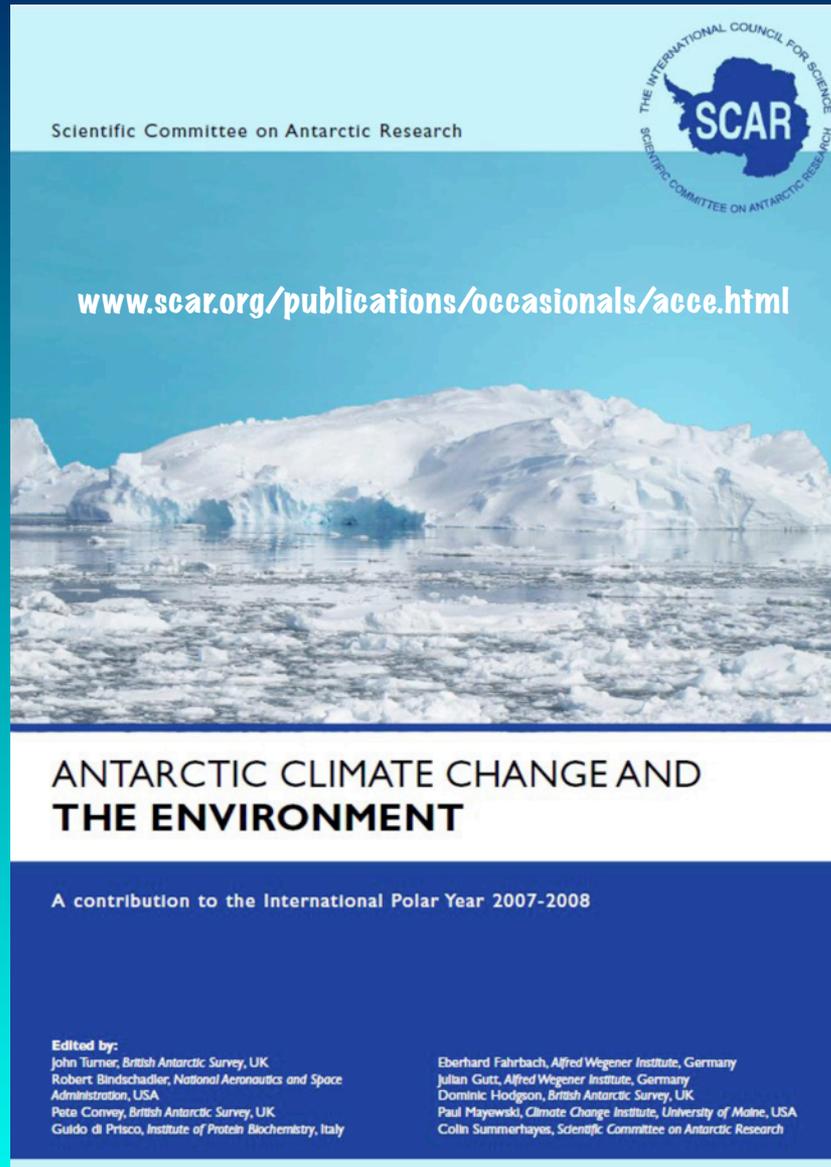


# Antartica - Oceanos e Câmbio Climático



**Como é o funcionamento do sistema Antártico?**

**Como as mudanças climáticas afetam o ecossistema Antártico?**

**Qual o papel dos GHG e do O<sub>3</sub>?**

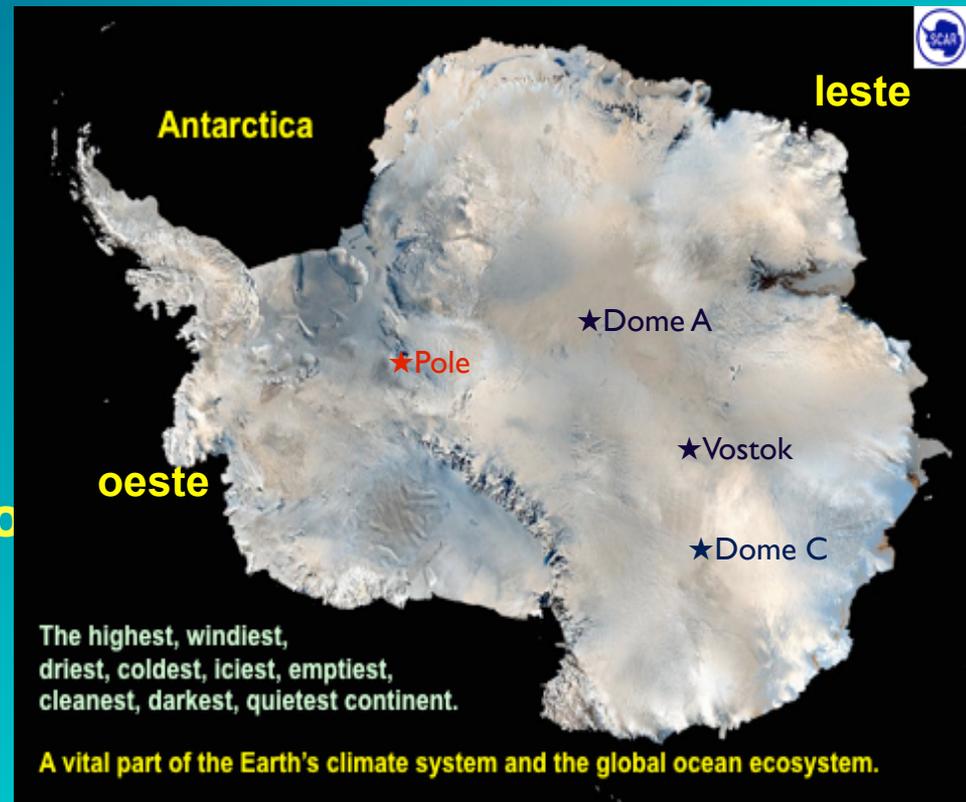
**O gelo-marinho na Antártica está derretendo na mesma taxa que o Ártico?**

**O continente está aumentando ou diminuindo?**

**O que vai acontecer nos próximos 100 anos, quando o globo aumenta a temperatura?**

**Por que devemos nos importar?**

## Algumas perguntas



**O que vamos ver agora:**

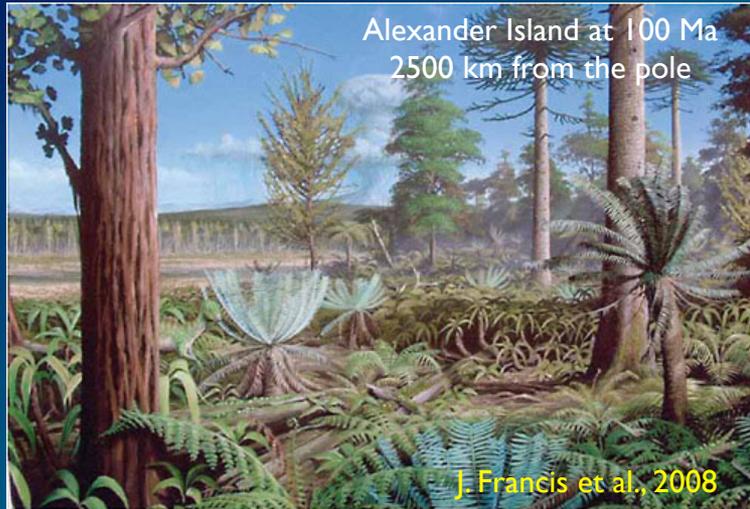
**o passado (testemunhos de gelo)**

**o presente (período instrumental - desde  
o IGY (1957/58))**

**o futuro (os próximos 90 anos)**

# O Passado

# Evolução do Clima Continental

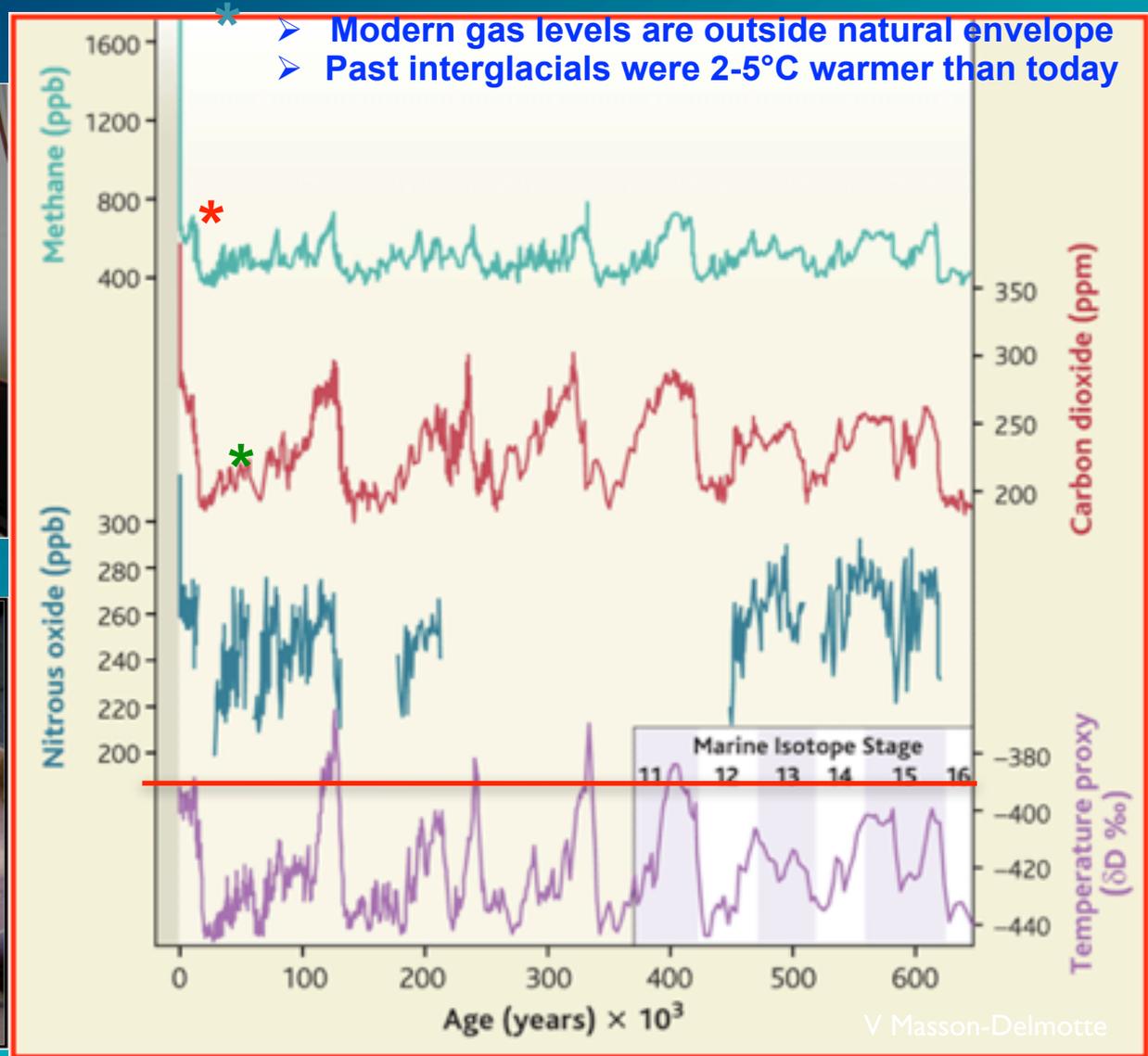
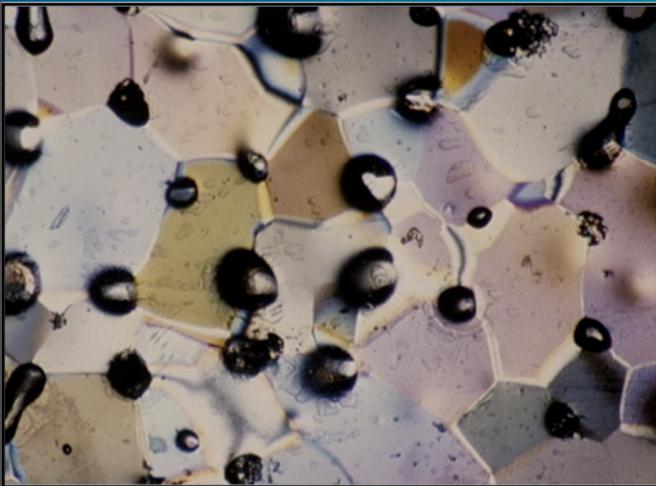


**Nothofagus** (southern beech) 2-3 month growth season at 4-5°C in S Chile.



# Clima vindo dos testemunhos de gelo

Dome C EPICA ice core

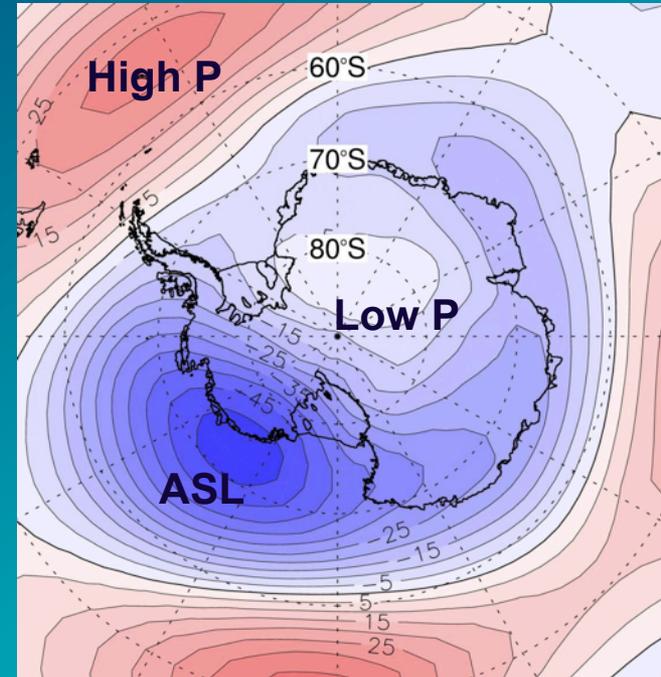


***nível do mar durante os interglaciais era ~ 6.6-9.4m mais alto do que hoje  
Portanto o gelo pode ter tido maior impacto! (Nature 17 December 2009)***

**0 Presente**

# O papel dos ventos

- existe um gradiente de Pressão e Temperatura dos trópicos até a Antárctica
- esse gradiente cria ALTA P em lats medias e baixa pressão no polo.
- ventos se deslocam ao longo das isóbaras
- os ventos são responsáveis pelo vortex polar que vai da superfície até a estratosfera;
- Essa barreira de ventos mantém o ar quente longe do continente.



