

# Salinity, Ciclo Hidrológico e Clima

## Medindo a Salinidade do Espaço

**Olga T. Sato, Ph.D.**

**`olga.sato@usp.br`**

Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo

- 1 Papel do oceano no clima
  - Ciclo hidrológico
  - Salinidade, evaporação e precipitação
  - Variações interanuais
- 2 Observando a salinidade
  - Missão Aquarius
  - Missão SMOS

# Roteiro

- 1 Papel do oceano no clima
  - Ciclo hidrológico
  - Salinidade, evaporação e precipitação
  - Variações interanuais
- 2 Observando a salinidade
  - Missão Aquarius
  - Missão SMOS

# Ter em mente que ...

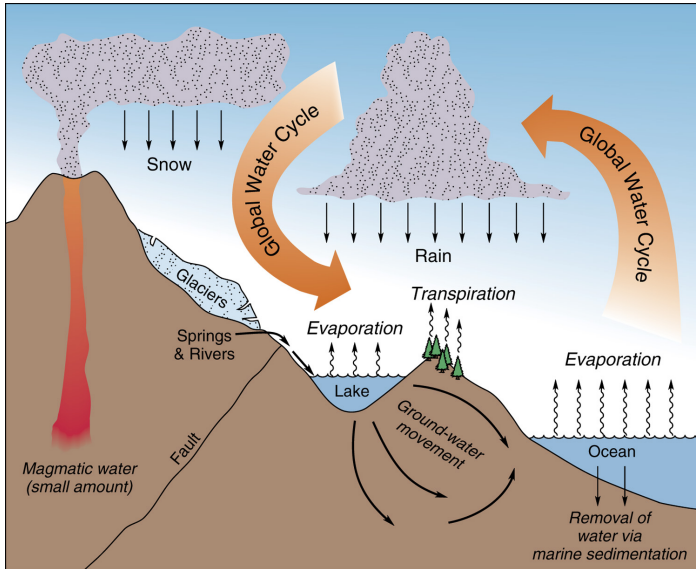
Os oceanos:

- Possuem uma capacidade térmica 1100 vezes maior que a da atmosfera: isso representa 99,9% da capacidade térmica do sistema climático.
- Contribuem com  $\approx 50\%$  do fluxo de calor total para os polos.
- Contem  $\approx 96,5\%$  da água total da Terra.
- Apresentam 86% da evaporação e 78% da precipitação sobre todo o globo.

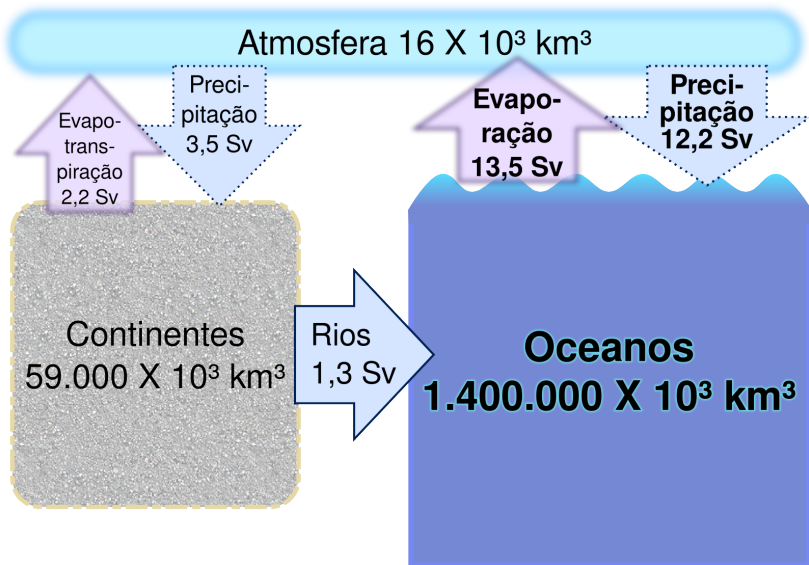
E ainda assim, os oceanos não são considerados na maioria dos projetos sobre o “Ciclo Global da Água” e de “Clima”.



