



PPGOGQG

TE: Oceanos e Clima

Aula 5 – Modos de Variabilidade Climática

Prof. Dr. Mauricio M. Mata

Laboratório de Estudos dos Oceanos e Clima
(LEOC)

1º SEM. 2016

Terça-feira – 14:00/16:00h, sala 2119



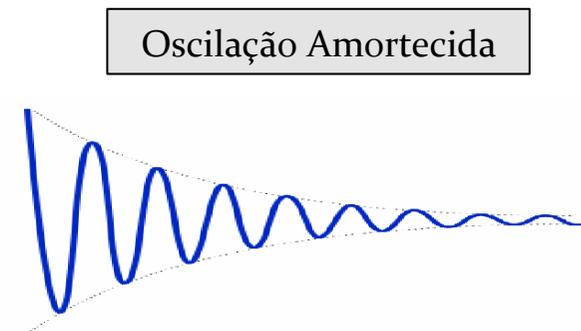
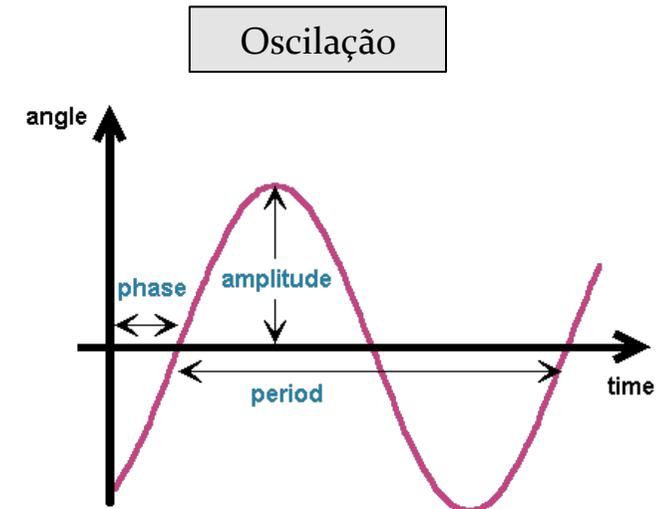
FURG

Oscilações e teleconexões

- ❑ **Oscilação:** *qualquer fenômeno que tende a variar de forma periódica;*
- ❑ **Teleconexão:** *tendência para os padrões de circulação atmosférica estarem relacionados, direta ou indiretamente, sobre grandes áreas espacialmente não-contíguas;*

Oscilações

- ❖ As oscilações ocorrem quando o *sistema é perturbado* de uma posição de equilíbrio estável;
- ❖ É reconhecidamente um *ciclo previsível*, mas este termo não deve ser usado a menos que o período tenha uma *regularidade reconhecível*;
- ❖ Pode ser usado como o *balanço de um extremo a outro*, metade de um ciclo;
- ❖ Diversos tipos de oscilações são reconhecidos:
 - ✓ *Damped oscillation* (Oscilação amortecida): diminuição constante da amplitude.

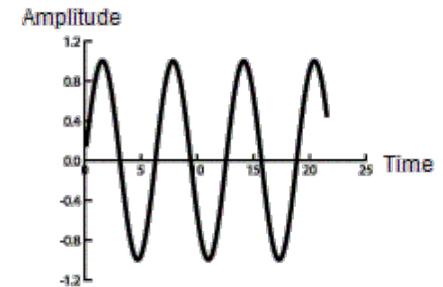


Oscilações

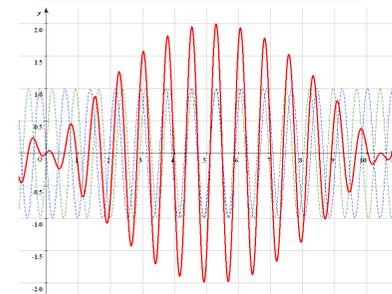
❖ Diversos tipos de oscilações são reconhecidos:

- ✓ *Undamped/Neutral/Persistent Oscillation* (Oscilação Neutra): manutenção da amplitude constante.
- ✓ *Unstable Oscillation* (Oscilação Instável): crescimento da amplitude seguido por queda.
- ✓ *Stable Oscillation* (Oscilação Estável): amplitude consistente com pequenas mudanças.
- ✓ *Forced Oscillation* (Oscilação Forçada): força externa atuando periodicamente.
- ✓ *Free Oscillation* (Oscilação Livre): movimento estabelecido externamente, mas que não recebe mais energia externa.