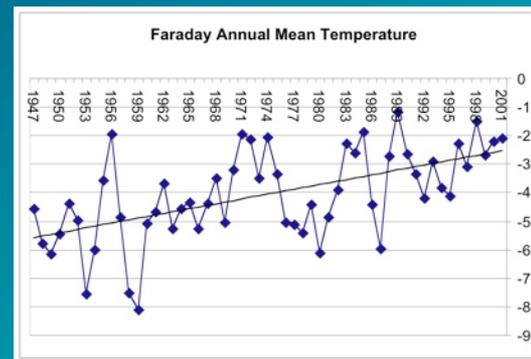
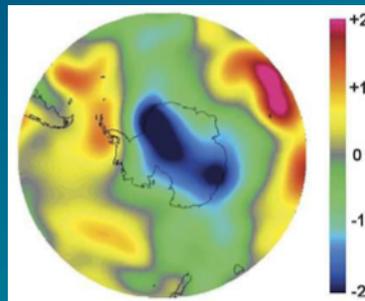
\*Amundsen Sea Low (ASL) existe porque o continente esta deslocado do centro.

\*Essa circulação local é responsável pelas respostas diferentes dos lado Leste e Oeste da Antártica ao aquecimento global.

J Turner and others

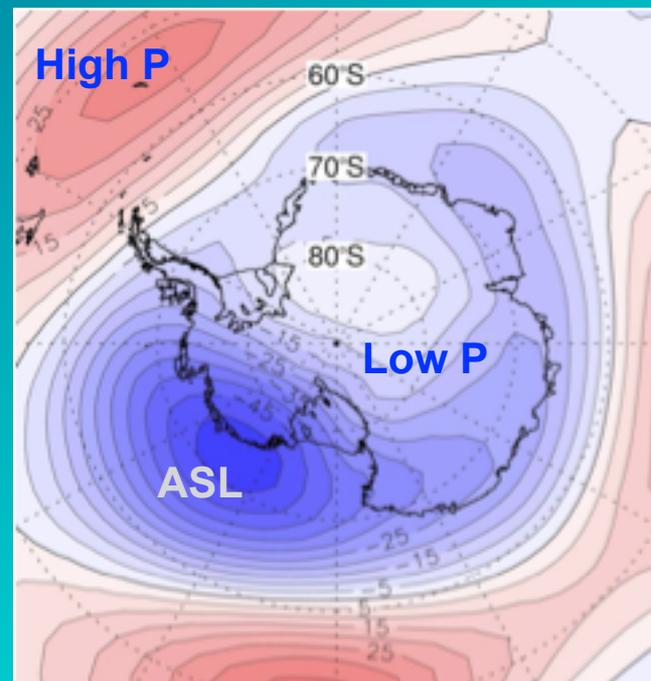
# O continente esfria enquanto a península esquenta

diff na temp annual °C  
(1969-2000)

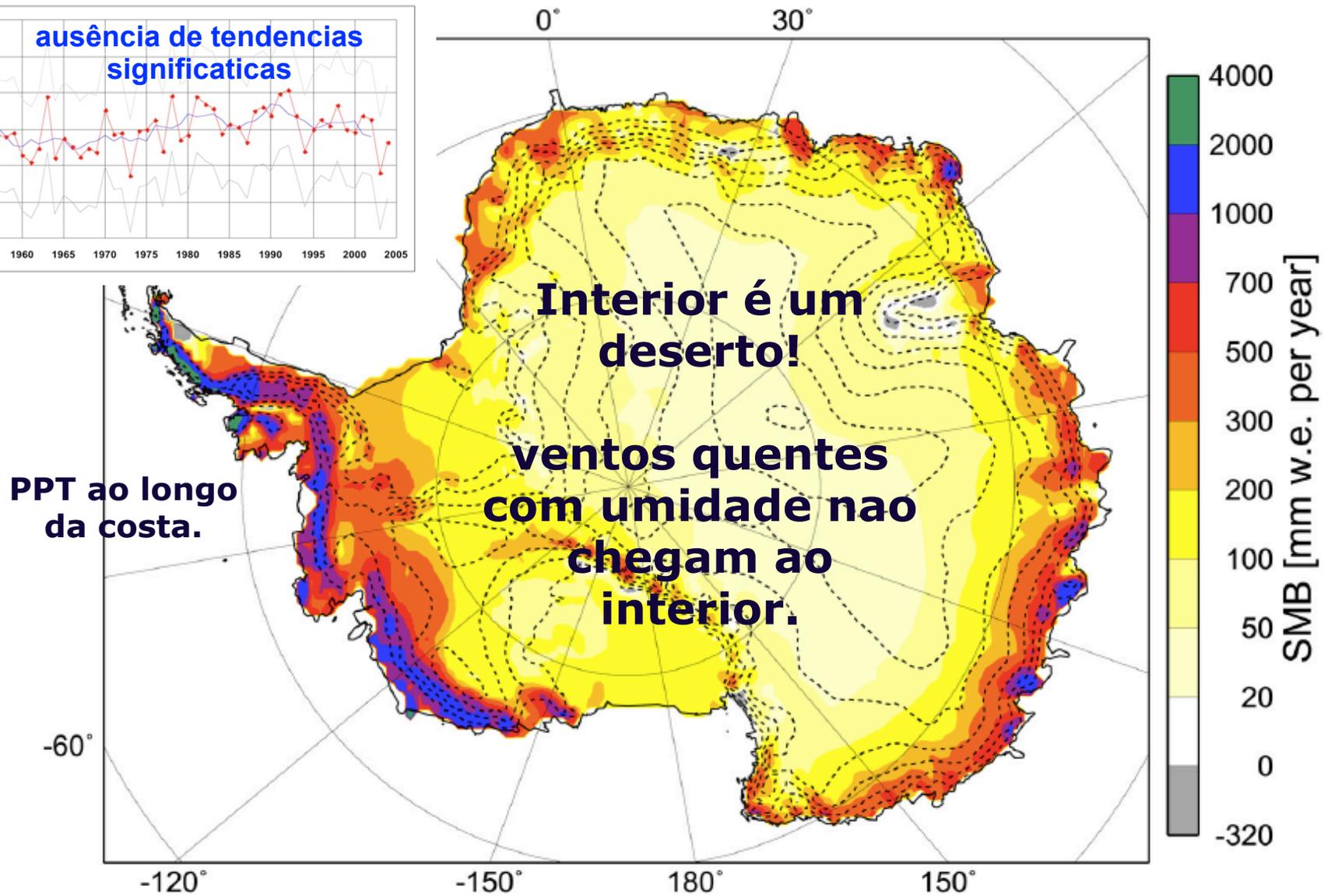


No oeste da península: ar quente é trazido do norte pela "baixa pressão" do mar de Amundsen (ASL)

Aumento de 0.53°C/década desde 1950. (1.03°C/década no inverno)



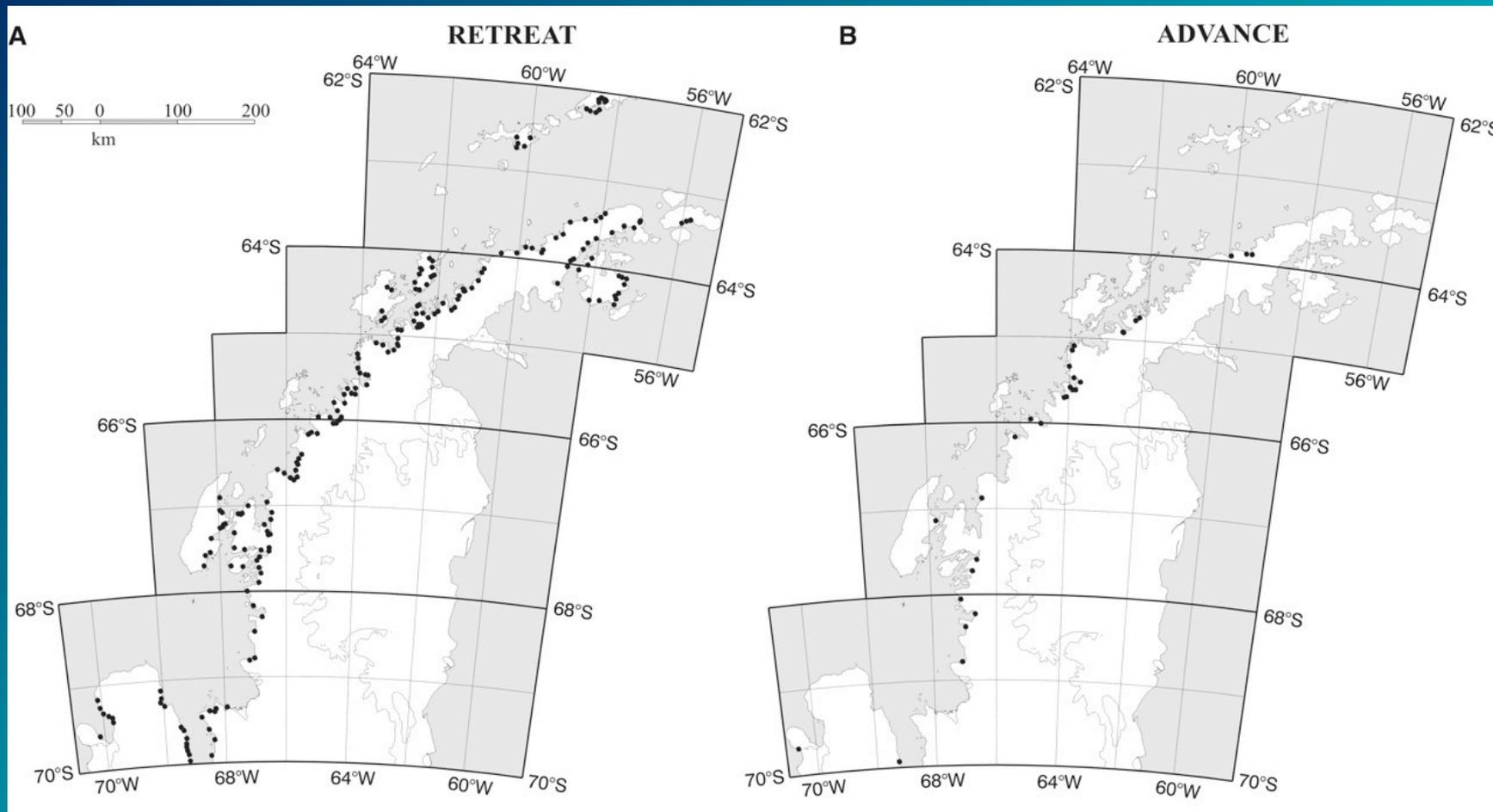
# Interior é um deserto (umidade)



From papers by Monaghan, and by Van de Berg et al., 2006

# Resposta da Antártica ao aquecimento e maior umidade

244 glaciérs : 87% tem diminuído nos últimos 50 anos



Cooke et al., 2005

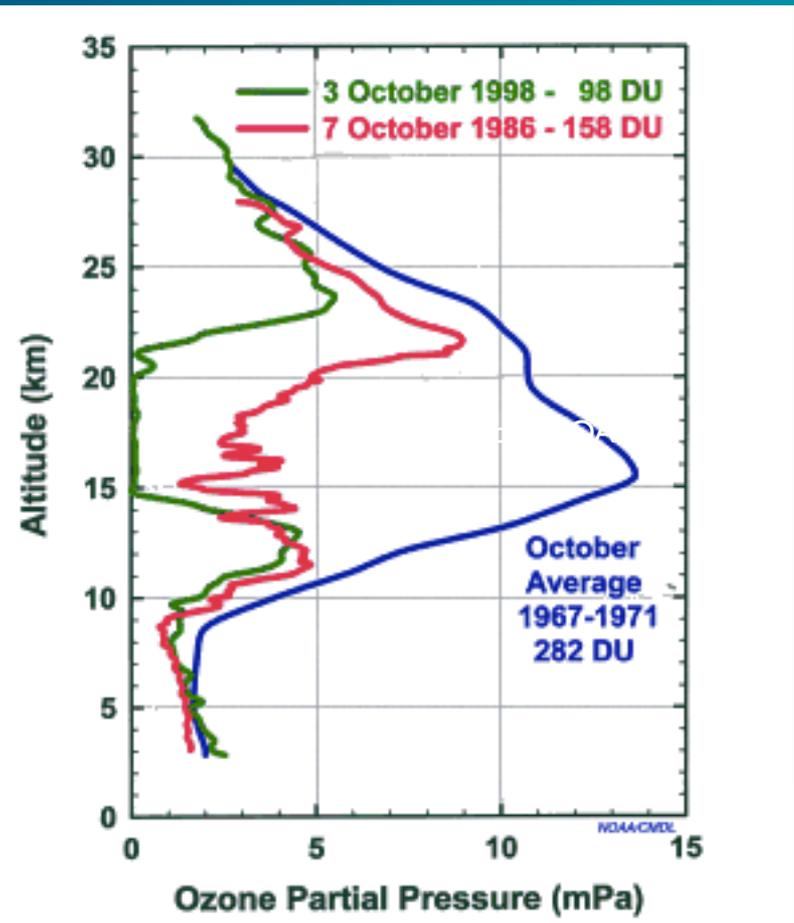
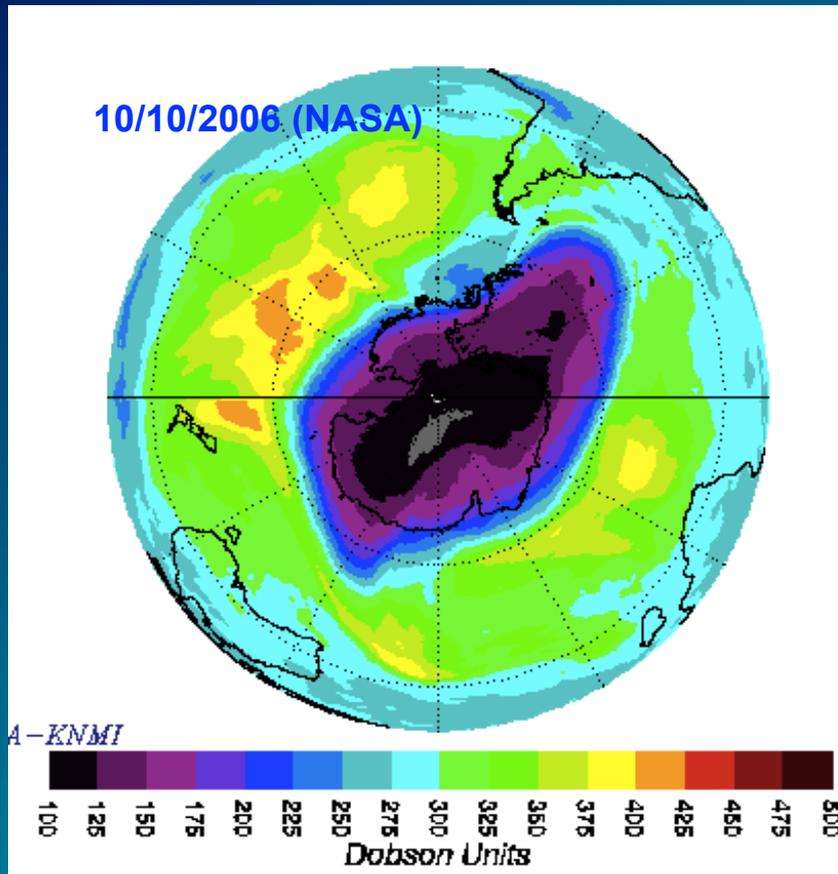
**Aquecimento  
Resfriamento**