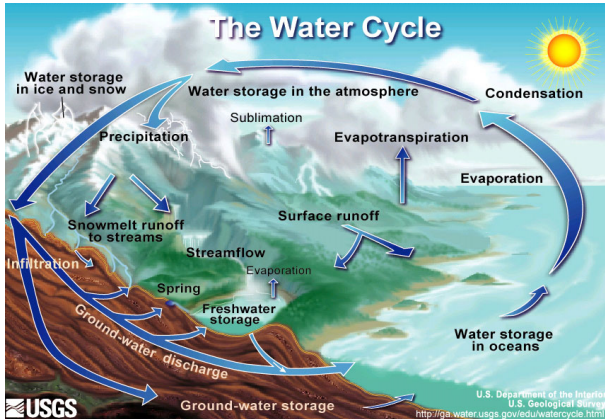
# Ciclo hidrológico global: componentes



# Ciclo hidrológico global quantificado

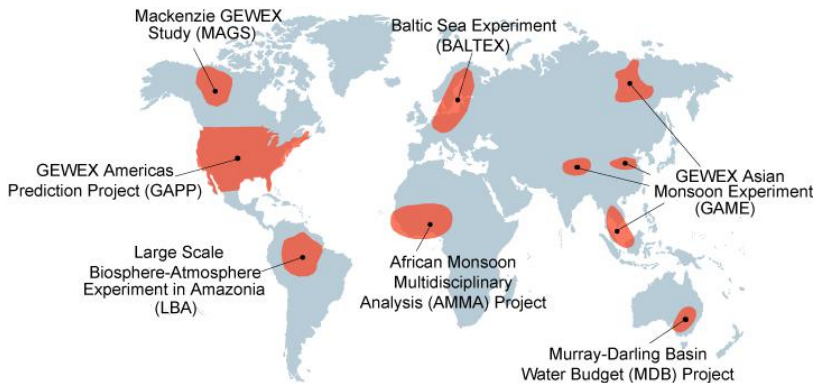


# Componentes do ciclo terrestre



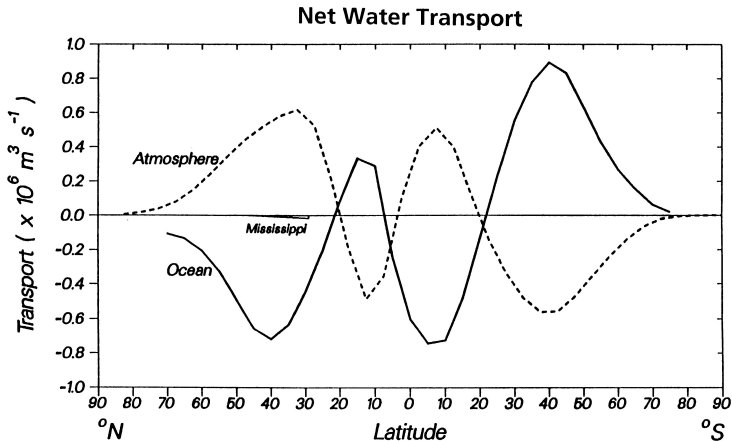
Pequenas componentes do ciclo hidrológico terrestre recebem grande atenção, enquanto que elementos do imenso ciclo hidrológico oceânico são ignorados.

# Global Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX)



Um estudo global que não considerou os oceanos!

# Fluxo meridional de água doce



Fonte: Wijffels et al. (1992)

O oceano e a atmosfera se compensam no transporte meridional de água doce. Comparativamente, o transporte do rio Mississippi é minúsculo.

# A verdadeira dimensão do problema

- O conhecimento sobre a contribuição oceânica para o ciclo hidrológico ainda é muito limitado.
- Grande parte dos projetos de pesquisa focam em processos atmosféricos e sobre os continentes.
- Frequentemente a grande componente oceânica é desprezada.
- Isso tem um impacto muito negativo na evolução do conhecimento pois a água doce no oceano tem um papel muito importante no sistema climático justamente porque determina a densidade da água do mar.

# Um exemplo em São Paulo

## Mudanças Climáticas em São Paulo: Causas, Impactos e Soluções

\* Required



ACADEMIA DE CIÊNCIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO



Instituto  
de biociências



**ThermoFisher**  
SCIENTIFIC

São Paulo, 14 a 16 de outubro de 2015

Local: Auditório István Jancsó da Biblioteca Brasileira Guita e José Mindlin,  
Universidade de São Paulo. Rua da Biblioteca, s/n, Cidade Universitária, São Paulo,  
SP, CEP: 05508-050.

Evento promovido pela Academia de Ciências do Estado de São Paulo, em Outubro de 2015.

**14/10 (QUARTA-FEIRA - TARDE)**

**MODERADOR: Herton Escobar (Jornal O Estado de São Paulo)**

**14h00 - 15h20**

**PAINEL 1 - ÁGUA (30 min cada)**

14h00	<b>Prof. Dr. Humberto Ribeiro da Rocha (IAG/USP)</b> "A seca de 2014 nos mananciais do Sistema Cantareira"
14h30	<b>Prof. Dr. Orivaldo Brunini (IAC)</b> "Água e Agricultura - Os Novos Desafios"
15h00	<b>Prof. Dr. Wagner Costa Ribeiro (FFLCH/USP)</b> "Direito humano à água: escassez relativa e desafios de aplicação"

Nenhuma palestra foi proferida sobre o impacto dos oceanos sobre mudanças climáticas (sobre São Paulo pelo menos).

# Roteiro

- 1 Papel do oceano no clima
  - Ciclo hidrológico
  - Salinidade, evaporação e precipitação
  - Variações interanuais
- 2 Observando a salinidade
  - Missão Aquarius
  - Missão SMOS



# Por que salinidade é importante?

- Crucial conhecer a distribuição do sal nos oceanos globais e sua variabilidade anual e interanual para entender o papel dos oceanos no sistema climático
- Correntes e fluxos de calor pela interface oceano–atmosfera regulam o clima (correntes de borda oeste).
- Evaporação aumenta a salinidade na superfície do mar e portanto aumenta a densidade da água.
- Gradualmente, o oceano sai do estado de estratificação estável dando lugar a um processo de mistura convectiva: formação de água de fundo, de água modal, etc.
- Portanto, a salinidade é um elemento chave para se entender, monitorar e modelar a circulação global.

