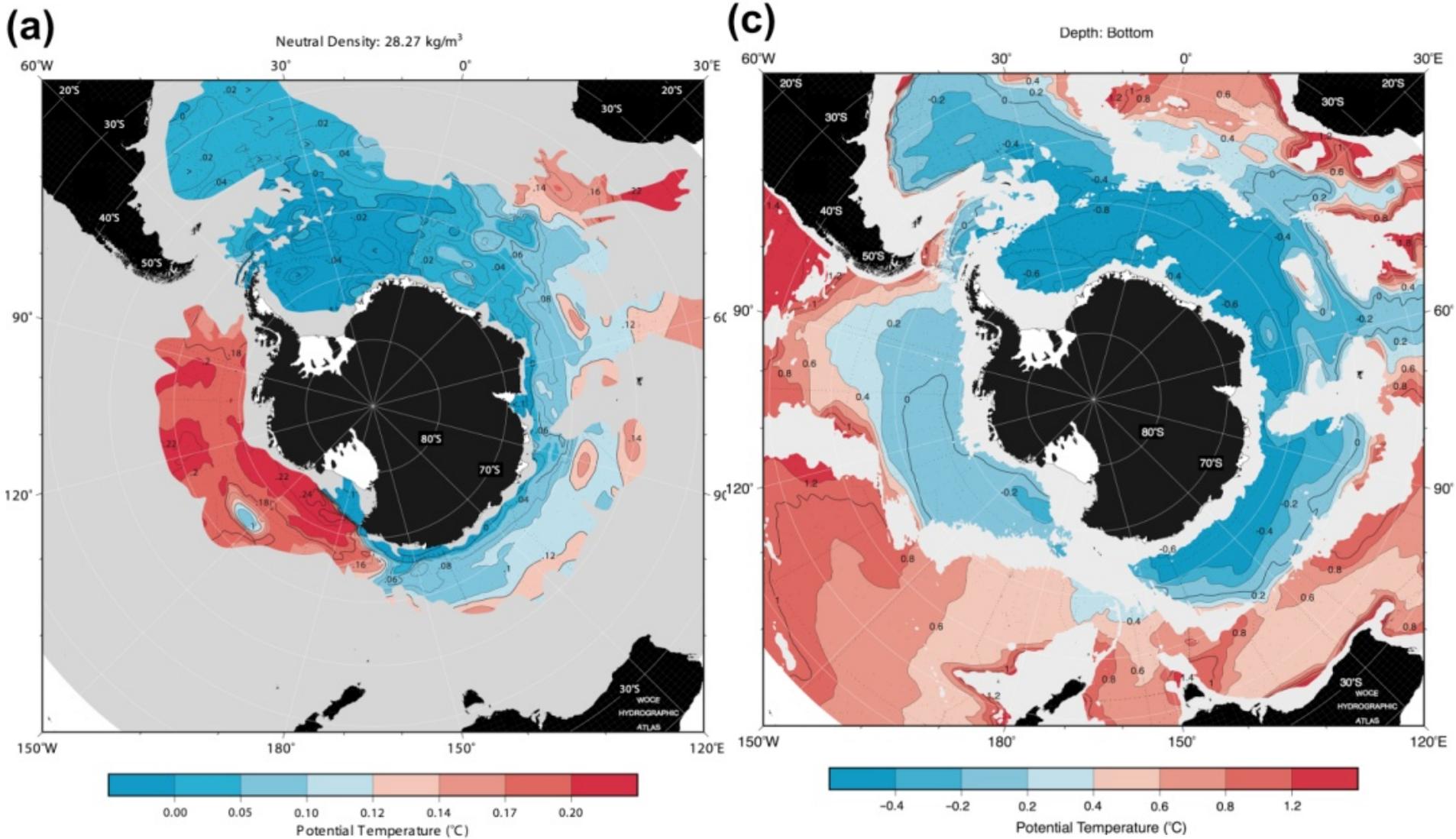
• Água Antártica de Fundo (AABW)

- É a água que no Oceano Austral é mais densa do que a CDW e mais quente que o ponto de congelamento
- A isopicnal que divide a AABW da CDW é a densidade neutra de 28,27. Esta densidade cobre não só a região do Oceano Austral como se estende pelo OA e OI

Esquema de uma seção meridional no Oceano Austral mostrando as massas de água, a circulação meridional, as frentes e a maioria das frentes. Siglas: Continental Shelf Water (CSW), Antarctic Surface Water (AASW), Subantarctic Mode Water (SAMW), Subantarctic Surface Water (SASW), Subtropical Surface Water (STSW), Antarctic Slope Front (ASF), Southern Boundary (SB), Southern ACC Front (SACCF), Polar Front (PF), Subantarctic Front (SAF) e Subtropical Front (STF). Extraído de Talley et al. (2011).