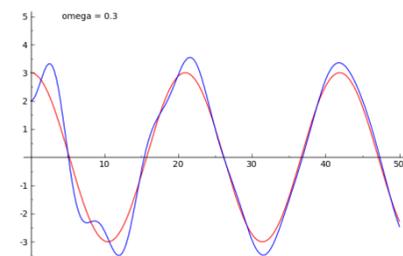
Oscilação Neutra



Oscilação Instável



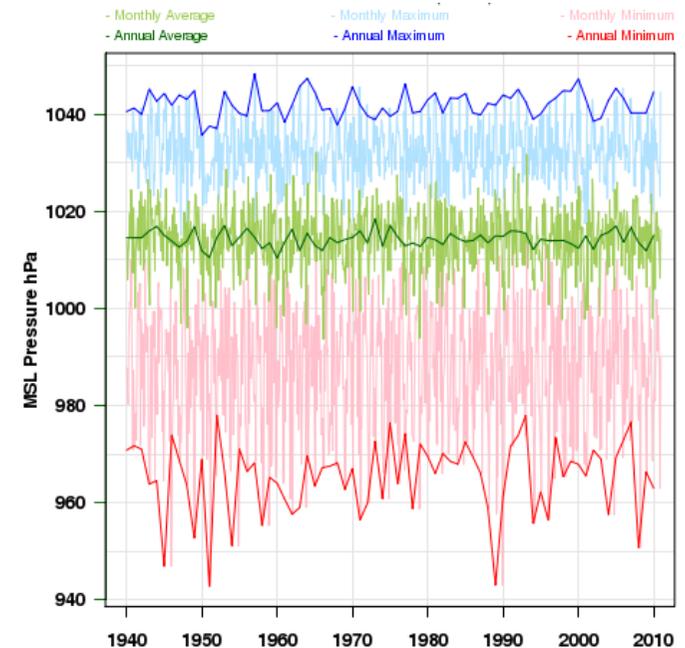
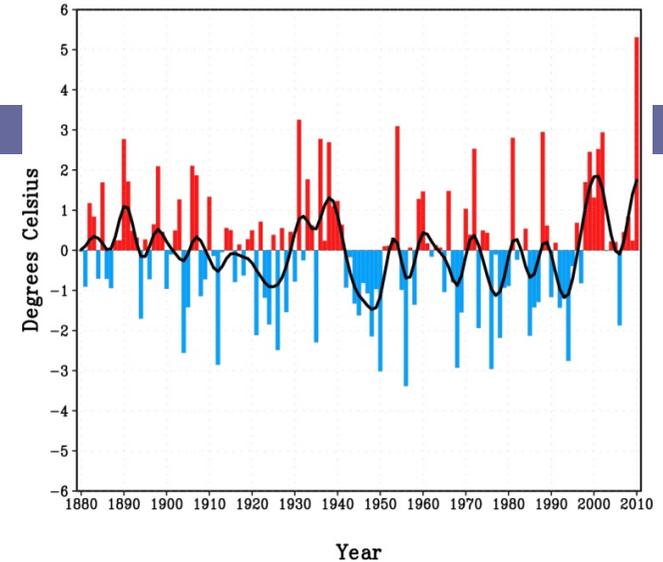
Oscilação Estável