# Salinidade da Superfície do Mar (SSM)

Average salinity from historical ship and buoy data

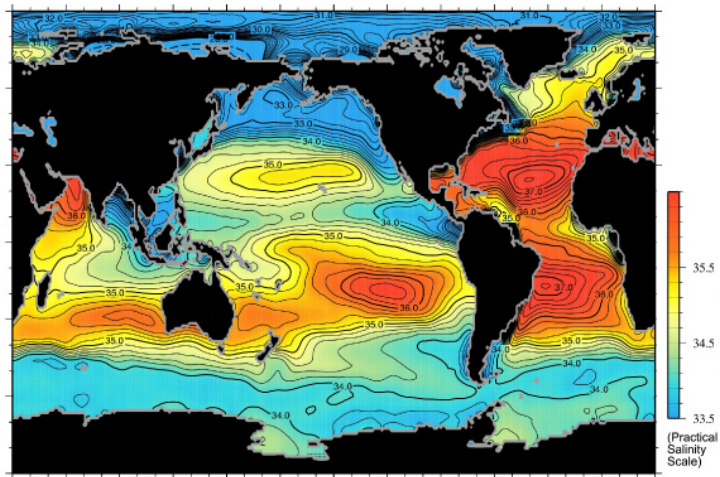
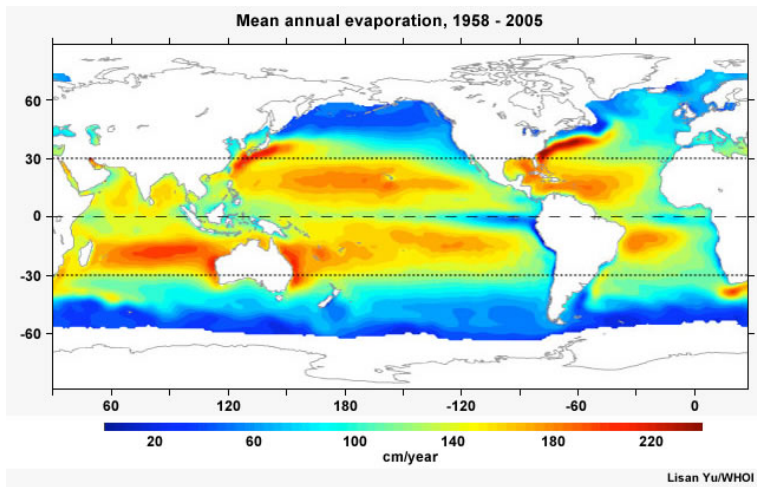
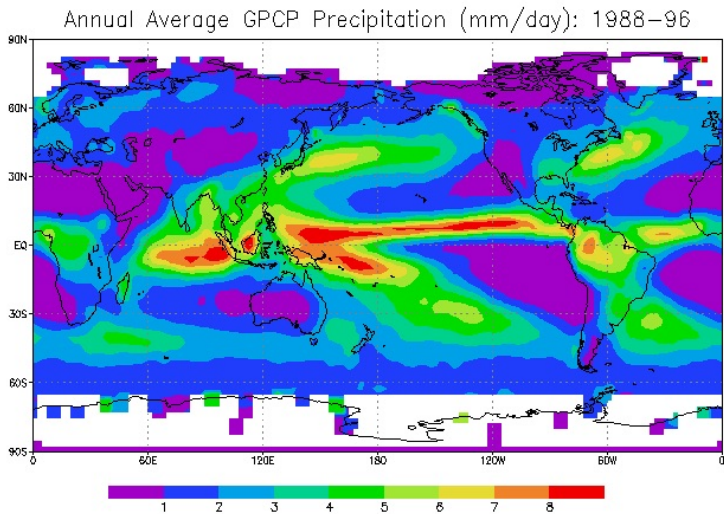


Image credit: World Ocean Atlas, 2009

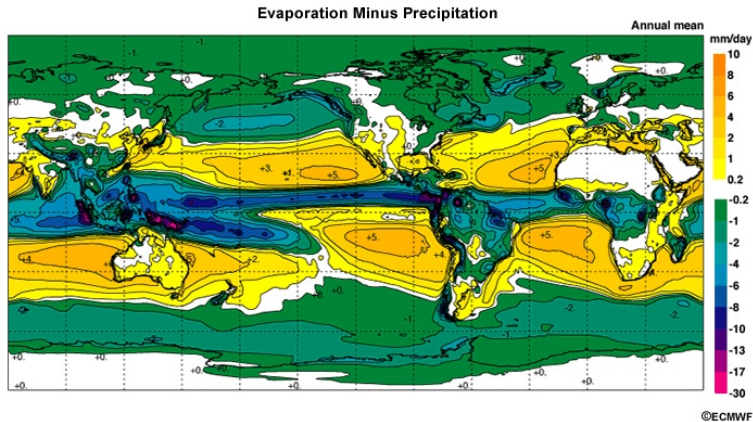
# Média anual de evaporação



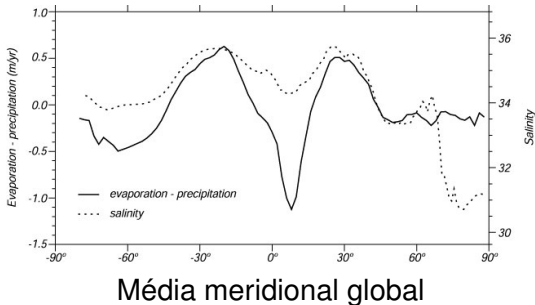
# Média anual de precipitação



# Média anual de E - P



# Correlação entre E-P e SSM



- É difícil medir o balanço E-P sobre os oceanos na forma convencional (*in situ*).
- Mapas globais de salinidade obtidas por satélites podem ajudar a conhecer melhor esse balanço.