**Causas?**

**Gases do Efeito Estufa?**

**O buraco de O<sub>3</sub>?**

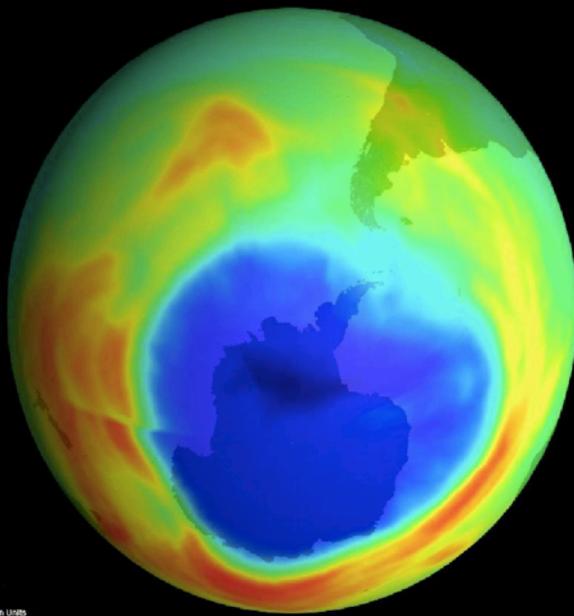
# O buraco de ozônio



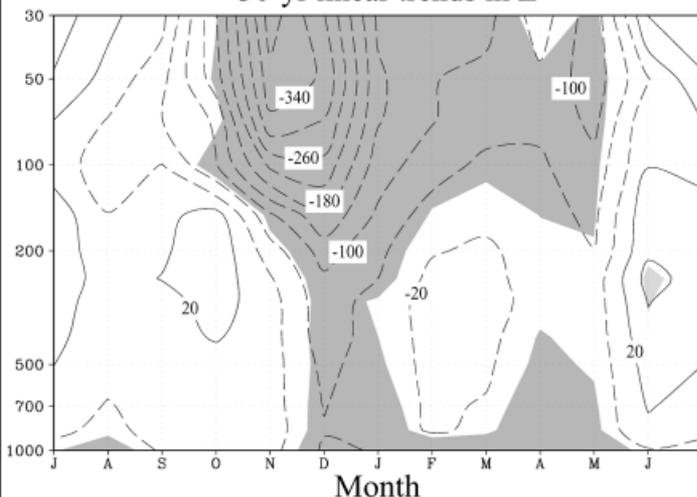
- o vortex polar (ventos circumpolares de oeste) limita o buraco de  $O_3$
- ventos mais fortes no inverno qdo as temperaturas são muito frias
- Ha formação de núvens de gelo (aceleram a quebra de CFC liberando  $Cl^-$ )
- Na primavera, com o calor ,  $Cl^- + O_3 \rightarrow ClO + O_2$ ;
- A ausência de  $O_3$  (que é um gas estufa) resfria a temperatura em  $15^\circ C$ ;
- perda de ozônio desde 1980 intensifica o vortex polar em 15 %.

# Os ventos intensificados pelo buraco de O<sub>3</sub> estão isolando a Antártica

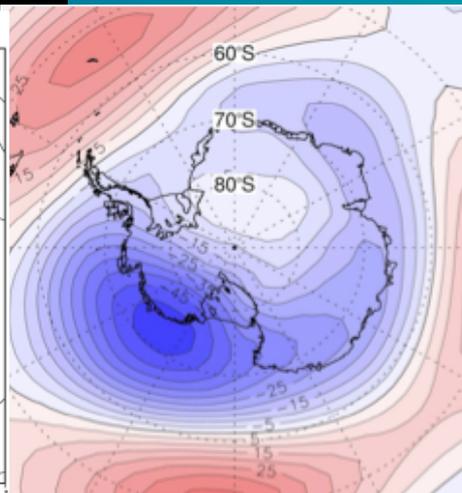
Os ventos intensificam até a superfície e conseguem penetrar no interior do continente I



30-yr linear trends in Z

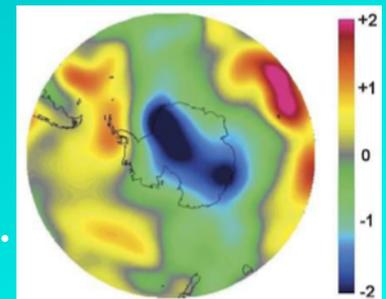
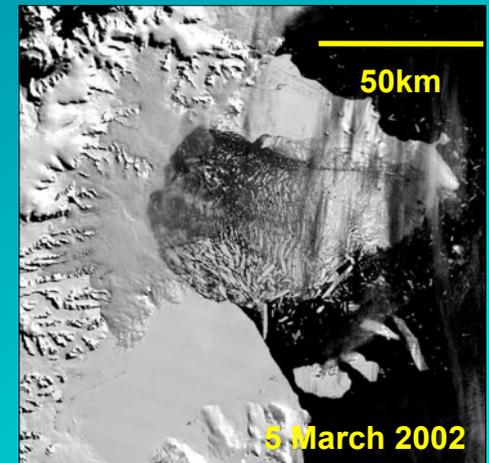


Z = anomalia da altura de geopotencial



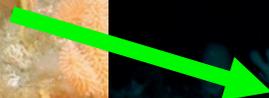
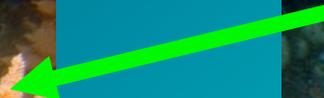
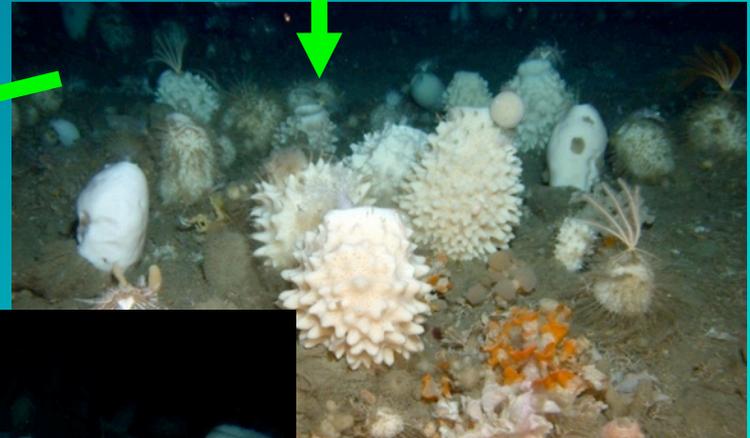
**Aumento dos ventos mantém a Antártica fria**

Diff temp média anual.  
°C 1969-2000



# Ecosistema bentônico

Presente = Colonização do espaço da Larsen B



no futuro, os organismos

**Adaptação**

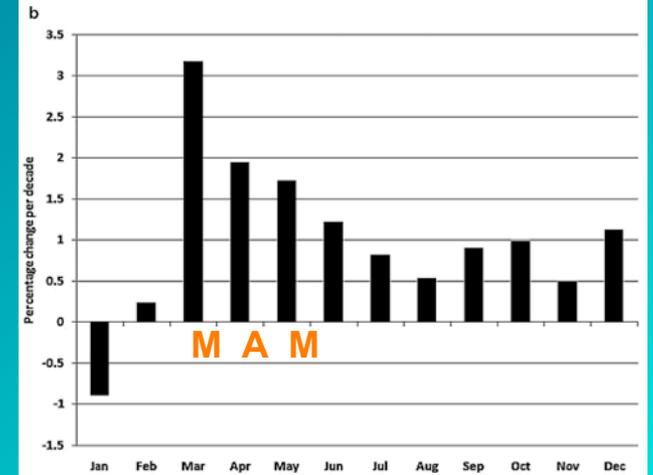
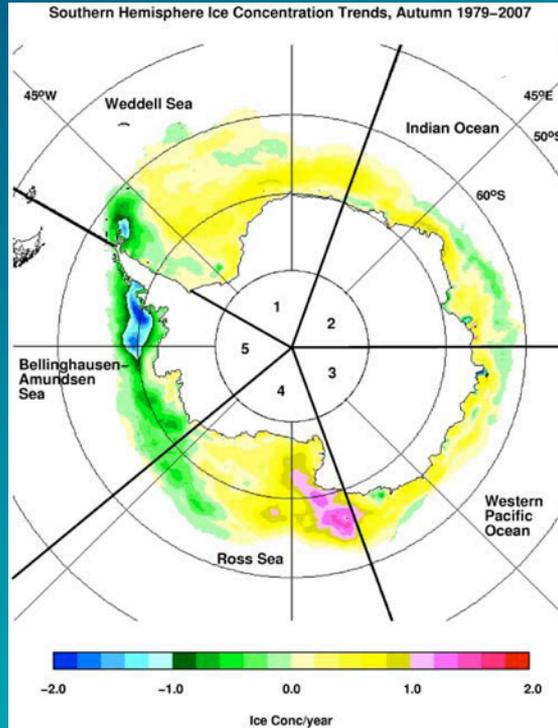
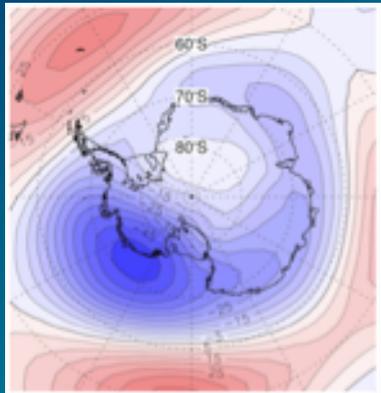
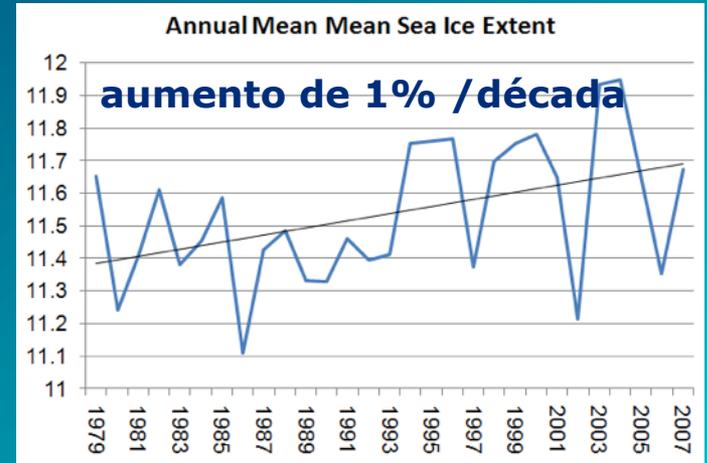
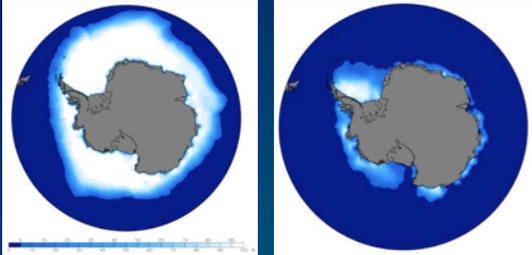
**Evolução**

**Migração**

**Extinção**

J. Gutt, AWI

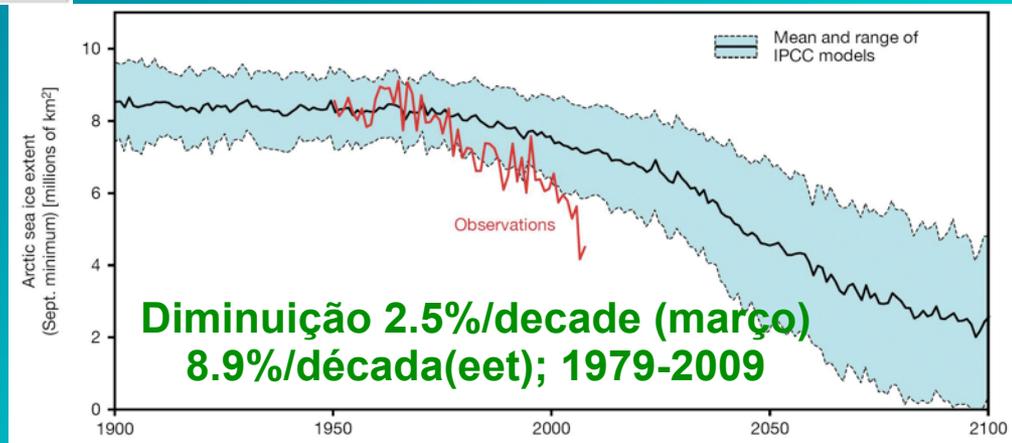
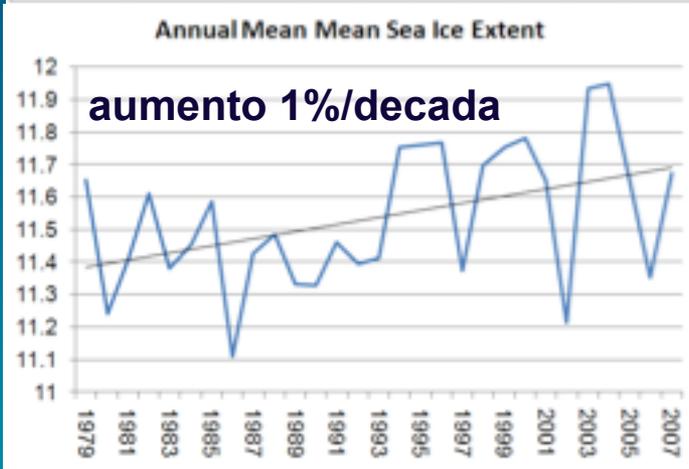
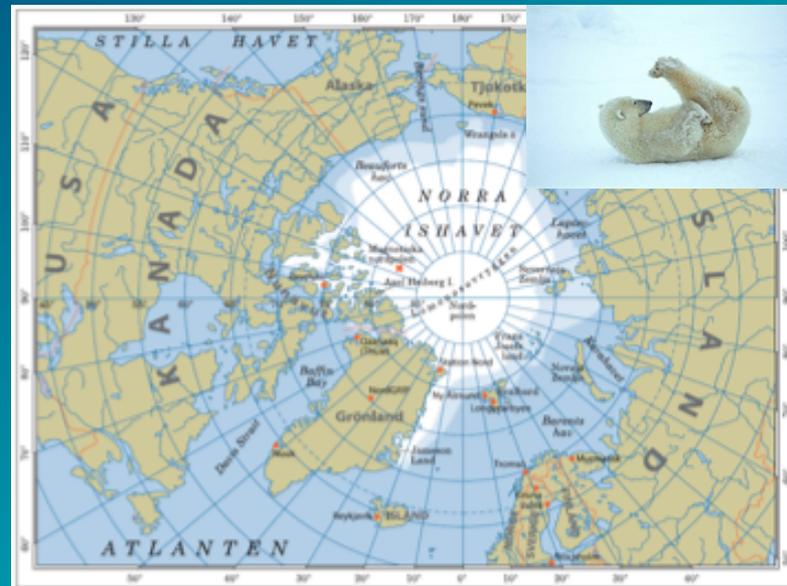
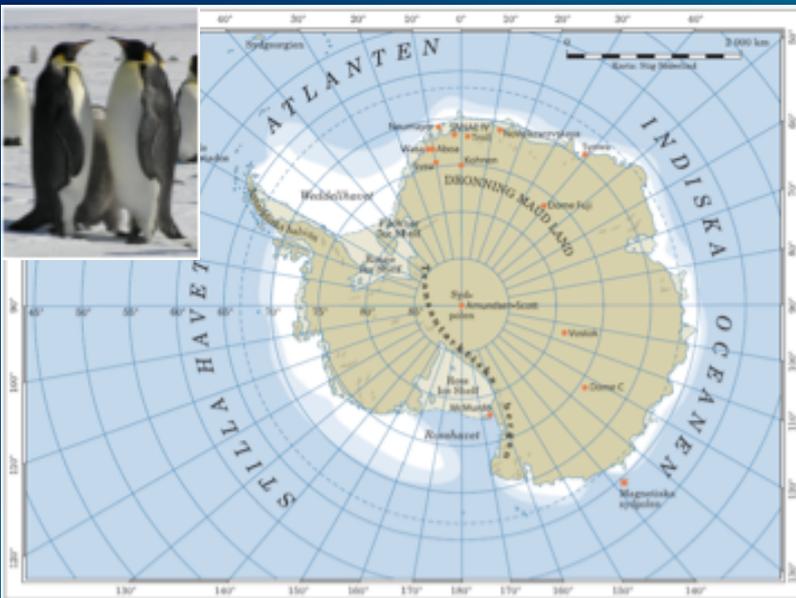
# O buraco de O3 afeta o gelo marinho