Oscilações

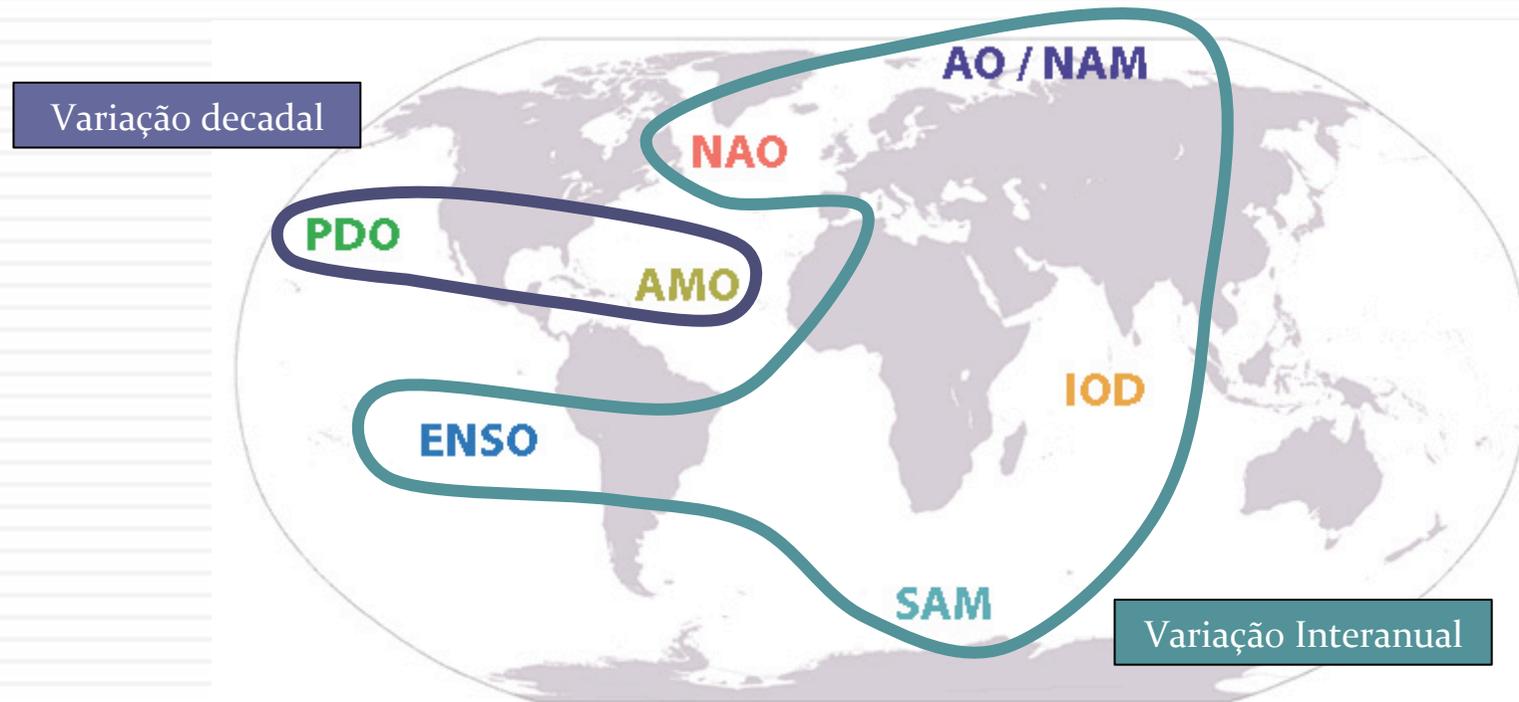
- ❖ Oscilações atmosféricas *podem se ajustar* a qualquer um destes tipos de oscilação;
- ❖ De especial importância são os *campos de pressão atmosférica*;
- ❖ As oscilações possuem uma gama de *periodicidades*: intrassazonal (> 1 ano); interanual (1 ano); quase-bienal (~2 anos); decadal (10 anos), e etc;
- ❖ As oscilações são derivadas *estatisticamente*, principalmente a partir da série de observação de pressão de longo período.