Notem que a variação meridional de E-P se assemelha com a do calor latente.

# Motivos para se estudar o balanço E-P

Como o E-P pode nos ajudar a entender melhor o oceano?

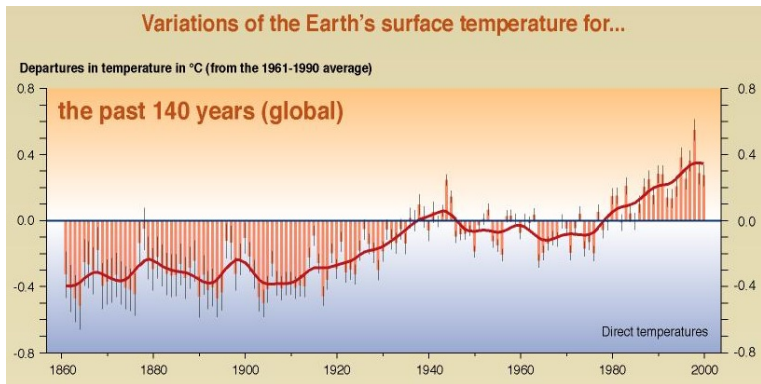
- Entender os processos termohalinos no oceano
- Melhorar as estimativas do fluxo de calor latente do oceano
- Caracterizar melhor a estratificação nas camadas superiores do oceano visando
  - Melhorar as estimativas da profundidade da camada de mistura e sua variabilidade
  - Entender o impacto dessa estratificação na intensidade das camadas de superfície.

# Roteiro

- 1 Papel do oceano no clima
  - Ciclo hidrológico
  - Salinidade, evaporação e precipitação
  - **Variações interanuais**
- 2 Observando a salinidade
  - Missão Aquarius
  - Missão SMOS



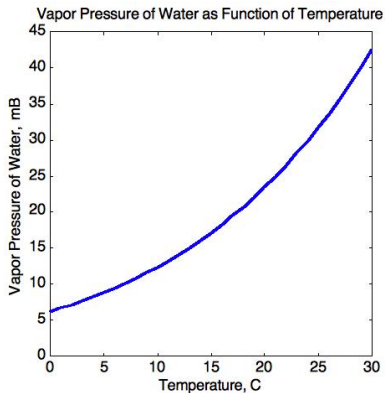
# Tendências na temperatura da superfície



Dados do Relatório do IPCC 2001.

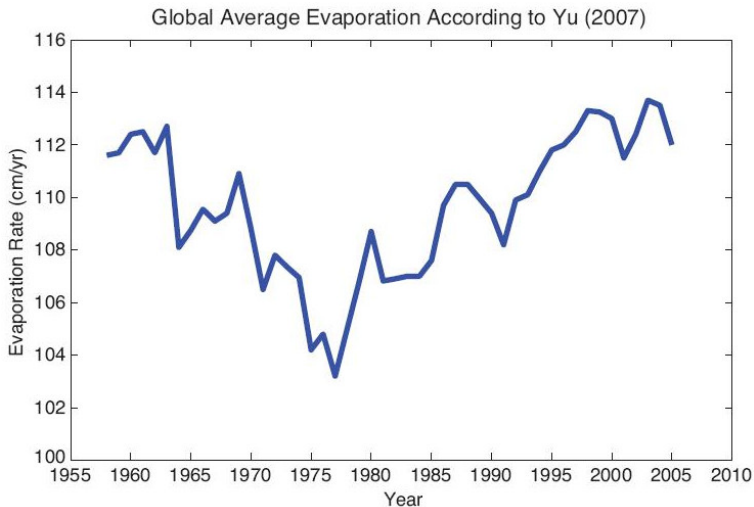
# Consequências

O ciclo hidrológico irá se acelerar com o aquecimento global.



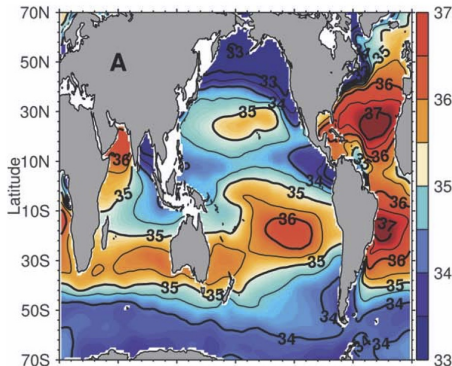
- A atmosfera mais quente irá carregar mais vapor d'água devido ao aumento exponencial da pressão de vapor com a temperatura.
- Um ciclo hidrológico mais acentuado poderá mudar a distribuição de salinidade nas camadas superiores do oceano.