**extensão de gelo % variação por década**

**ASL é importante para o gelo marinho no outono  
buraco de O<sub>3</sub> aumenta os ventos e mantém o continente isolado**

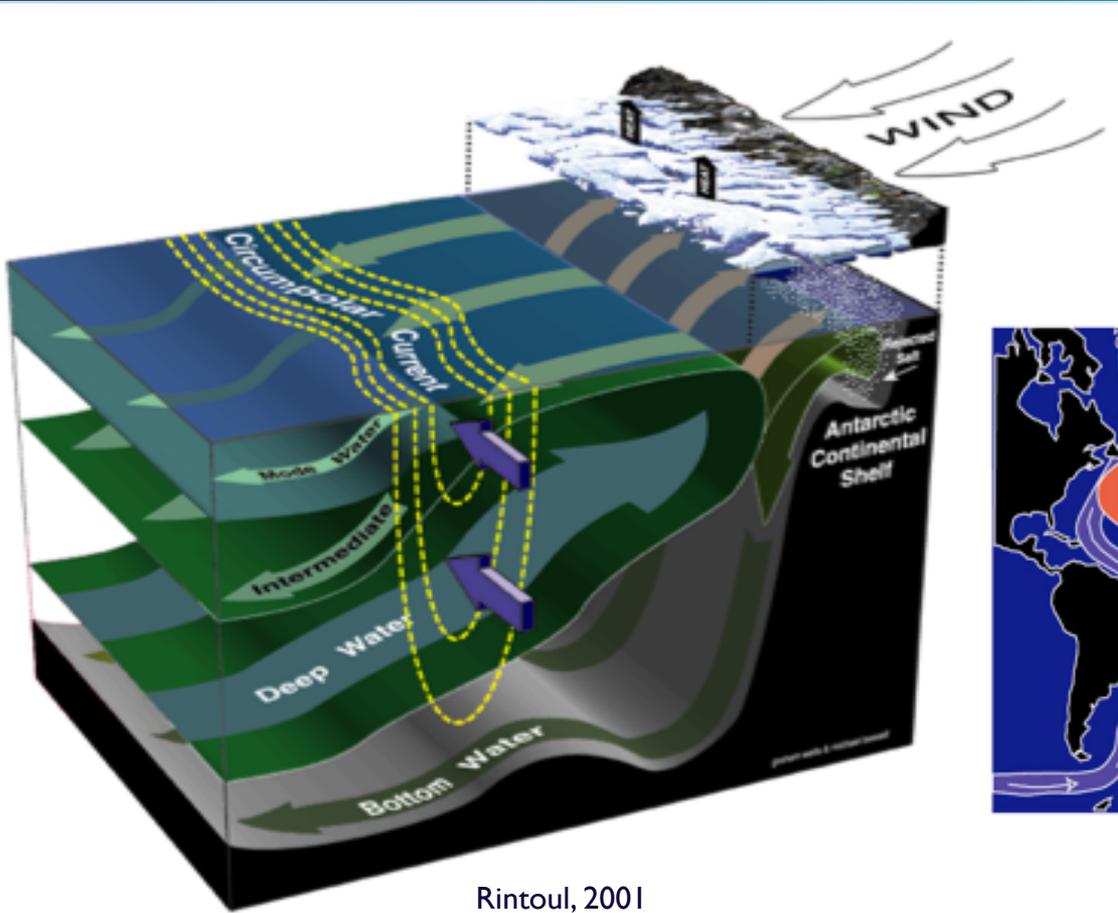
# Antarctica e Artico, muito diferentes!



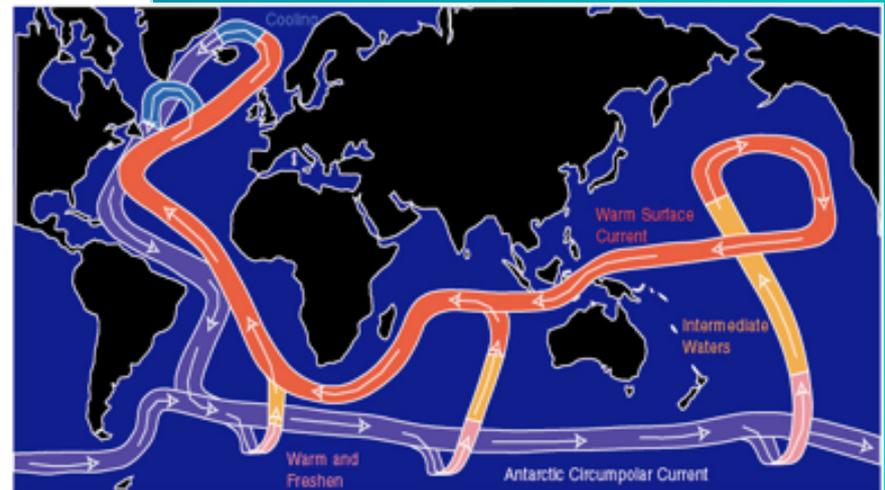
**o Artico nao tem uma barreira de ventos protetora**

# Os oceanos fazem a conexão planetária

os sinais do clima são compartilhados



Rintoul, 2001

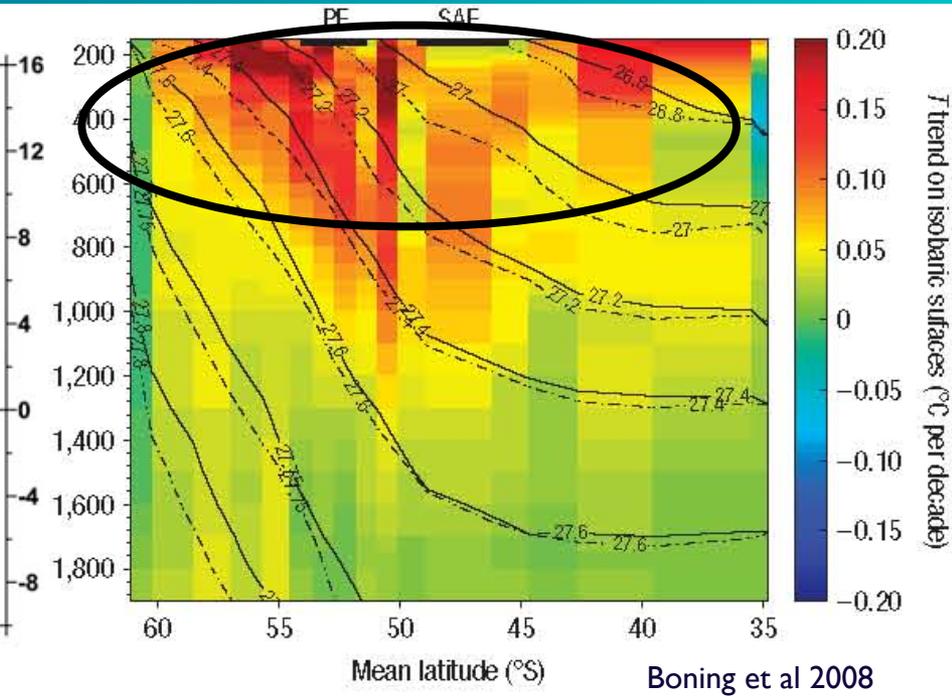
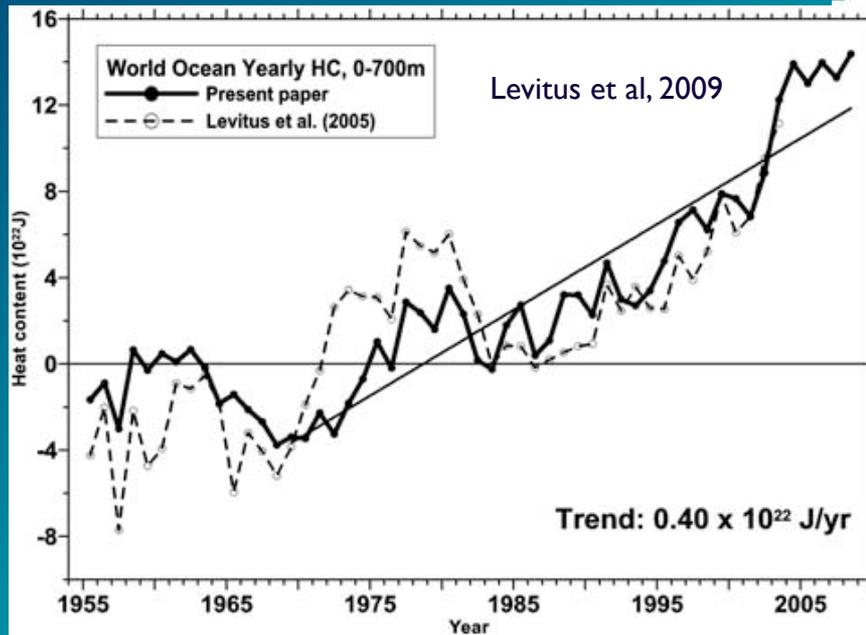
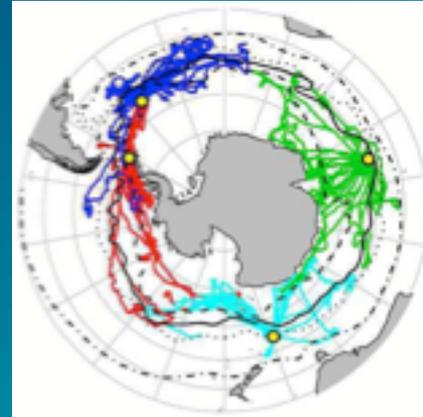
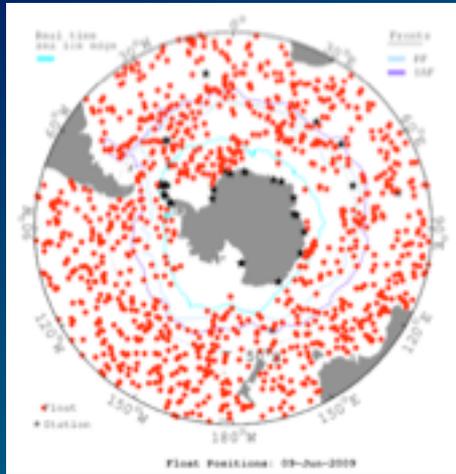


Thermohaline Conveyor Belt (after Doos and Webb)

196g\_occam/thermohaline2

esportação de nutrientes para Norte provém 75% da produtividade do oceano global ao norte de 30S.