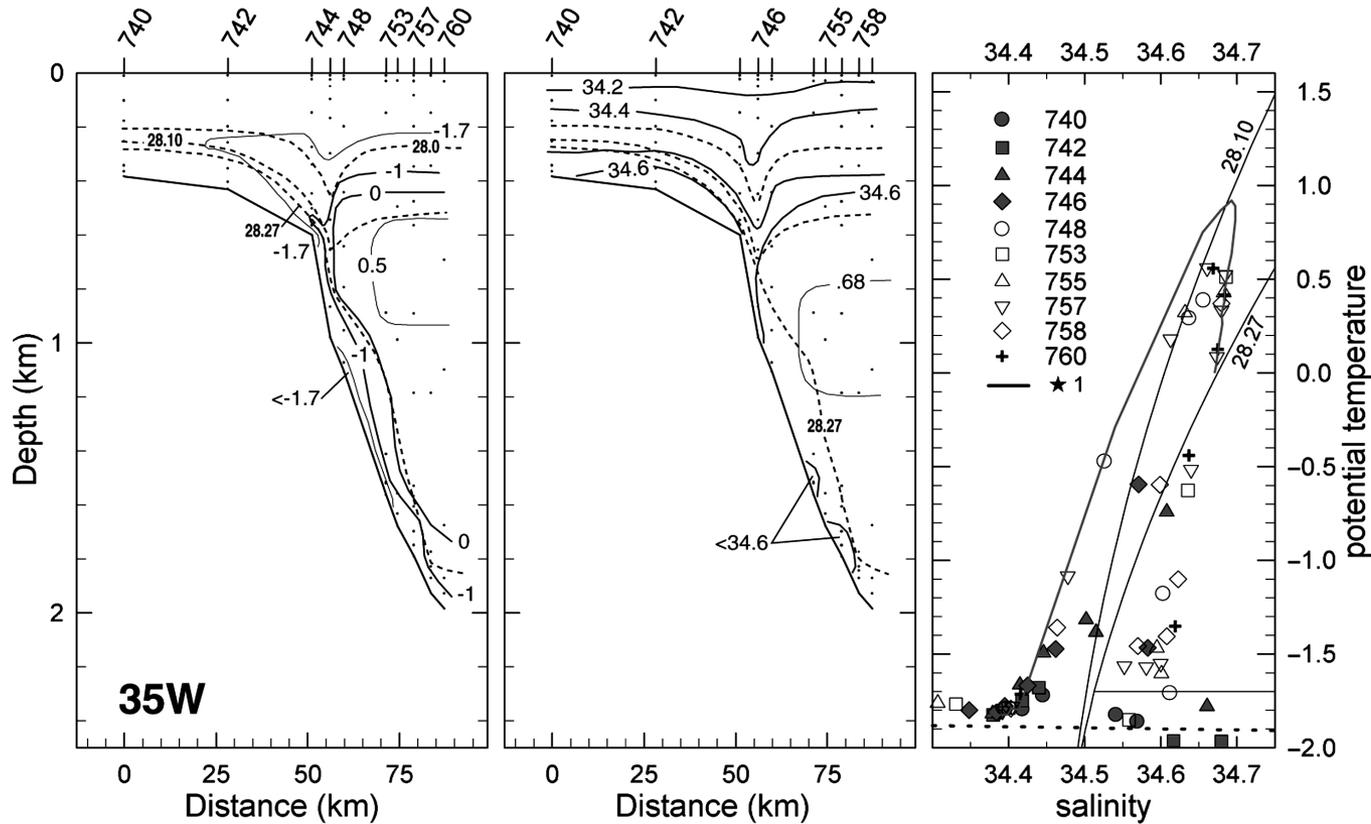


➤ A definição da AABW através de uma superfície isopical é melhor que a antiga definição da AABW com sendo as águas com $T < 0^{\circ}\text{C}$

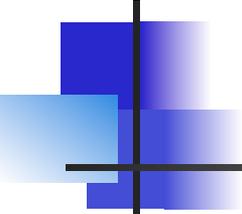


Propriedades ao longo da AABW. (a) Temperatura potencial para a densidade neutra de 28,05. (c) temperatura potencial para o fundo (profundidades maiores que 3500 m). Extraído de Talley et al. (2011).

- A AABW é formada em polínias ao longo das margens continentais do Mar de Weddell, Mar de Ross e Adélie Coast no sul da Austrália
- A AABW é uma mistura da CSW com temperaturas próximas ao ponto de congelamento e a CDW que fica offshore separada pela ASF
- A AABW formada no Mar de Weddell representa 66% do volume total



Seções verticais de temperatura potencial (esquerda) e salinidade (centro) em 35°W no oeste do Mar de Weddell. O gráfico da direita representa o diagrama temperatura potencial – salinidade. Os contornos tracejados indicam as linhas de densidade neutra. A linha tracejada do diagrama TS representa o ponto de congelamento. Extraído de Talley et al. (2011).



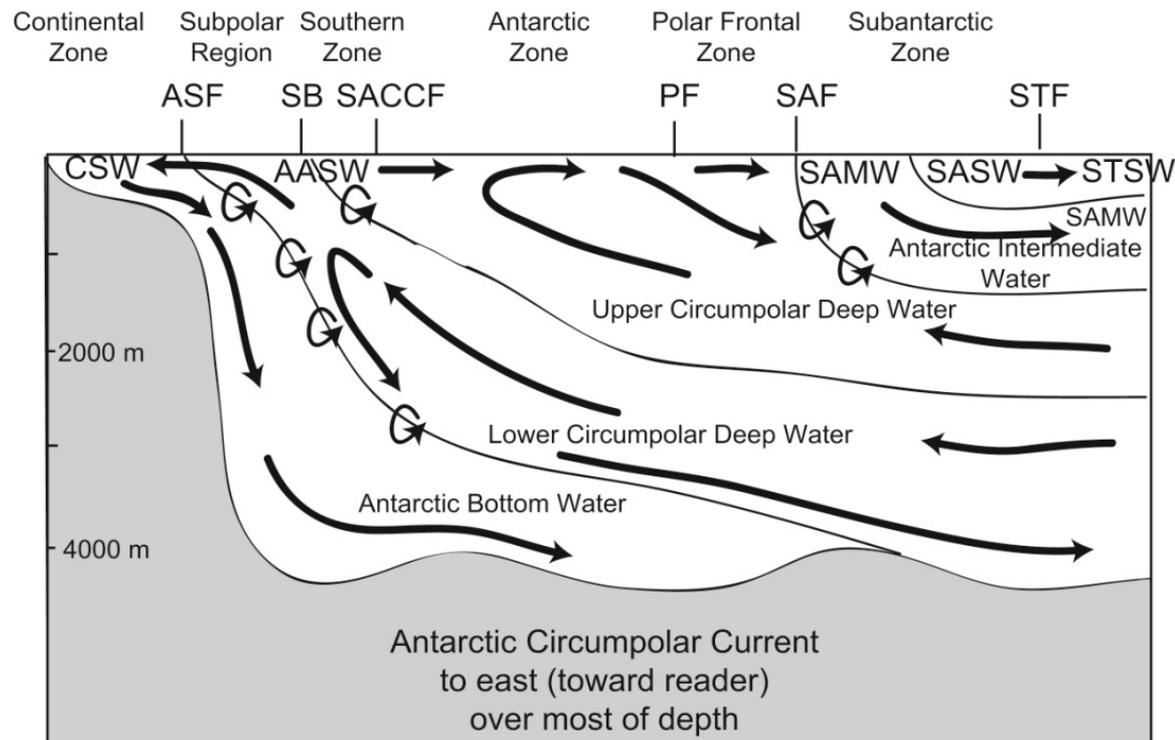
Massas de Água do Oceano Austral

- **Balço da recirculação (Overturning budgets)**
- A célula de circulação meridional do Oceano Austral pode ser analisada da seguinte forma:
 - O transporte de Ekman na camada superficial é para norte
 - UCDW e LCDW se movem para sul entrando no Oceano Austral e ressurgem
 - Ocorre perda de flutuabilidade devido ao esfriamento e ao aumento da salinidade (rejeição de salmoura) criando assim as águas mais densas da plataforma continental
 - As águas da plataforma continental se misturam com a LCDW, criando um versão modificada da CDW e a AABW. Estas águas densas movem-se para fora do Oceano Austral preenchendo as bacias oceanicas adjacentes