# Tendências na evaporação



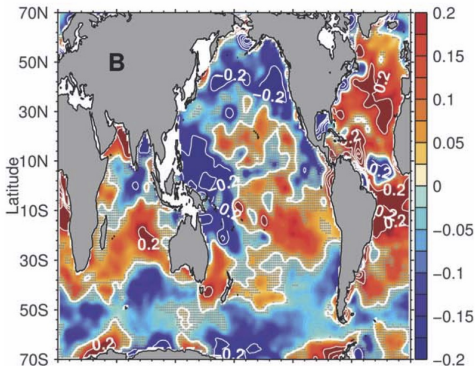
# Tendências na salinidade de superfície do mar (SSM)

Baseado em 50 anos (1950–2008) de perfis históricos de salinidade e Argo.



Média da SSM

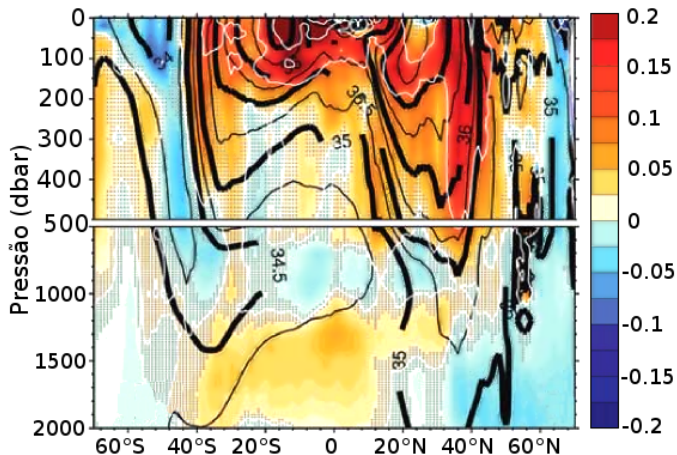
Fonte: Durack et al. (2010).



Tendência de SSM/50 anos

# Tendências da salinidade global

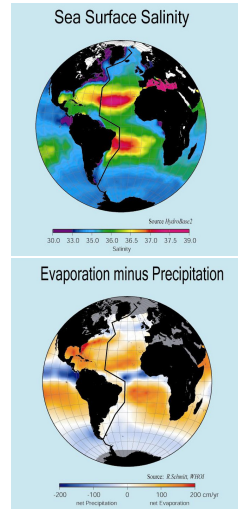
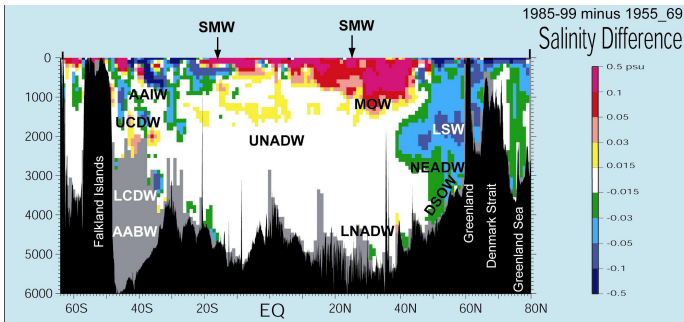
Mudanças globais em 50 anos a partir de perfis de salinidade.



Fonte: Durack et al. (2010).

# Mudanças da salinidade no Atlântico

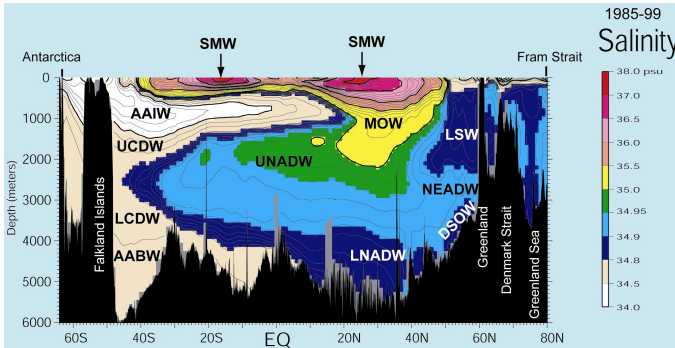
Diferenças entre as médias de salinidade de 1985–99 e 1955–69.



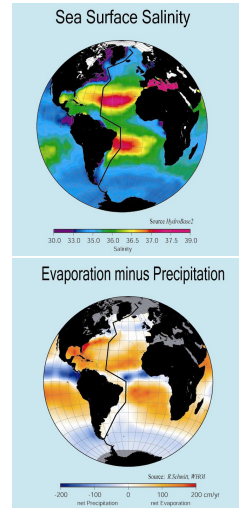
Fonte: Curry et al. (2003)

# Mudanças na salinidade no Atlântico

Seção vertical de salinidade média em função da profundidade e massa d'água.