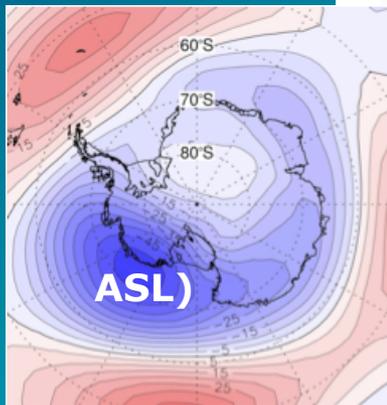
# Aquecimento do Oceano Austral



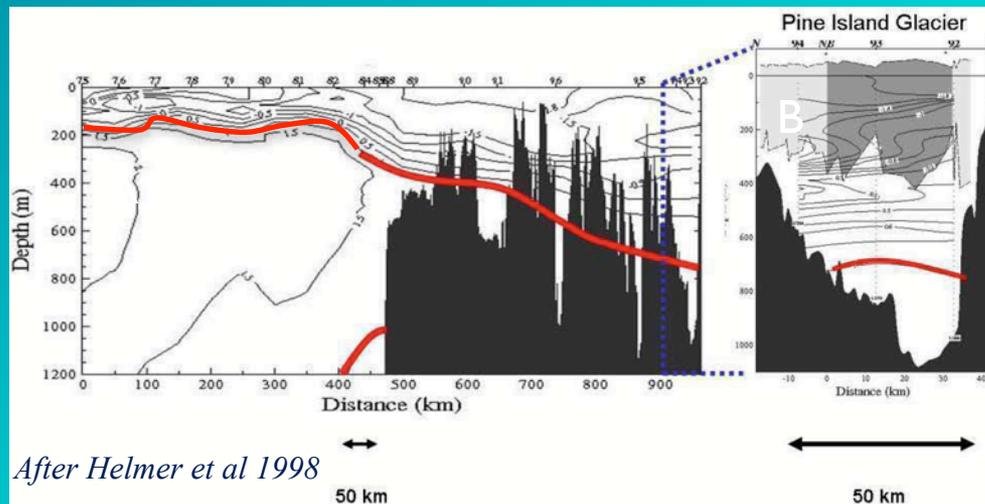
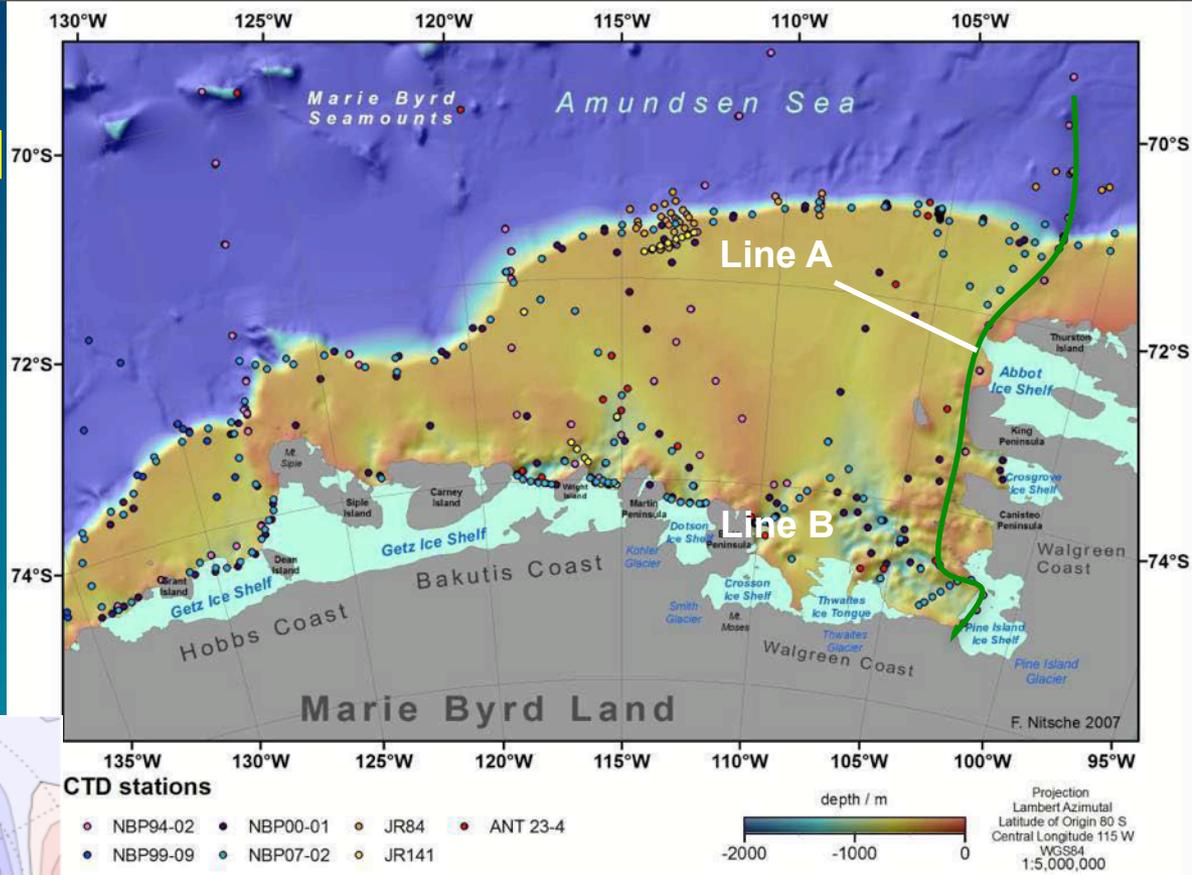
# O oceano traz água quente, responsável por derreter a geleira Pine Island por baixo

plataforma de gelo Pine Island

célula de baixa pressão (ASL) força a água mais quente de subsuperfície para cima



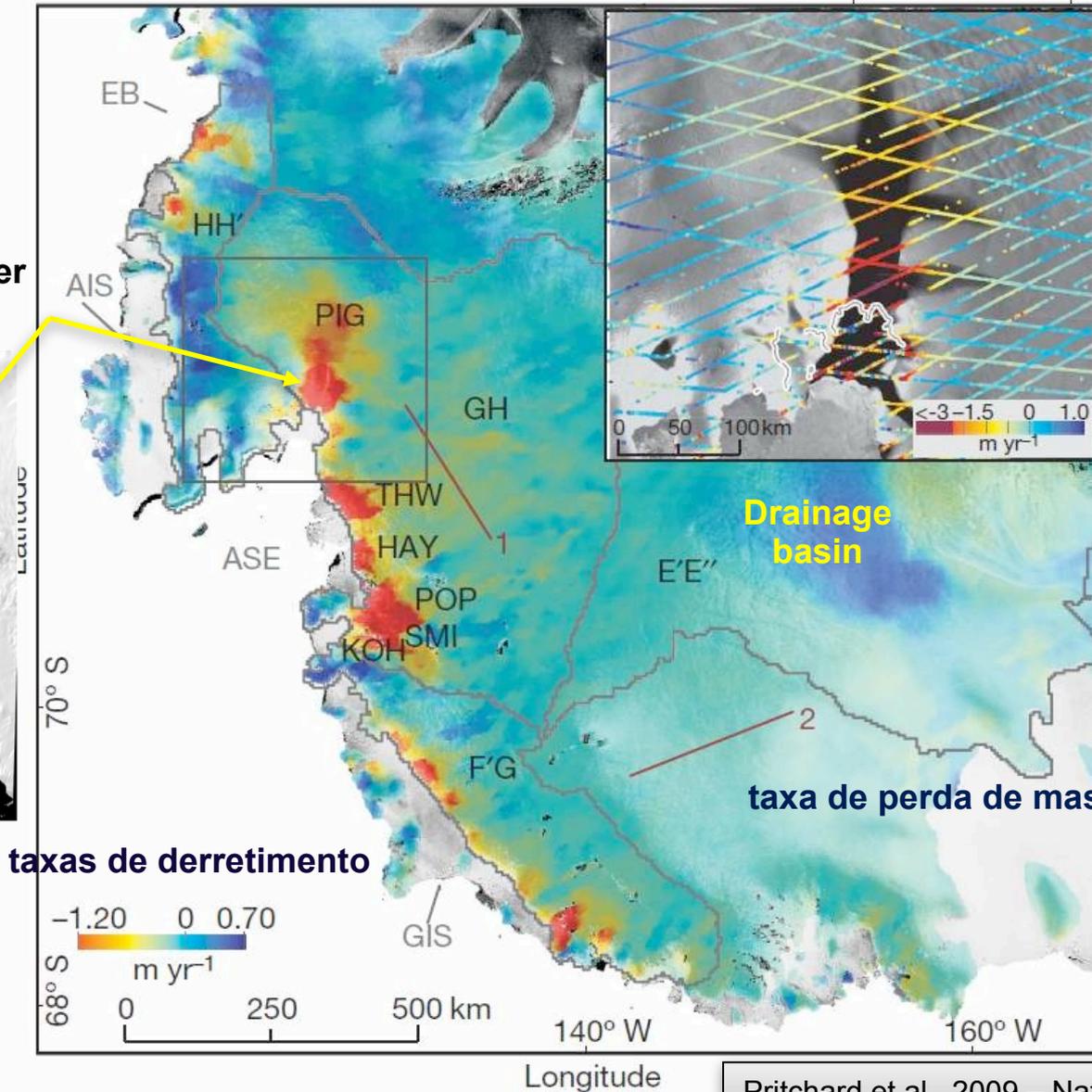
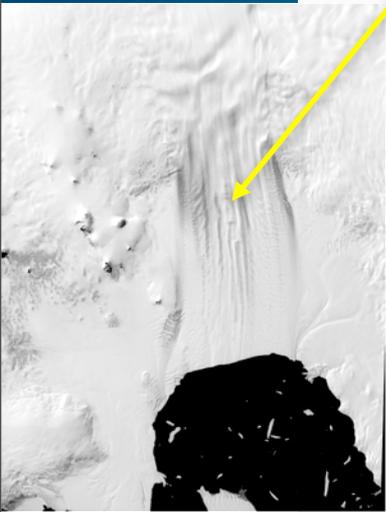
água que vem da subsuperfície (CDW) é 1°C mais quente



After Helmer et al 1998

# Estado atual do Mar de Amundsen

Pine Island Glacier (PIG)

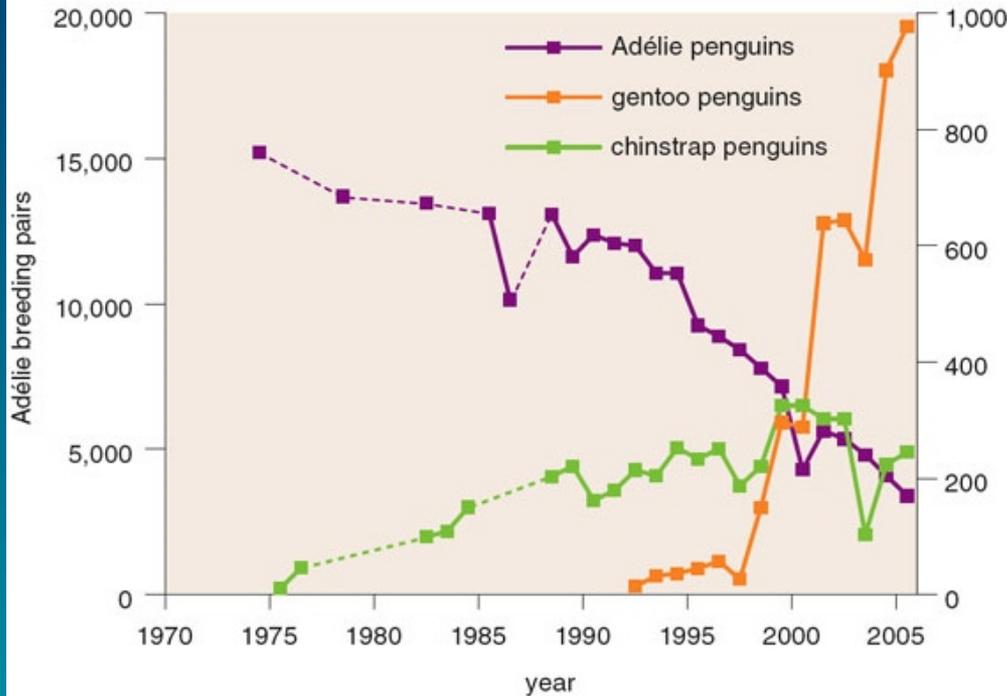


PIG pode contribuir para o aumento do nível do mar em 0.5mm/ano

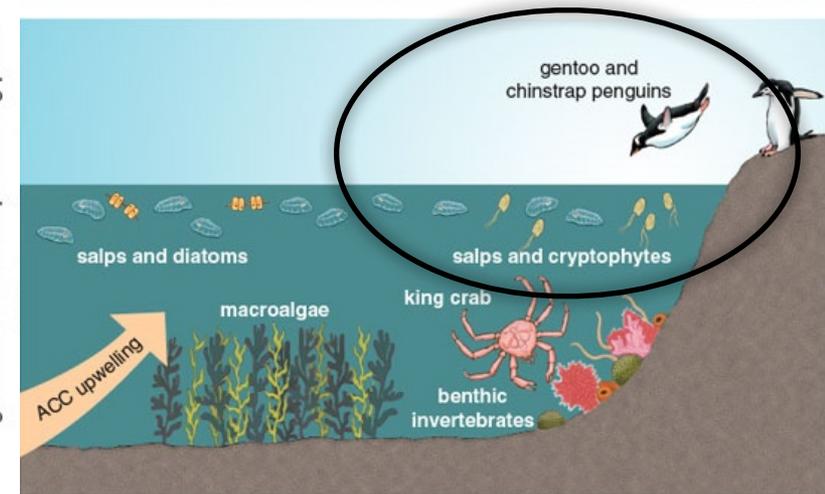
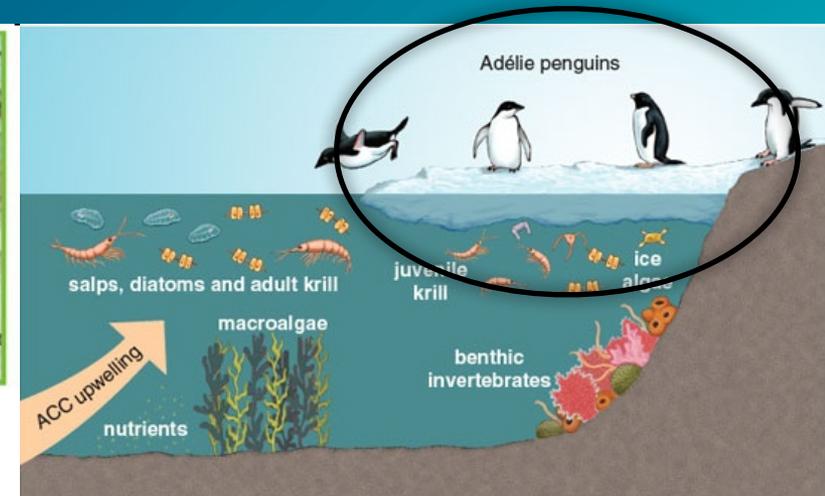


Pritchard et al., 2009 – Nature, 23 September 2009

# exemplo de resposta ecologica

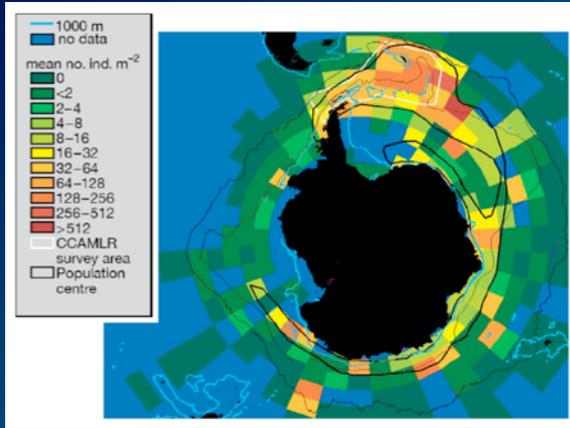


aumento de neve e diminuição do gelo

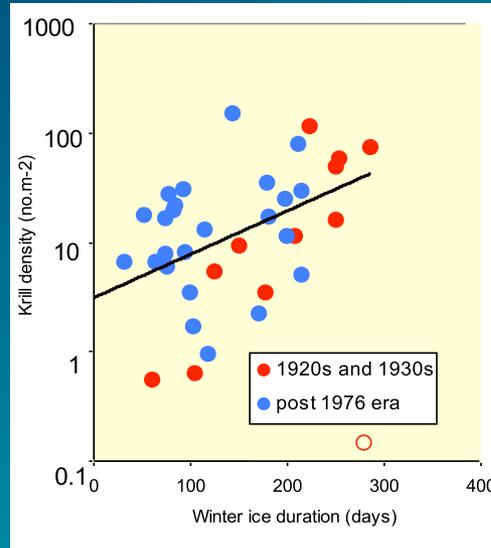


mudanças na população de penguins no oeste da Antartica é atribuído as mudanças nos padrões de PPT e gelo marinho.