July Temperature for 50°N–60°N; 35°E–55E
1880–2009



Modos de variabilidade

□ Principais Oscilações ou Modos de Variabilidade



Modos de variabilidade climática

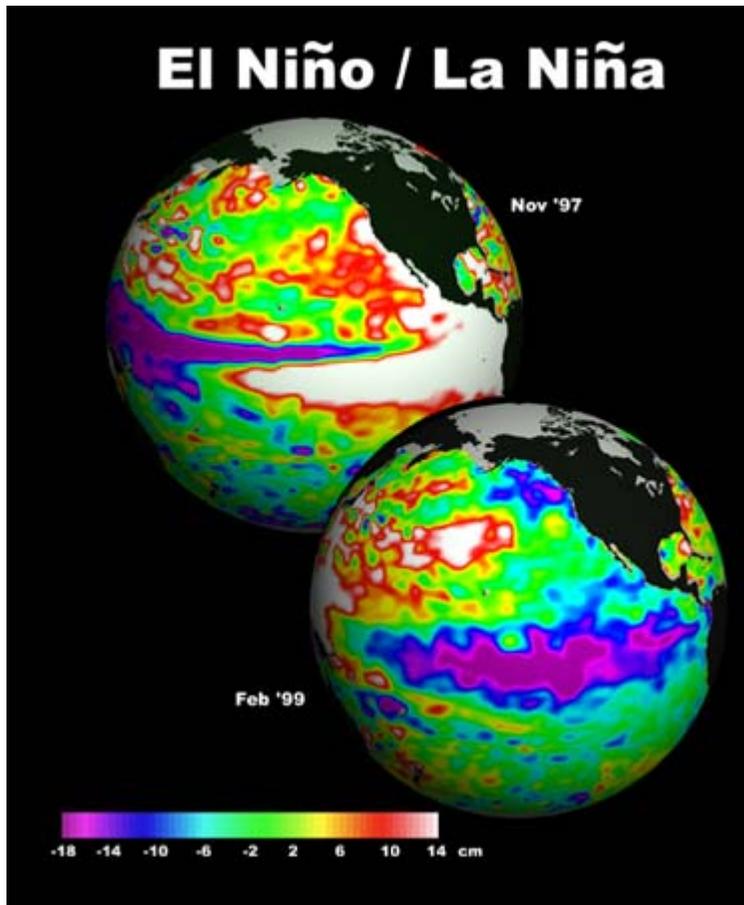
❖ *Modo de variabilidade*: é um padrão climático com características identificáveis, efeitos regionais específicos e comportamento oscilatório.

❖ Muitos modos de variabilidade são usados em climatologia como *índices para representar o estado climático geral de uma região*, que é afetada por um determinado padrão.