Fonte: Curry et al. (2003)



# Como a salinidade é observada?

- CTD por navios
- Argo: flutuadores robóticos - calibração bem estável
- Derivadores de superfície: caros e calibração ainda problemática
- Salinidade de superfície por Satélites: SMOS e Aquarius



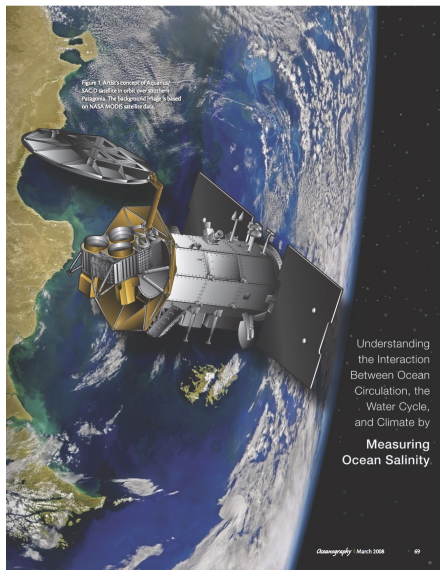
# Roteiro

- 1 Papel do oceano no clima
  - Ciclo hidrológico
  - Salinidade, evaporação e precipitação
  - Variações interanuais
- 2 Observando a salinidade
  - **Missão Aquarius**
  - Missão SMOS

# A missão Aquarius/SAC-D

As principais metas científicas são:

- Melhorar a previsibilidade dos modelos de processos em escala sazonal e interanual (ENOS);
- Melhorar as estimativas de precipitação sobre os oceanos e o balanço hidrológico global;
- Monitorar processos de larga-escala governados pela salinidade.



# Estratégia da missão

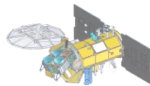
AQUARIUS / SAC-D  
Salinity Satellite Mission

## Mission Design and Sampling Strategy

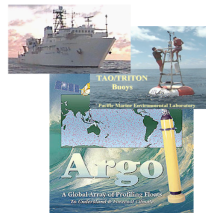


**Sun-synchronous exact repeat orbit**  
6pm ascending node  
Altitude 657 km

- Global Coverage in 7 Days
- 4 Repeat Cycles per Month



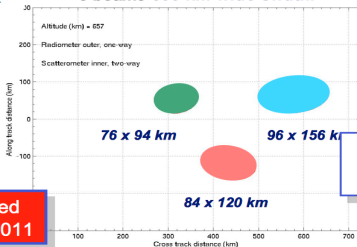
**Beams point toward the night side to avoid sun glint**



**Surface Validation**

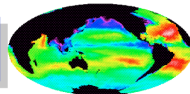
In Orbit  
Check out

**3 beams 390 km wide swath.**



**Aquarius  
Ground System**

**Salinity Data**  
150km, Monthly, 0.2 (pss)



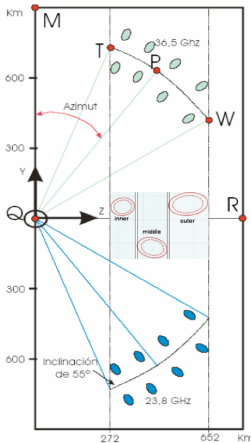
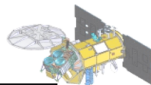
**Launched  
10 Jun 2011**

**End of mission: 7 Jun 2015**

# Aquarius: instrumentação

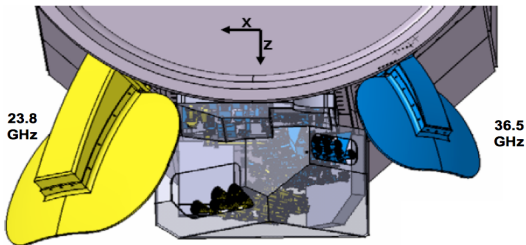
AQUARIUS / SAC-D  
Salinity Satellite Mission

## CONAE MicroWave Radiometer (MWR)



### Rain, Wind, Sea ice

Instrument	Objective	Description	Resolution	Source
MWR: Microwave Radiometer	Precipitation, wind speed, sea ice concentration, water vapor	23.8 GHz and 36.5 GHz; 36.5 polarimetric; 23.8 V-pol; 390 km swath	50 km	CONAE

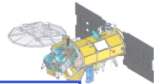


Each radiometer has a cluster of 8 offset feeds

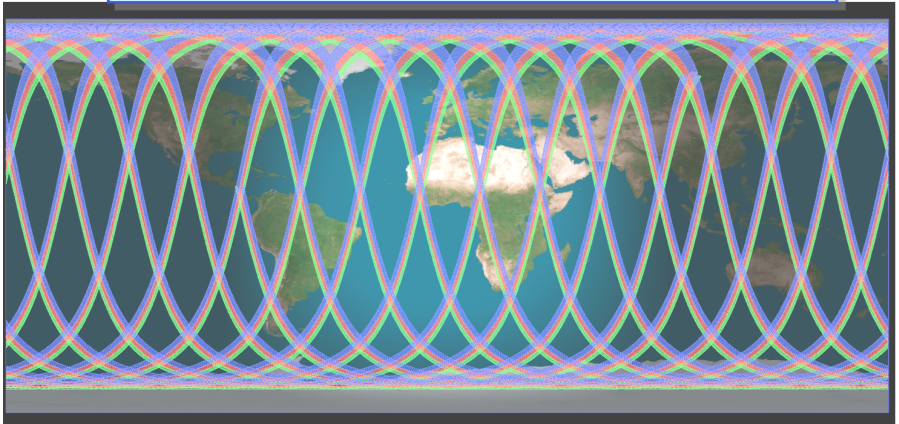
# Aquarius: órbita

AQUARIUS / SAC-D  
Salinity Satellite Mission

## Single Day Orbit Swath Pattern



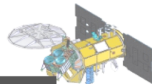
The orbit precesses to yield complete coverage in 7 days