# Respostas dos ecossistemas às mudanças do clima



krill diminui com a diminuição do gelo

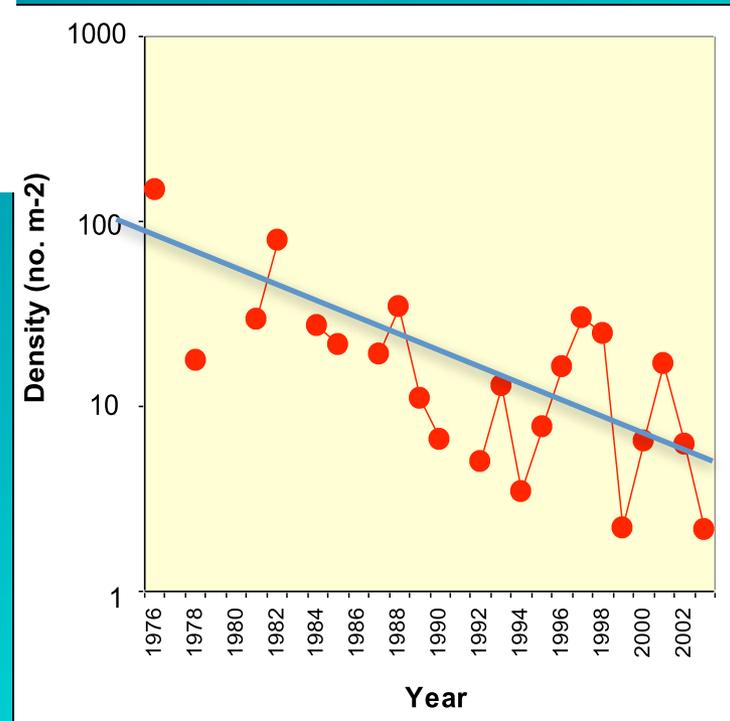
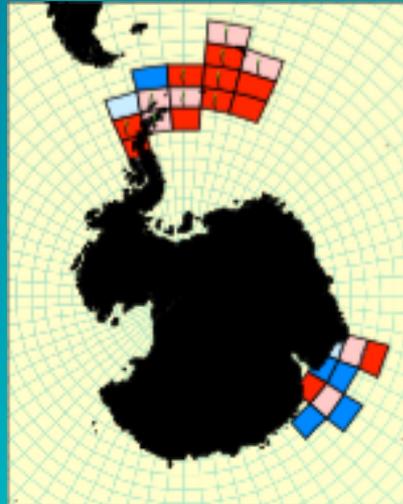


krill diminui e o salp aumenta



## Change per decade

- over twofold decrease
- up to twofold decrease
- less than 5% change
- up to twofold increase
- over twofold increase



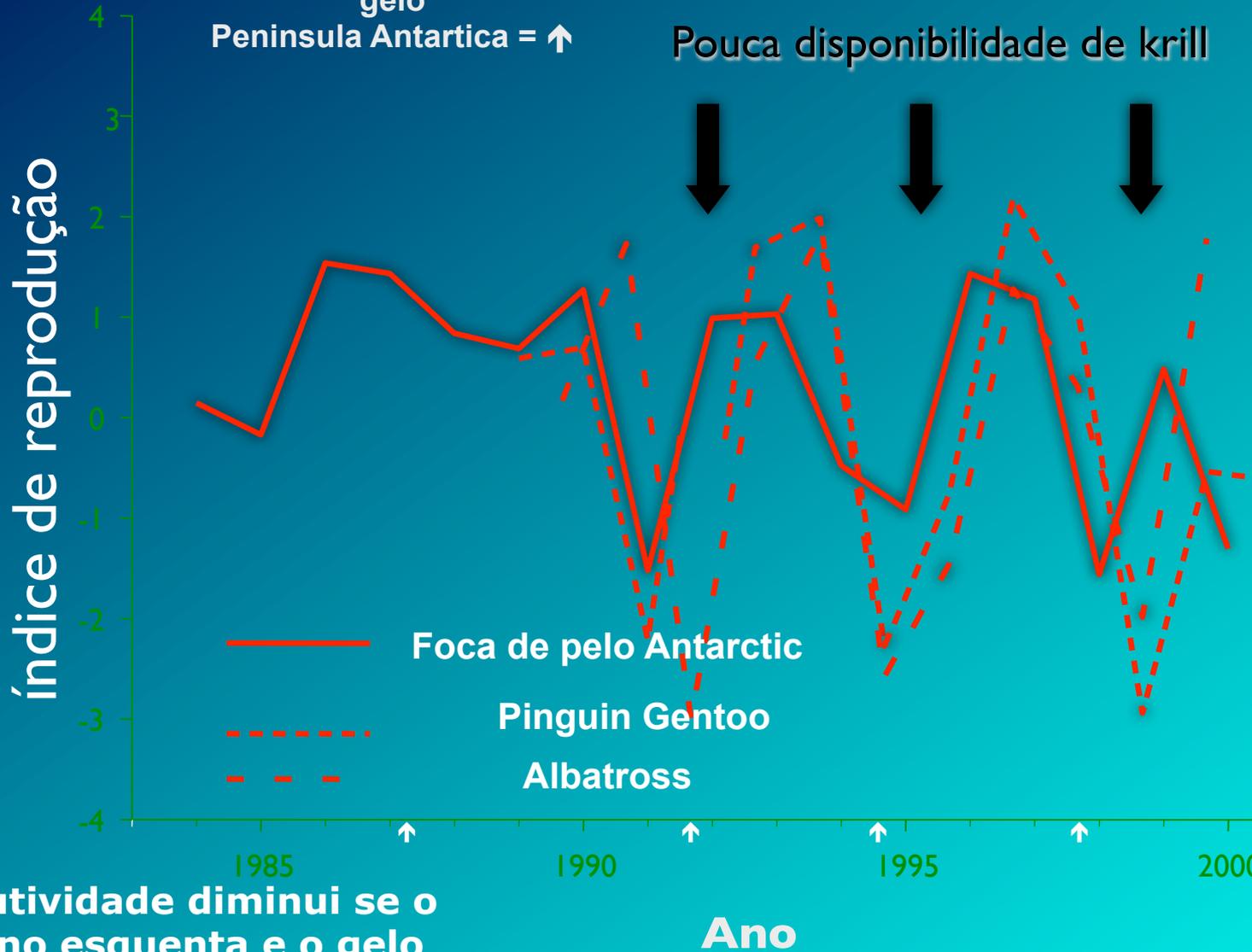
Atkinson et al, 2004, Nature

# Variabilidade Interanual

El Niño = quente = menos  
gelo

Península Antártica = ↑

Pouca disponibilidade de krill



Produtividade diminui se o oceano esquentar e o gelo marinho diminui

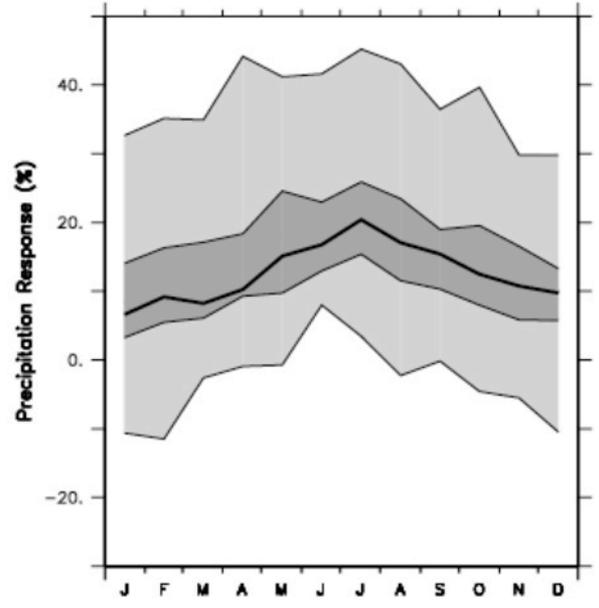
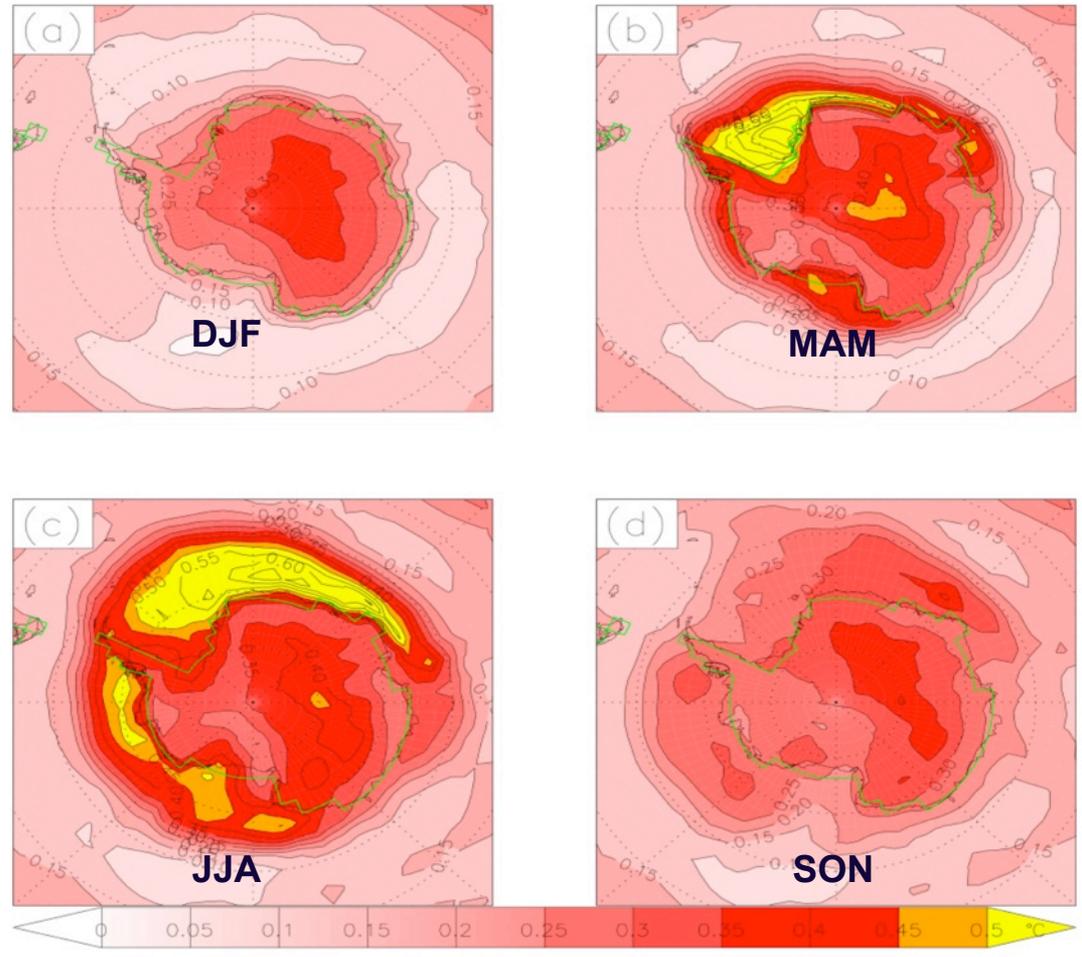
Reid & Croxall, 2008

# O Futuro

# Projeção do aquecimento na Antártica 2100

3.4°C até 2100  
(19 modelos do IPCC, 2 x CO<sub>2</sub>)

a maior parte  
do aquecimento  
acontece no  
gelo.

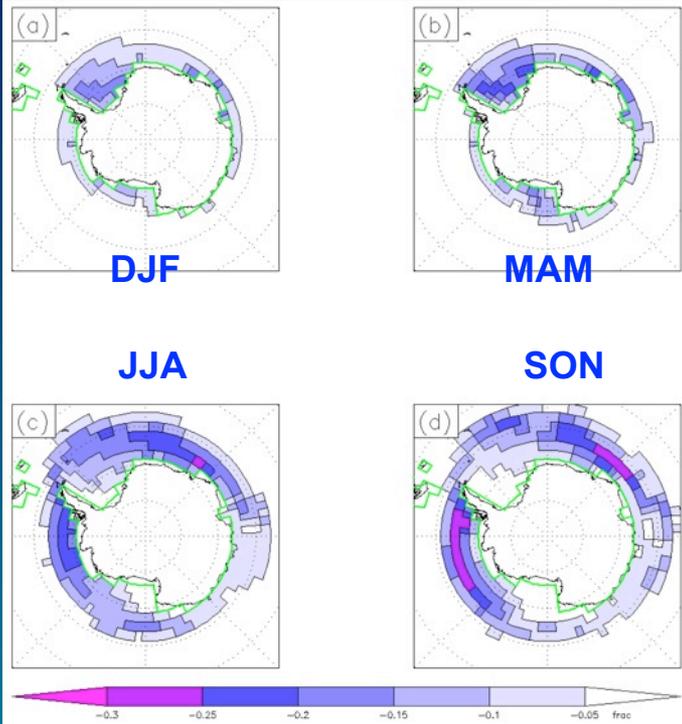


Precipitation as % difference  
2080-99 minus 1980-99

# oceano esquentando e se torna mais produtivo. Gelo marinho diminui

a superfície coberta por gelo diminuiu 33%

mudanças na produtividade primária

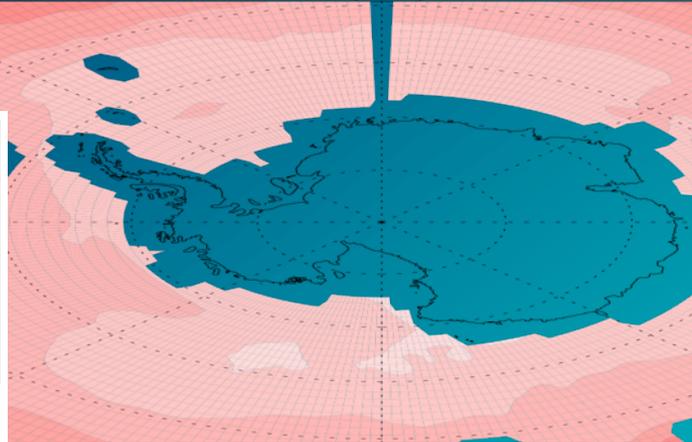


verão: 0.5 to 1.0°C  
mais quente ao sul de 60°S.