Massas de Água do Oceano Austral

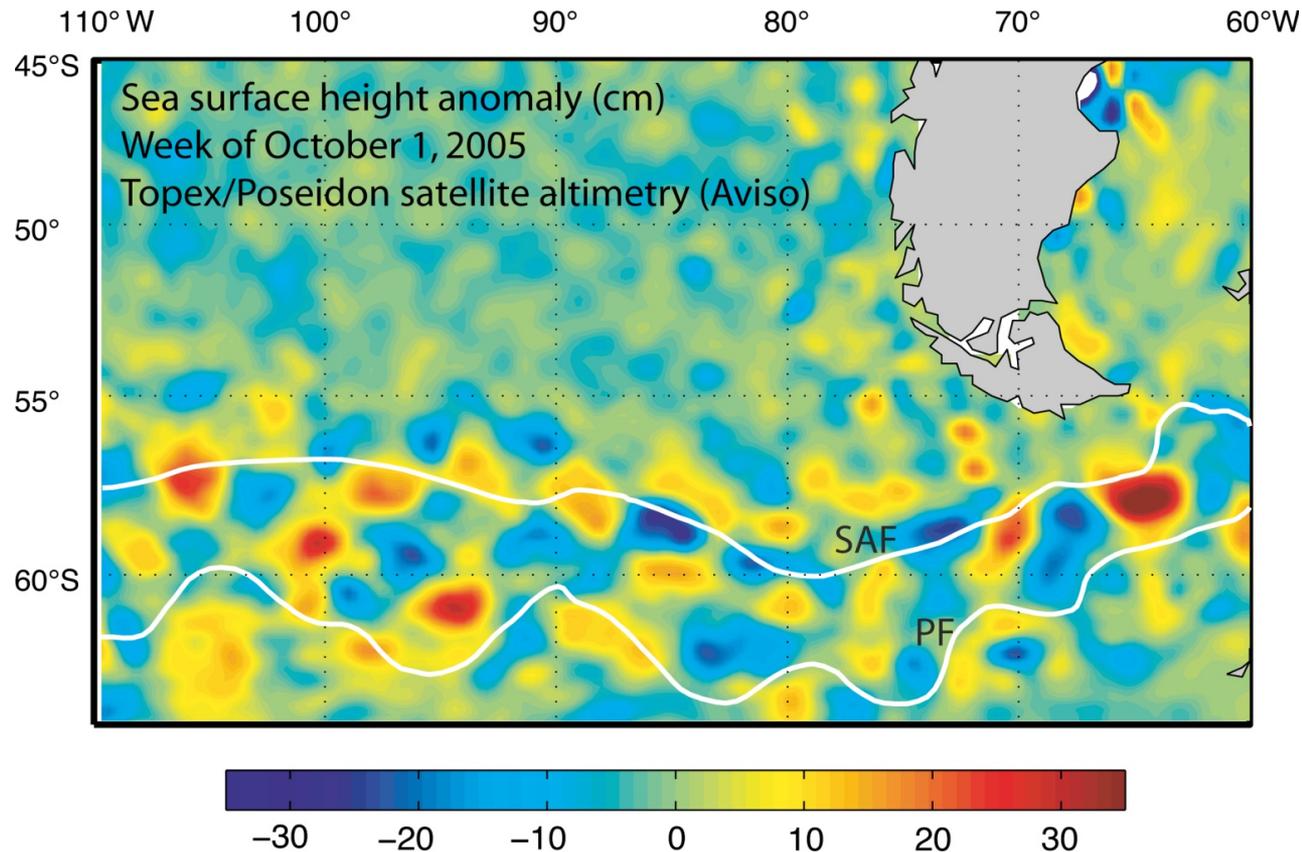
- A UCDW ganha flutuabilidade pelo acréscimo de água doce e ganho de calor
- A UCDW é incorporada a ASW e se move para norte junto com o transporte de Ekman. Este transporte é então incorporado na parte mais densa da AABW

Esquema de uma seção meridional no Oceano Austral mostrando as massas de água, a circulação meridional, as frentes e a maioria das frentes. Siglas: Continental Shelf Water (CSW), Antarctic Surface Water (AASW), Subantarctic Mode Water (SAMW), Subantarctic Surface Water (SASW), Subtropical Surface Water (STSW), Antarctic Slope Front (ASF), Southern Boundary (SB), Southern ACC Front (SACCF), Polar Front (PF), Subantarctic Front (SAF) e Subtropical Front (STF). Extraído de Talley et al. (2011).