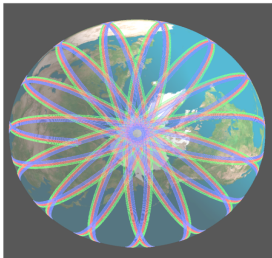
# Aquarius: Cobertura Polar

AQUARIUS/SAC-D  
Salinity Satellite Mission

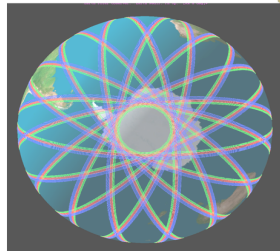
## Asymmetric Polar Coverage



Arctic



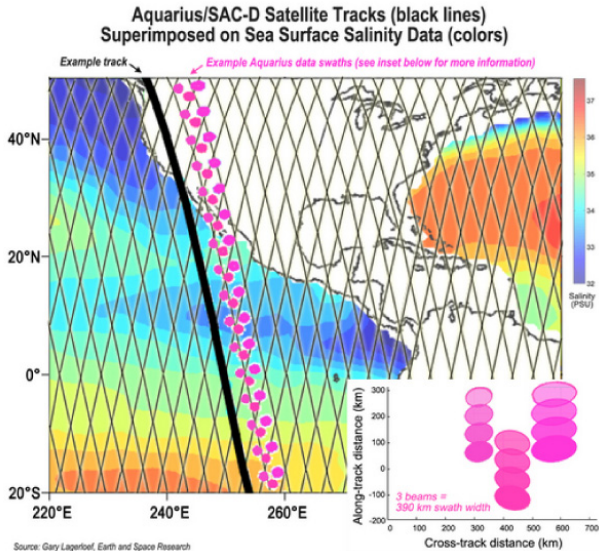
Antarctic



### 6 pm Ascending Node:

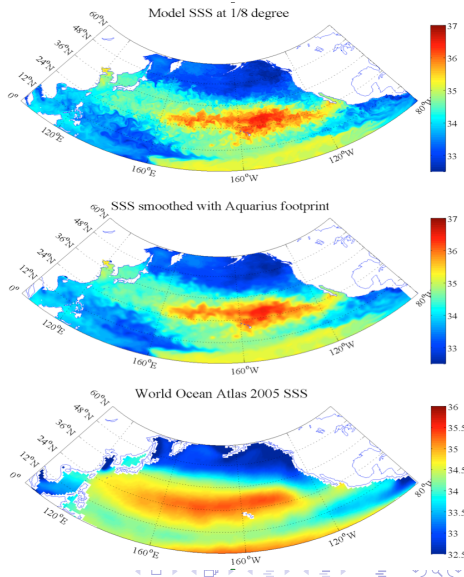
- Viewing only toward shadow side causes asymmetry in polar geographic coverage
- 6 pm ascending orbit gives greater geographic coverage of the Arctic than of the Antarctic

# Aquarius: estratégia amostral



# Resolução espacial do Aquarius

- As medidas serão de baixa resolução espacial, focando-se em processos de larga-escala do campo de salinidade de superfície.
- Variabilidade de meso-escala em frentes e vórtices serão suavizados.
- Ainda assim, apresenta muito mais detalhes do que o campo médio derivado a partir de dados históricos.





# Salinidade média: WOA09

Average salinity from historical ship and buoy data

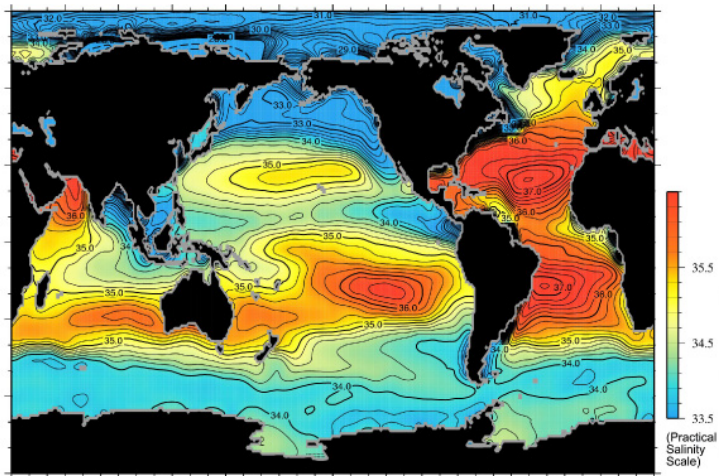
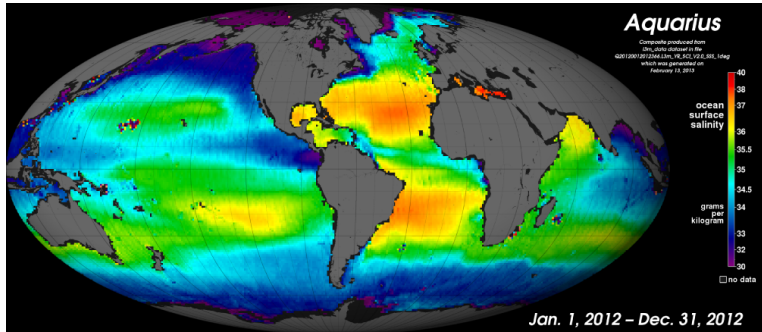