TABLE S15.1 Some of the Principal Modes of Natural Climate Variability

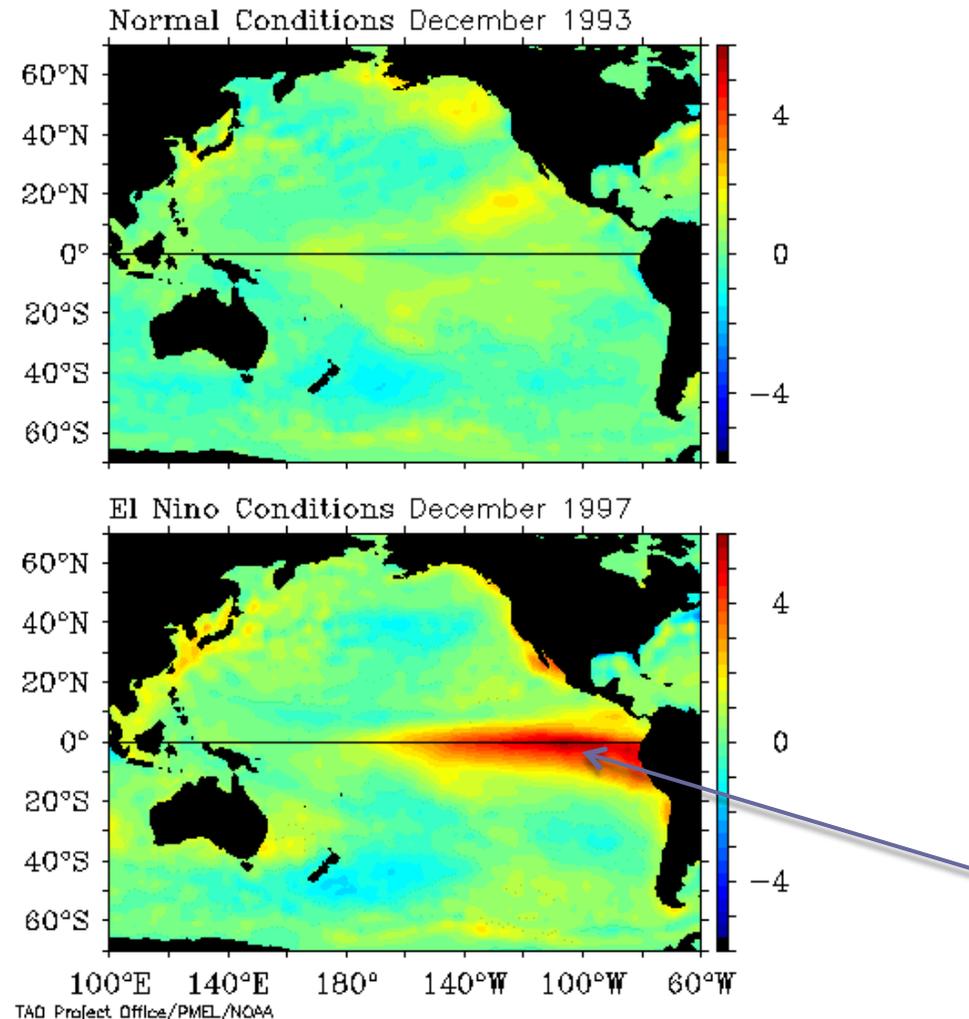
Climate Mode	Acronym	Approximate Timescale
Atlantic Meridional Mode	AMM	Interannual
Atlantic Niño	—	Interannual
Arctic Oscillation (also called Northern Annular Mode) and the closely related North Atlantic Oscillation	AO (NAM) NAO	Decadal
East Atlantic Pattern	EAP	Decadal
Atlantic Multidecadal Oscillation	AMO	Multidecadal
El Niño-Southern Oscillation (Southern Oscillation Index)	ENSO (SOI)	Interannual
Pacific Decadal Oscillation (closely related: North Pacific Index and Pacific North American teleconnection)	PDO (NPI) (PNA)	Decadal
North Pacific Gyre Oscillation	NPGO	Decadal
Indian Ocean Dipole mode	IOD	Interannual
Antarctic Oscillation (also called the Southern Annular Mode)	AAO (SAM)	Decadal

El Niño-Oscilação Sul (ENSO)