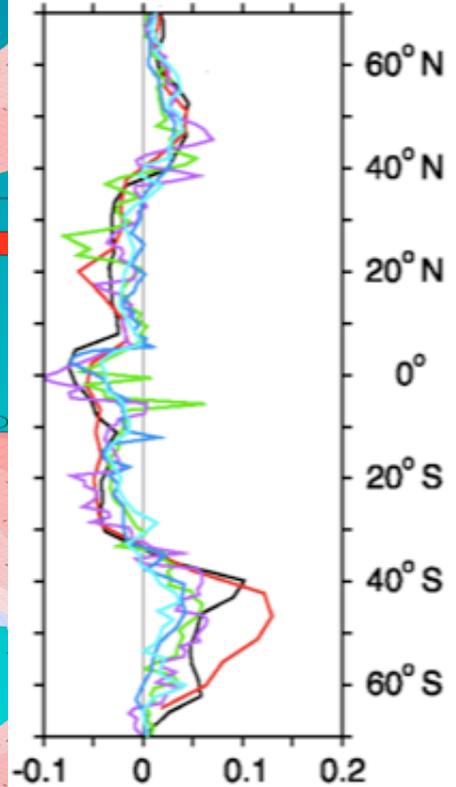
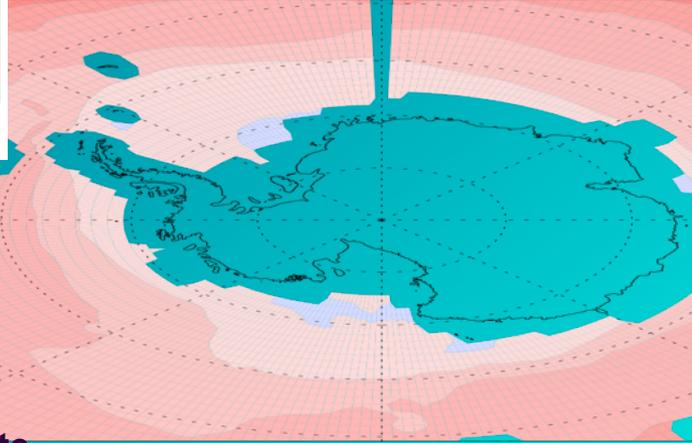
Mar de Amundsen (1-1.25°C).

inverno parecido c/ o presente

Summer SST change (Feb., March, April)



Winter SST change (Aug., Sept., Oct)



- CSIRO
- GFDL
- Hadley
- IPSL
- MPI
- NCAR



# plantas nativas no continente vão se dar bem com o aquecimento, florescendo



*Grama Deschampsia antarctica*

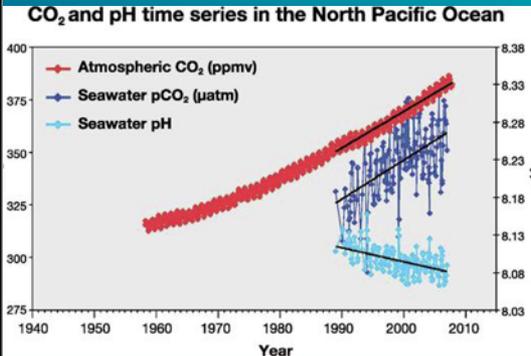
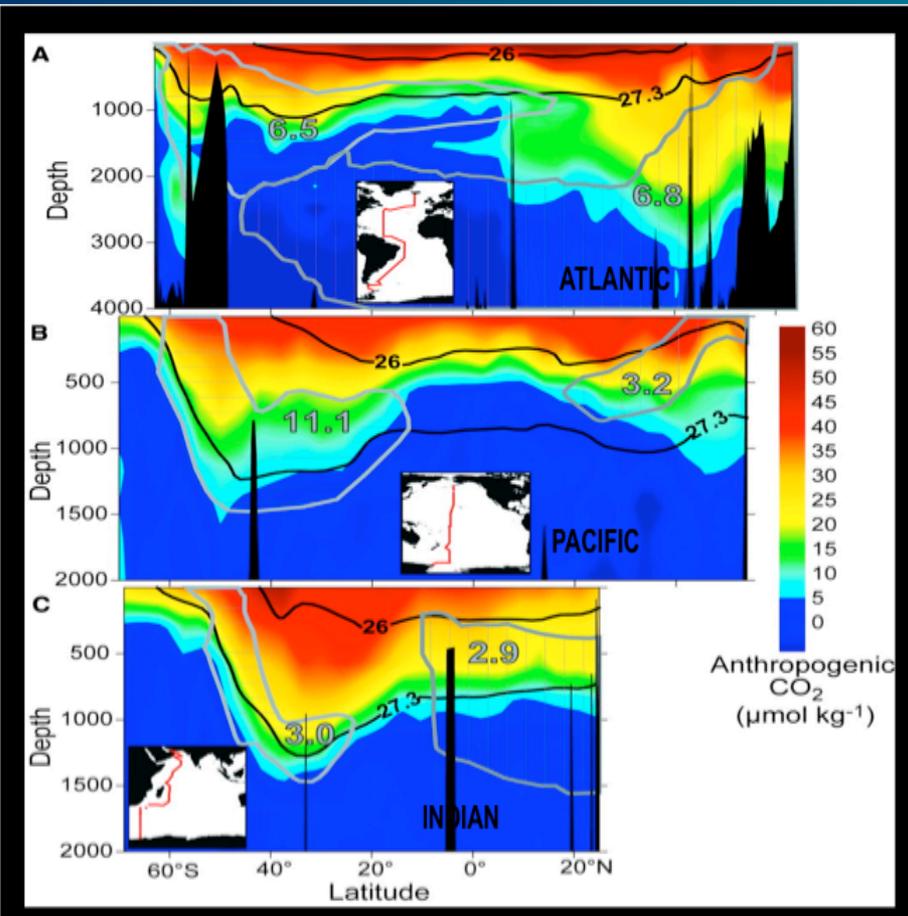
*Colobanthus quitensis,*



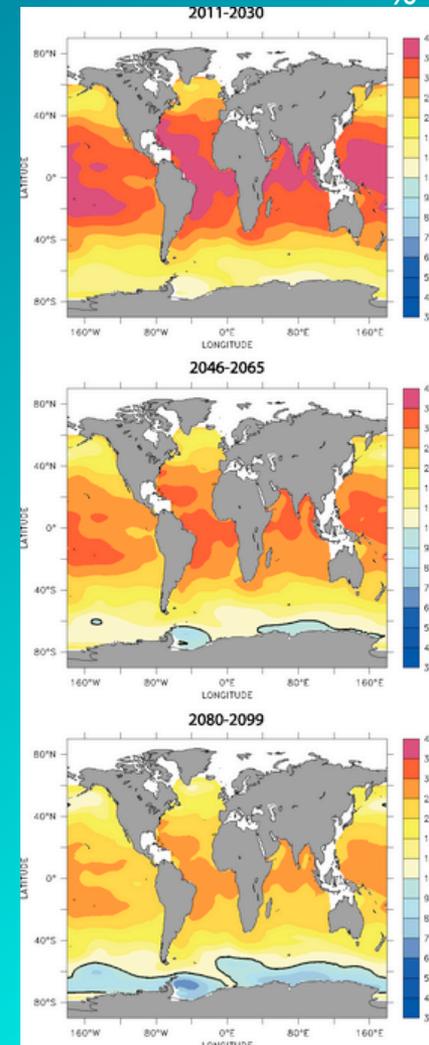
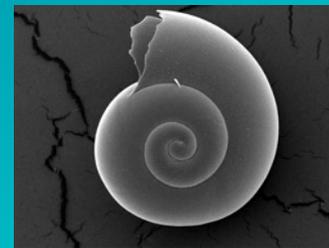
# Acidificação do Oceano Austral

Oceano sequestra 35% das emissões humanas. O oceano Austral sequestra 40% disso

% saturação (aragonite); azul=pode começar dissolução

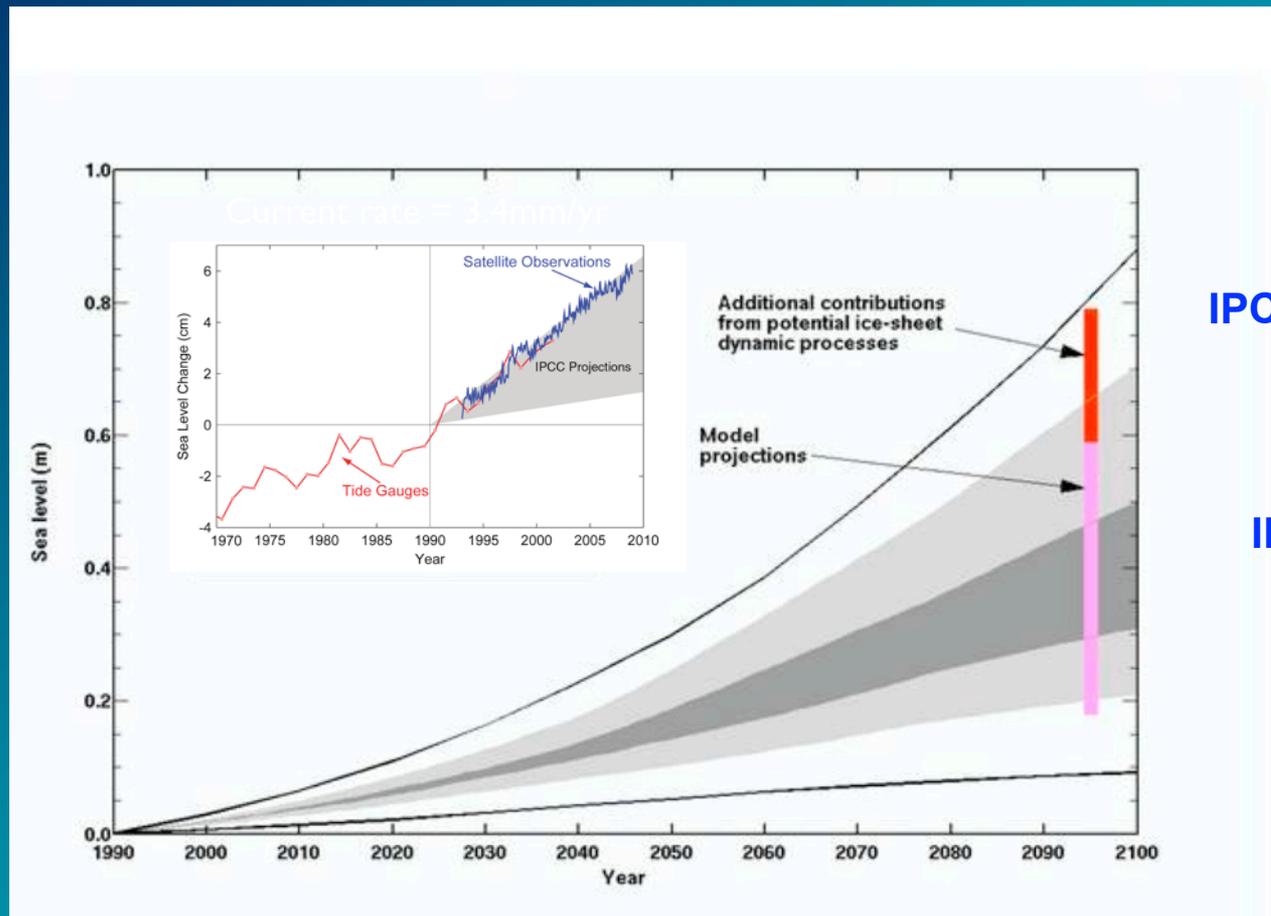


Increasing acidity; Feely 2008



Ocean Carbon-Cycle Model Intercomparison Project (OCMIP-2) models (adapted from Orr et al., 2005)

# Projeção do nível do mar em 2100



IPCC modificado

IPCC original

**146 milhões de pessoas vivem em torno de 1m do nível do mar**

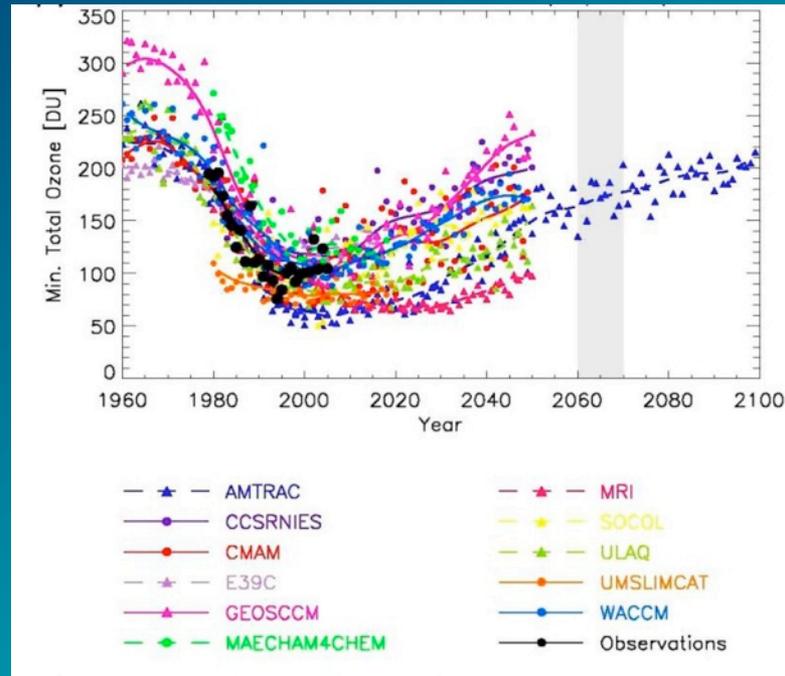
**Aumento de 1.4m vai ter impacto nas mega-cidades costeiras e plataformas off-shore**

*Church et al., 2008*

# No futuro, buraco de O<sub>3</sub> diminui

Em 2070 os níveis de O<sub>3</sub> voltam a ser iguais aos de 1980

mínimo O<sub>3</sub> na coluna atmosférica  
(Set-Out)