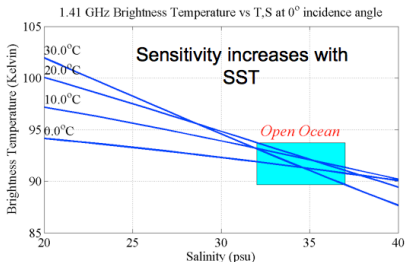
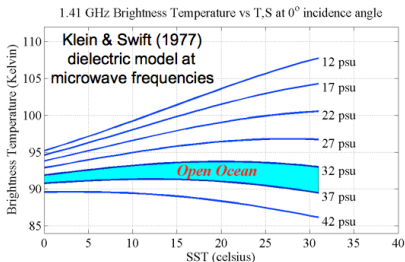
Image credit: World Ocean Atlas, 2009

# Salinidade média: Aquarius (Jan a Dez 2012)



# Salinidade a partir da Temperatura de Brilho (TB)

- Os 3 radiômetros de microondas medem a temperatura de brilho (TB) em polarizações horizontal e vertical ( $T_H$  e  $T_V$ );
- S não é função linear de TB e TSM.
- Mas a variação de S em função de TB para um determinado valor de TSM é.
- A salinidade pode ser determinada a partir do  $T_V$  se a TSM for determinada independentemente.



G.Lagerloef, ESR

# Princípios físicos

Salinidade é derivada de medidas de temperatura de brilho na faixa L (1.413 GHz)

- $TB = eT$ : onde  $e$  é a emissividade e  $T$  é a temperatura absoluta da superfície (K).
- $e$  é função da constante dielétrica ( $\epsilon$ ), ângulo de incidência, polarização (H ou V) e estado do mar.
- Por sua vez, também depende de  $S$ ,  $T$  e frequência
- Para a água do mar:  $S=35$ ,  $T = 288$  K ( $15^\circ\text{C}$ ),  $\theta=0$ , oceano calmo e  $f=1.413$  GHz, a emissividade  $e \approx 0.3$ .

# Fontes de erro do Aquarius

Error Sources	3 Beam RMS						
	Allocation	CBE					
Radiometer	0.15	0.09					
Antenna	0.08	0.01					
System Pointing	0.05	0.02					
Roughness	0.28	0.20					
Solar	0.05	0.02					
Galactic	0.05	0.004					
Rain (Total Liquid Water)	0.02	0.01					
Ionosphere	0.06	0.043					
Atmosphere (Other)	0.05	0.02					
SST	0.10	0.07					
Antenna Gain Near Land & Ice	0.10	0.10					
Model Function	0.08	0.07					
Brightness Temperature Error Per Observation	Baseline Mission						
	Allocation	CBE					
Total RSS (K)	0.38	0.27					
Margin RSS (K)	0.27	0.27					
			Brightness Temperature Error Per Observation		Baseline Mission		
					Allocation	CBE	
			Total RSS (K)		0.38	0.27	
			Margin RSS (K)		0.27	0.27	
			Latitude Range	Mean Sensitivity (dT <sub>v</sub> /dS)	Mean # Samples in 28 Days	Baseline Mission Monthly Salinity Error (psu)	
						Allocation	CBE
			0–10	0.756	10.9	0.15	0.11
			11–20	0.731	11.3	0.16	0.11
			21–30	0.671	12.1	0.16	0.12
			31–40	0.567	13.5	0.18	0.13
			41–50	0.455	15.9	0.21	0.15
			51–60	0.357	20.3	0.24	0.17
			61–70	0.271	30.2	0.26	0.18
			Global RMS (psu)			0.20	0.14
			Marin RSS (psu)			0.14	0.14

Fonte: Lagerloef et al. (2008) - Oceanography Special Issue

# Roteiro

- 1 Papel do oceano no clima
  - Ciclo hidrológico
  - Salinidade, evaporação e precipitação
  - Variações interanuais
- 2 Observando a salinidade
  - Missão Aquarius
  - Missão SMOS

# Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS)

Lançado em 2 de Novembro de 2009

- Órbita: 758km e inclinação de  $98.44^\circ$ , polar, sincronizada com o sol, quase circular, ciclo de repetição de 23 dias.
- Instrumento: Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis - MIRAS
- Banda L: 1.4 GHz ( $\lambda$ : 21 cm).
- 69 antenas receptoras distribuídas numa antena no formato de Y.
- Polarização H e V medidas em sequência.



# Mais informações técnicas

- O SMOS observa a salinidade com precisão de 0.1 com resolução espacial de 200x200 km e média mensal.
- Para se obter esta resolução espacial, uma enorme antena girante seria necessária se usassem radiômetros convencionais.
- A solução foi uma antena cuja abertura é sintetizada por 69 antenas separadas que estão igualmente distribuídas sobre 3 braços no formato de um Y e uma estrutura central.



# Obrigada!