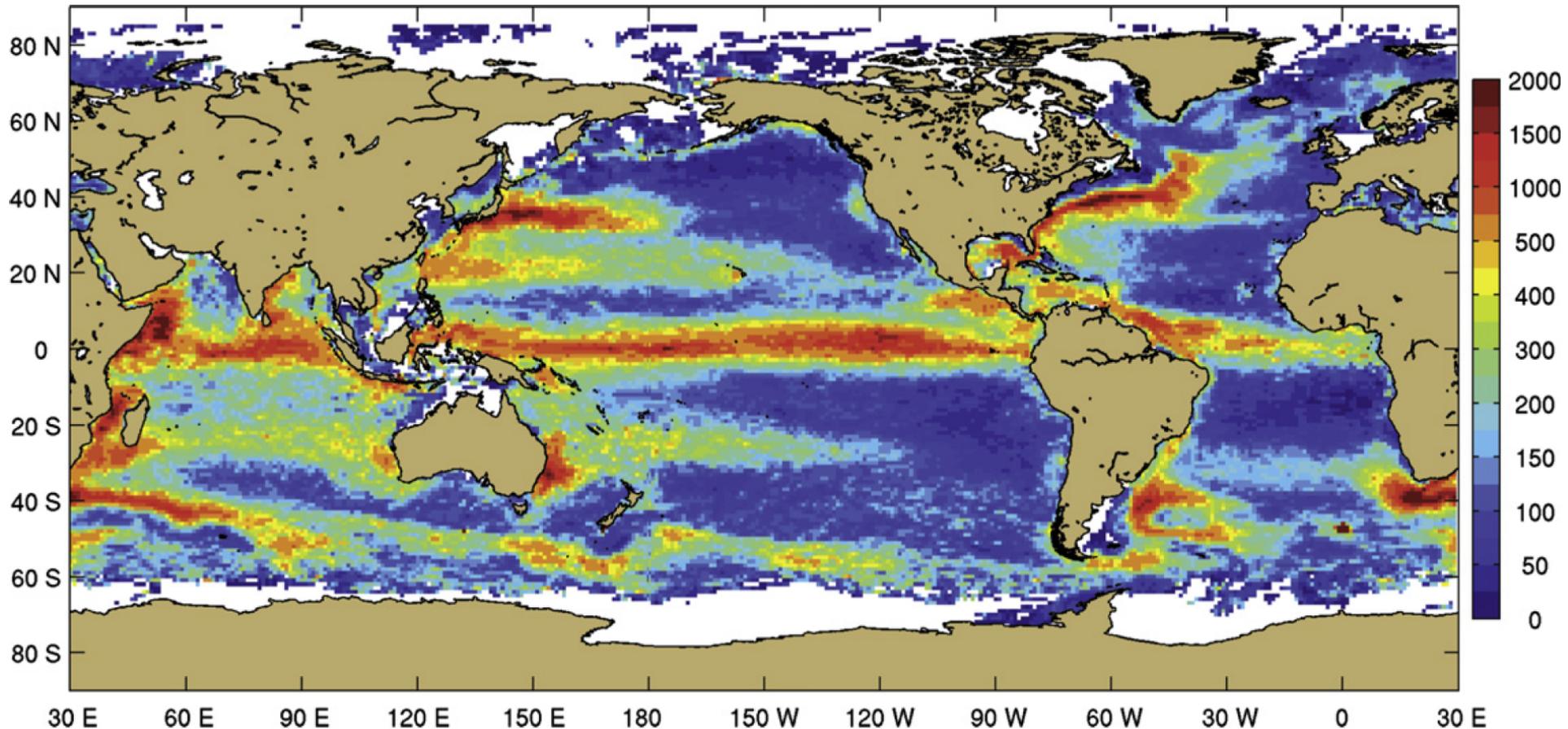
Vórtices no Oceano Austral

- A maioria da variabilidade turbulenta da ACC acontece na meso-escala, em escalas de tempo e espaço de 1 mês e 90 km

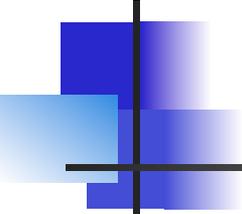


Snapshot dos vórtices no sudeste do OP e na Passagem de Drake: anomalia da altura da superfície do mar (cm) para a semana de 1 de outubro de 2005 com base no altímetro do TOPEX/POSEIDON. As linhas representam a climatologia da SAF e PF. Extraído de Talley et al. (2011).