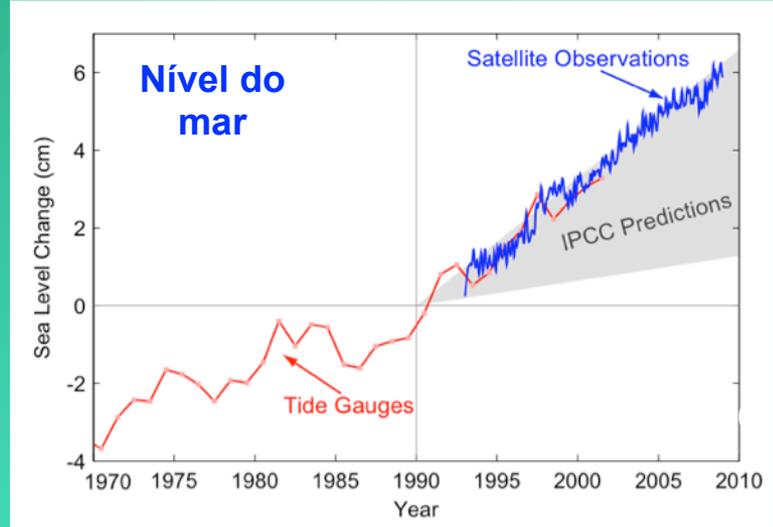
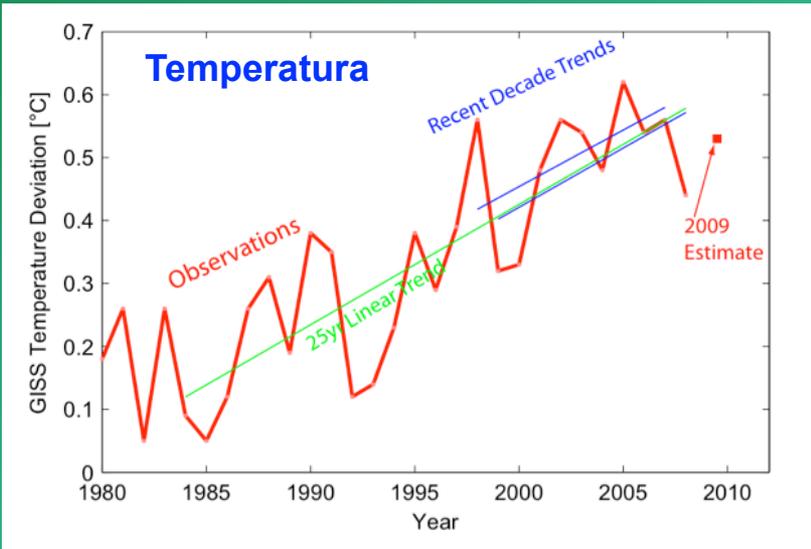
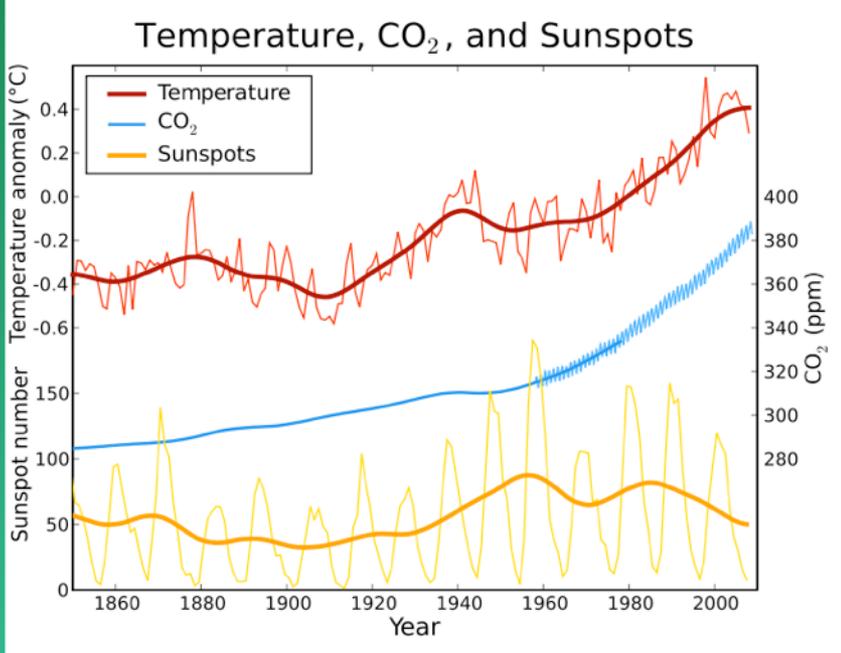
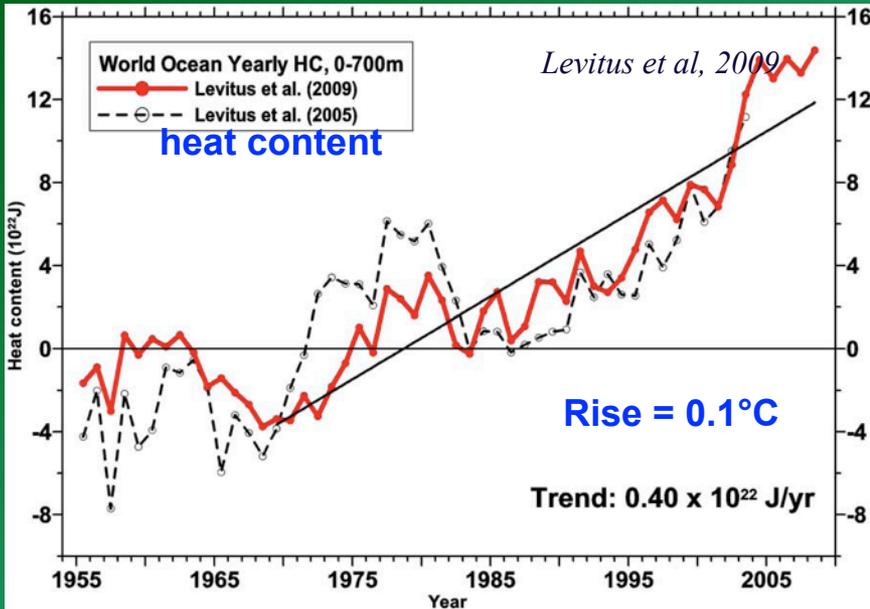
em 2070 não vai mais haver proteção  
para a Antártica

Bodecker et al., 2004, & WMO  
2006

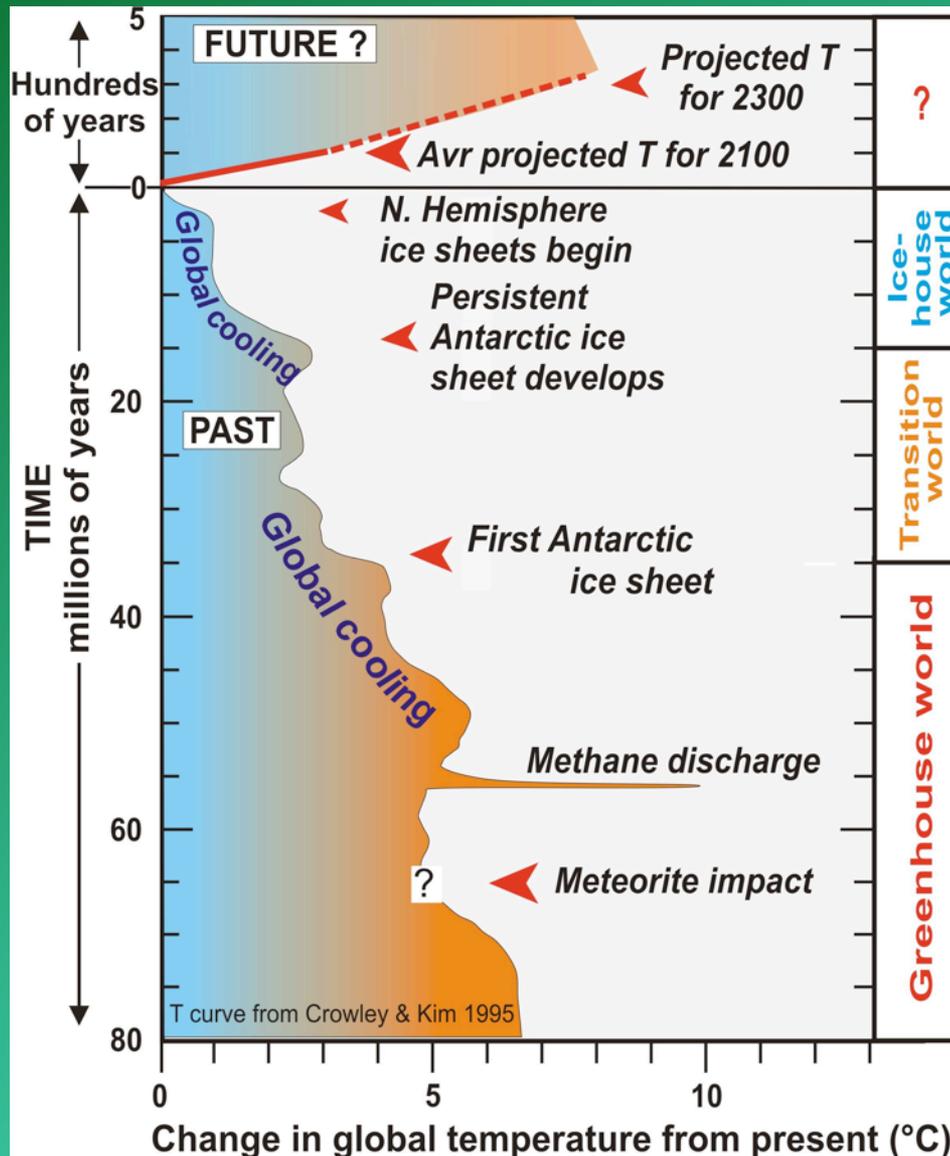
A large, blue-tinted photograph of a sea ice floe. The ice is broken into several large, irregular pieces. In the center, a colony of penguins is gathered on a smaller ice piece. The background is a vast expanse of ice and water, all rendered in shades of blue.

**Agora - vamos examinar as  
características FÍSICAS do  
oceano austral e o seu papel  
nas mudanças do clima**

# o contexto: mudanças climáticas



# Resfriamento global com a queda do CO<sub>2</sub> de 1000+ para 200 ppm



**Era Antropocenica (homem)**

**baixo CO<sub>2</sub>**

**180 ppm nos glaciais  
280 ppm, interglaciais**

**CO<sub>2</sub> abaixo de 400 ppm**

**CO<sub>2</sub> 750-450**

**Evento catastrófico associado a liberação de NH<sub>3</sub>**

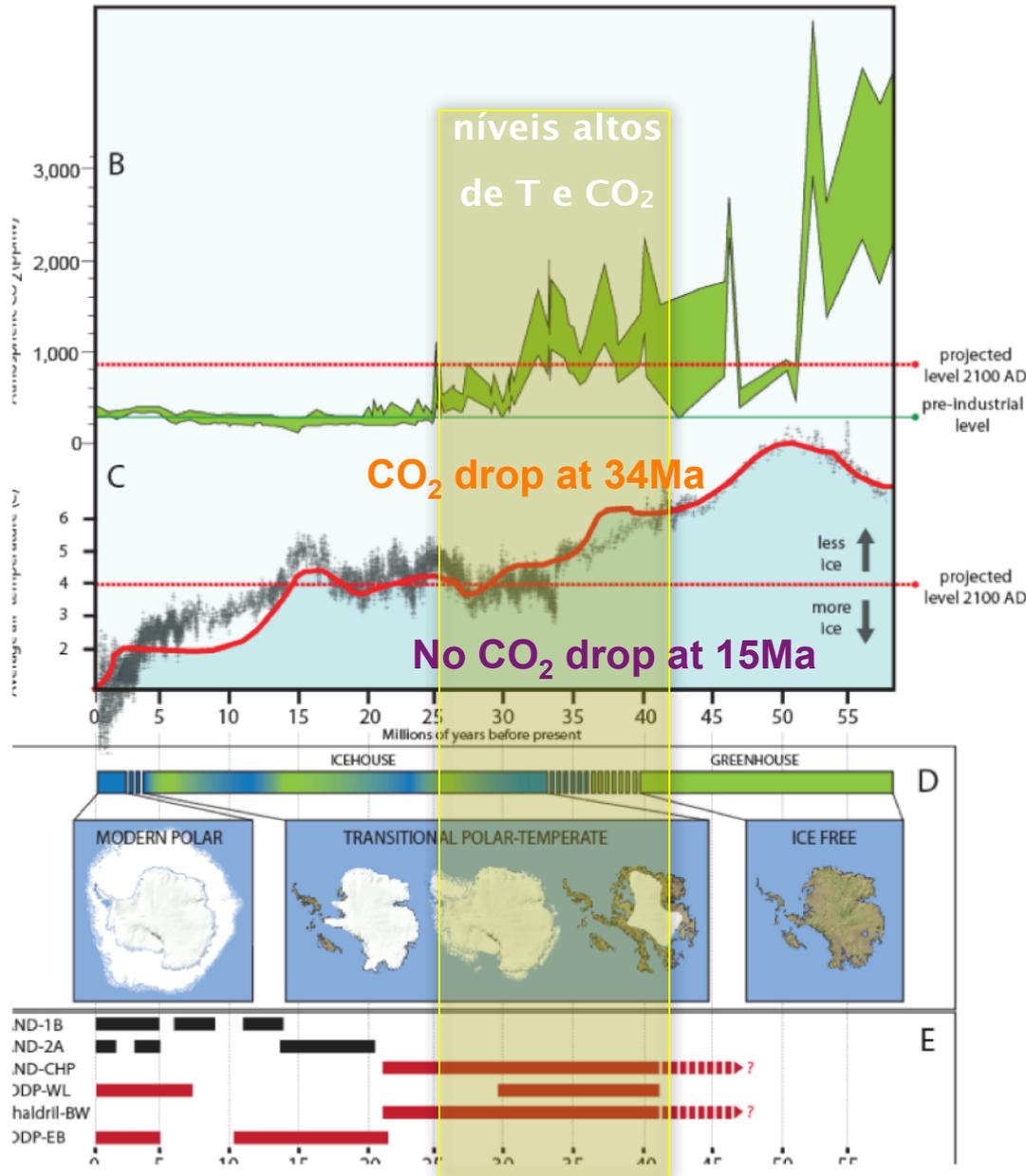
**CO<sub>2</sub> abundante vindo de atividade vulcanica da cordilheira meso-atlantica**

Modified from Crowley & Kim, 1995

# Registro climático tem falhas

dados de CO<sub>2</sub> das alkenonas

Temp °C (d<sup>18</sup>O data)



necessários dados de high-CO<sub>2</sub>



Plano para furar a Antarctica 2010-2015



Pagani et al., 2005