Vórtices no Oceano Austral

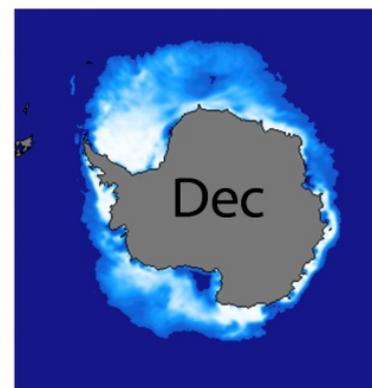
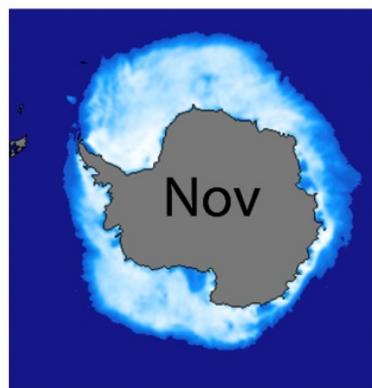
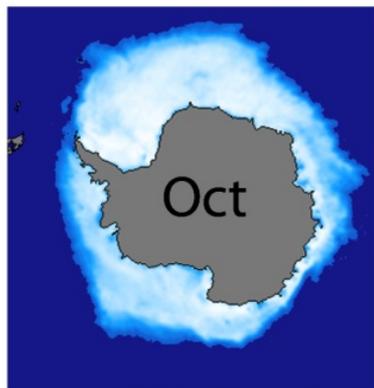
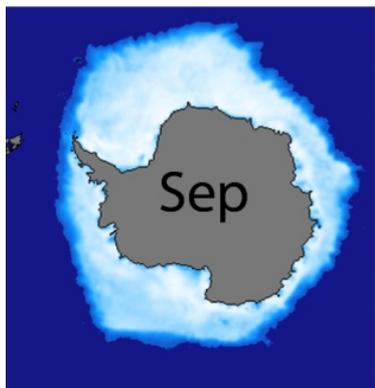
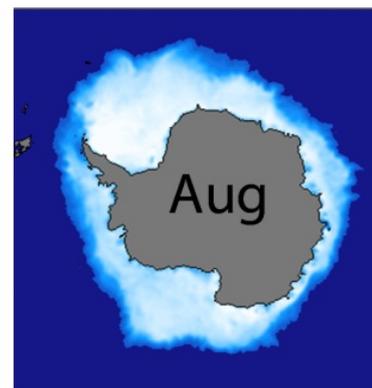
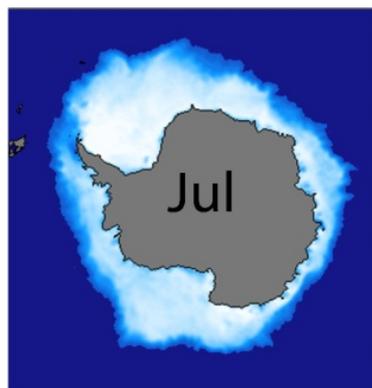
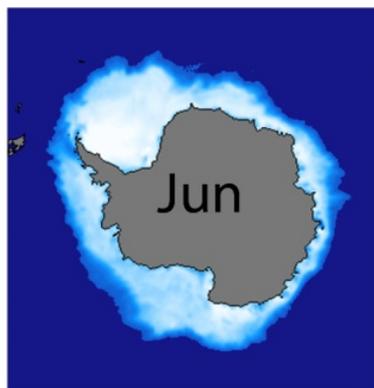
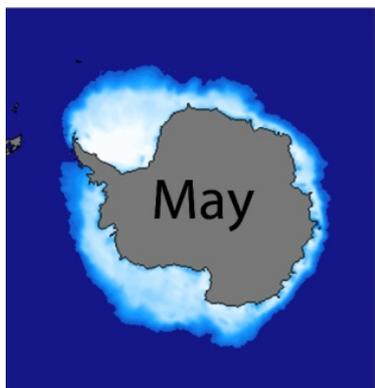
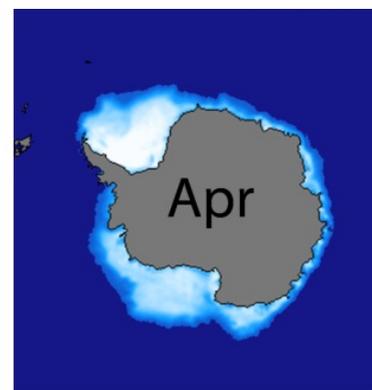
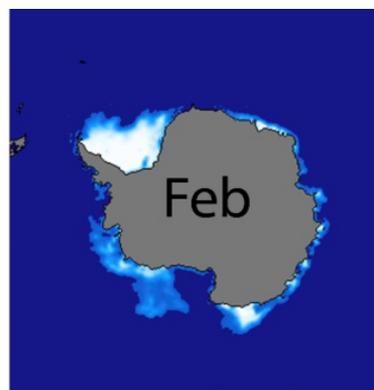
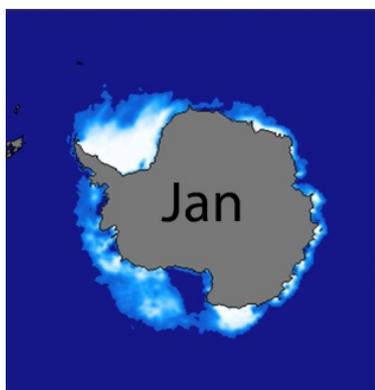


Energia cinética turbulenta ($\text{cm}^2 \text{s}^{-2}$) de derivadores de superfície. Extraído de Talley et al. (2011).

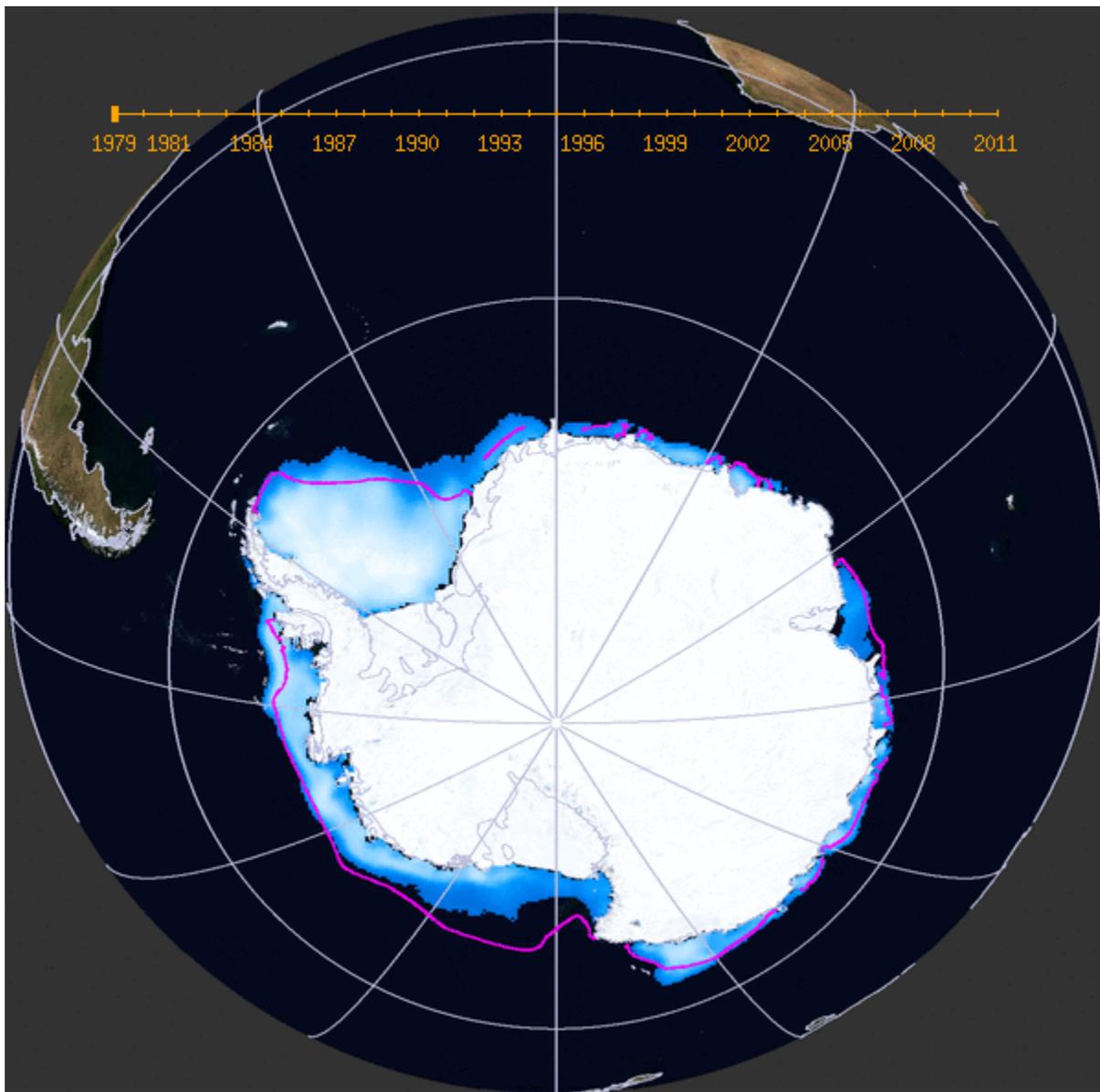


Gelo Marinho no Oceano Austral

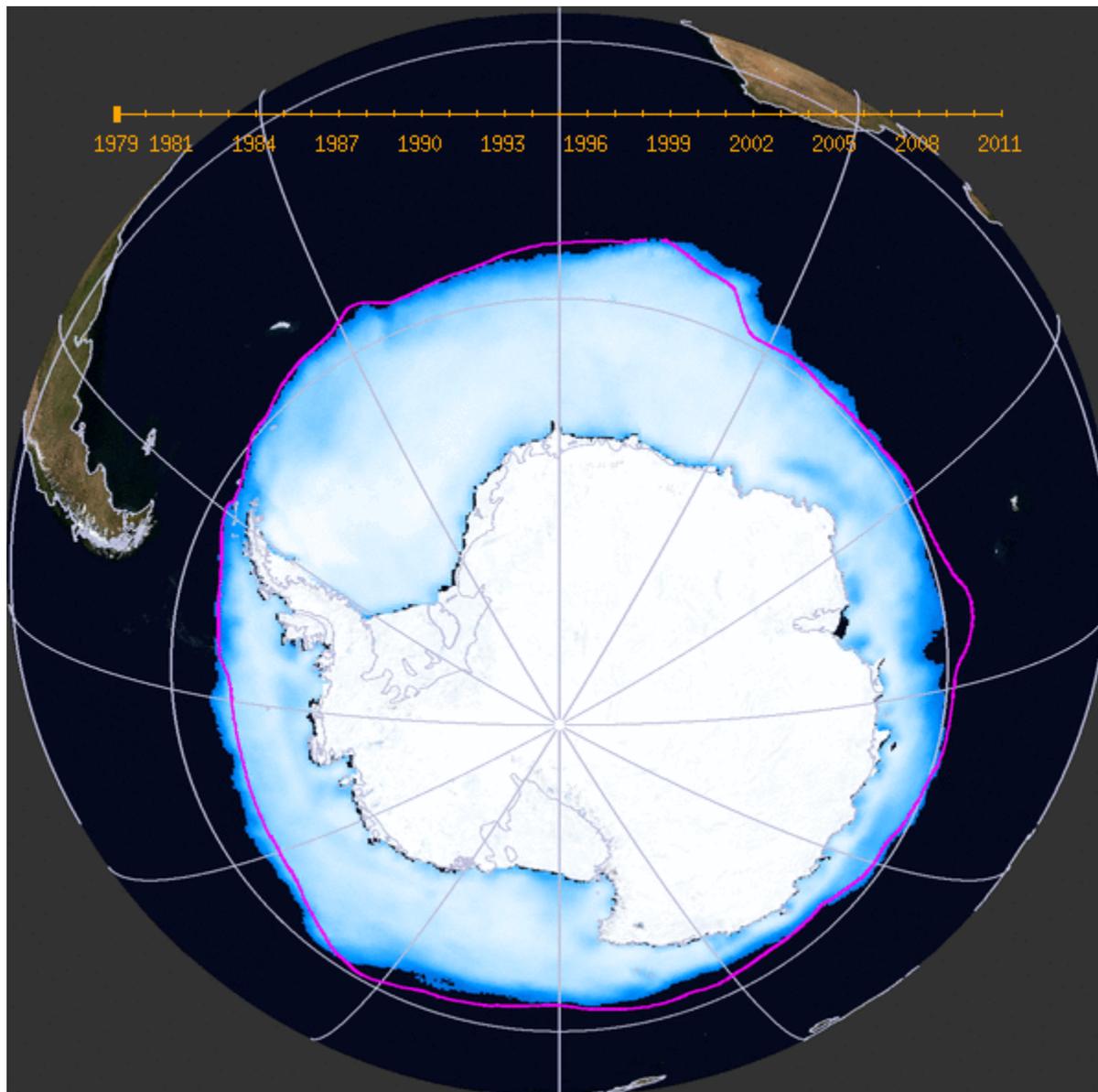
- **Cobertura de gelo marinho**
- O gelo marinho no Oceano Austral tem um enorme impacto no albedo do HS e nas propriedades da água, incluindo a formação de águas profundas e de fundo
 - A cobertura de gelo atinge uma área enorme quando ocorre o máximo de extensão (final do inverno), mas ao contrário do que acontece no Oceano Ártico, quase todo o gelo é perdido a cada ano
 - Sendo assim, a maioria do gelo na Antártica é o gelo do primeiro ano
 - No inverno, o gelo em bloco se estende até 60-65°S e icebergs podem ser encontrados entre 40-50°S



Progressão anual da concentração de gelo marinho em 1991 com base no sensor SSM/I. Extraído de Talley et al. (2011).

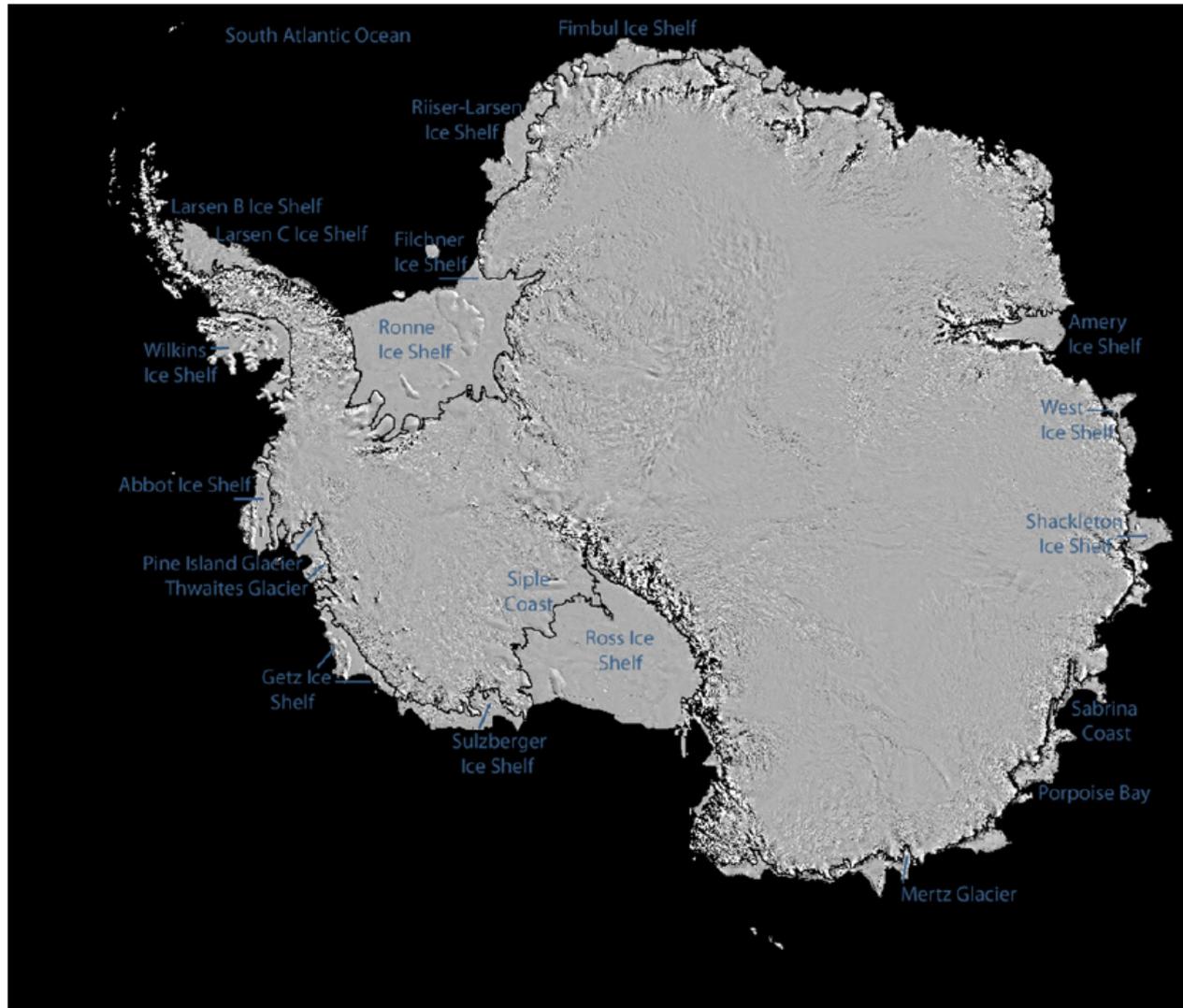


Variação da extensão da cobertura de gelo na região Antártica durante o mês de março (mês de cobertura mínima) entre 1979-2011. National Snow and Ice Data Center, University of Colorado, Boulder. <http://nsidc.org/sotc/>



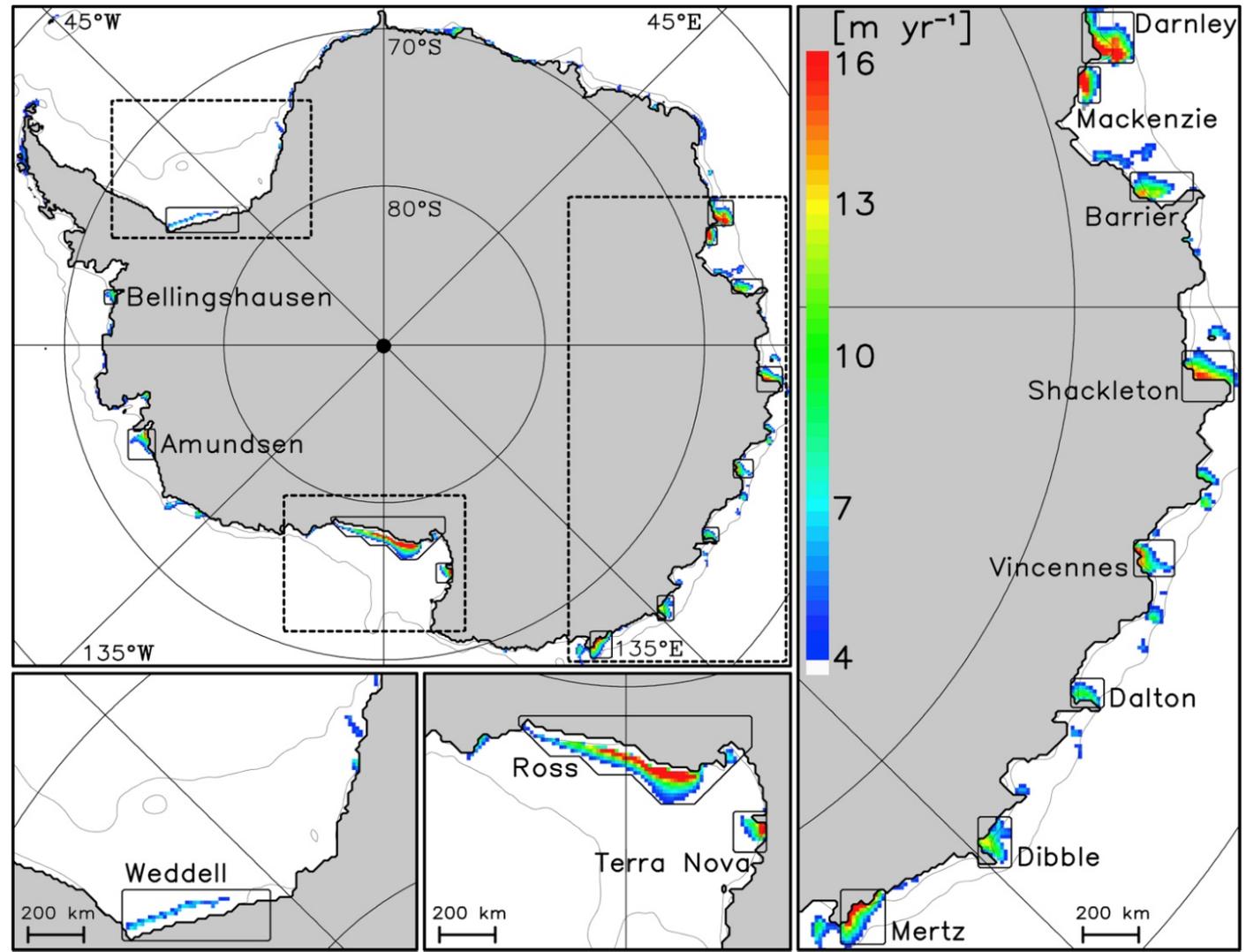
Variação da extensão da cobertura de gelo na região Antártica durante o mês de setembro (mês de cobertura máxima) entre 1979-2011. National Snow and Ice Data Center, University of Colorado, Boulder. <http://nsidc.org/sotc/>

➤ As plataformas de gelo na Antártica podem atingir alturas entre 35 – 90 m acima do mar, como no caso da plataforma de gelo Ross, se estendendo até 700 km no OP. A plataforma de gelo é uma extensão do glaciário do continente Antártico que avança pelo mar até ser quebrada



Plataformas de gelo antárticas que são monitoradas por satélite. Extraído de Talley et al. (2011).

➤ A produção de gelo marinho é maior em polínias de calor latente e um mapa destas polínias é um bom indicador da formação de massas de água profundas, apesar desta relação não ser uma relação direta (um para um).

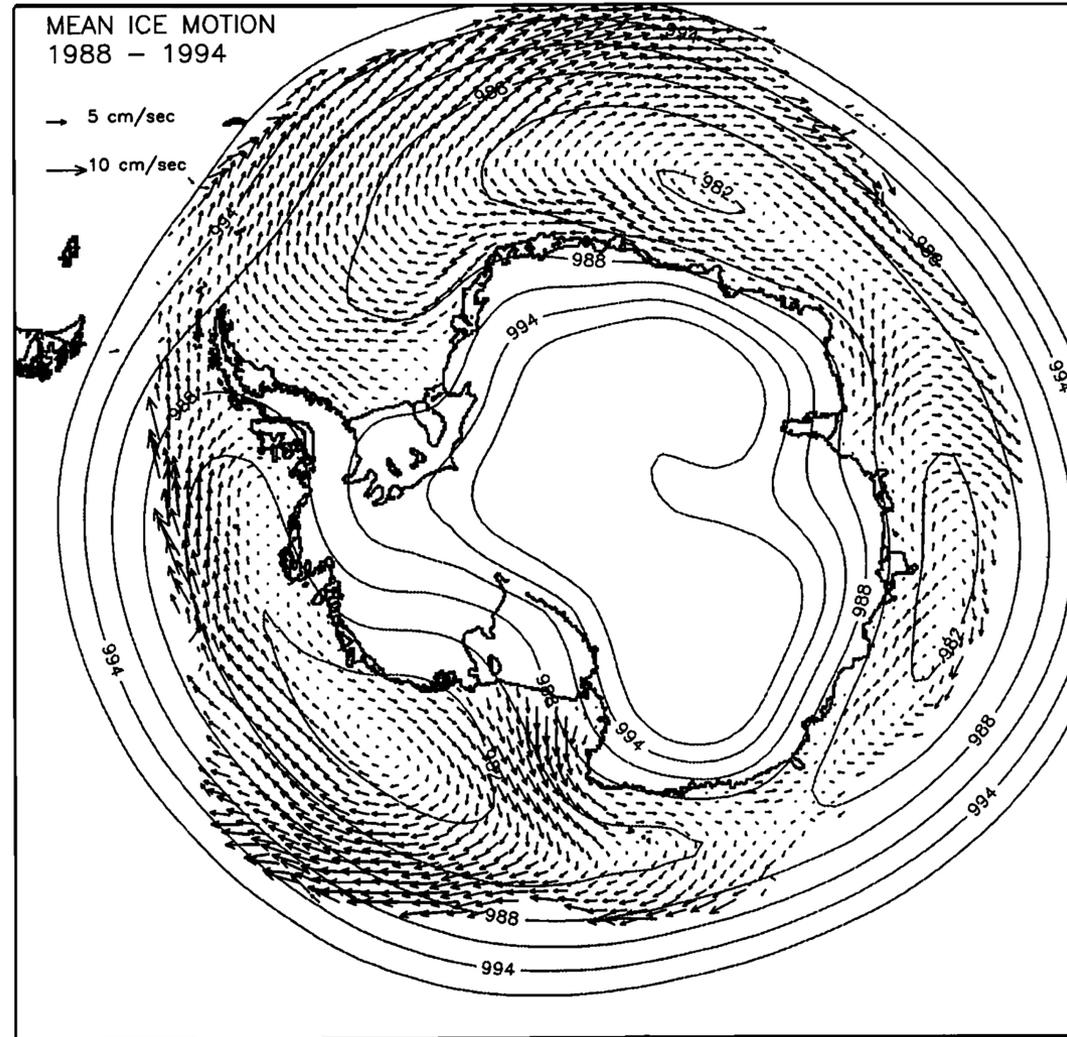


Polínias de calor latente na Antártica: produção de gelo marinho, média entre 1992-2001. Extraído de Talley et al. (2011).

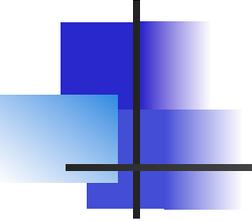
- **Movimento do gelo Marinho**

- A movimentação do gelo no Oceano Austral está relacionada aos ventos e, de uma forma menos importante, a circulação

- A deriva de gelo é geralmente para oeste (próximo ao continente) e para leste na região da ACC. Movimentos em direção ao norte ocorrem em amplas regiões no Mar de Ross e Weddell



Movimento médio do gelo entre 1988-1994 com a pressão atmosférica média sobreposta. Extraído de Talley et al. (2011).



Referências Bibliográficas

Talley et al (2011). *Southern Ocean*. In *Descriptive Physical Oceanography: an introduction*, pp. 437-471.

Talley et al (2011). *Southern Ocean*. In *Supplementary Materials*, pp. 1-4.