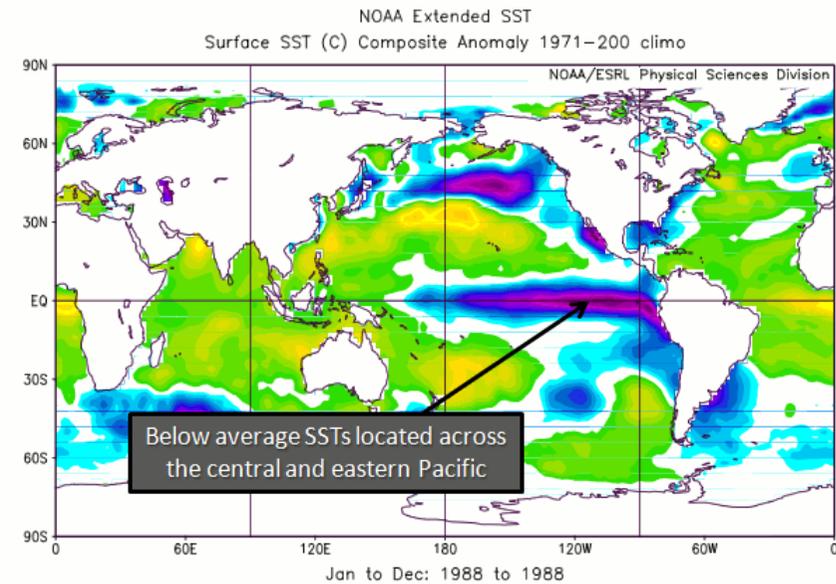
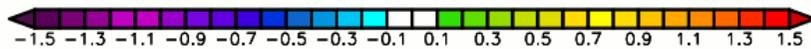
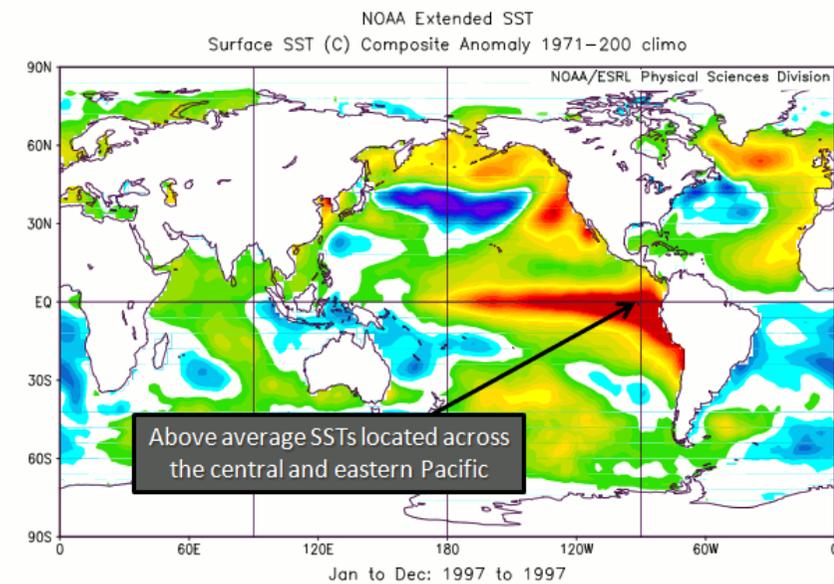


- ❖ O ENSO é um padrão de variabilidade climática devido as *alterações das condições atmosféricas e oceânicas no Pacífico Equatorial*;
- ❖ O *termo El Niño* é utilizado para caracterizar o aquecimento anômalo das águas superficiais do *oceano Pacífico tropical*;
- ❖ A *componente atmosférica* relacionada às mudanças oceânicas durante o El Niño é chamada de *Oscilação Sul (Southern Oscillation)*;
- ❖ *Escala temporal com frequência de 3-7 anos*;

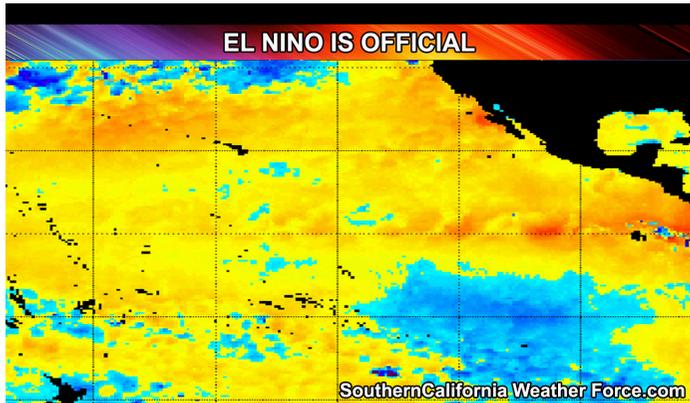
Aquecimento do Pacífico leste



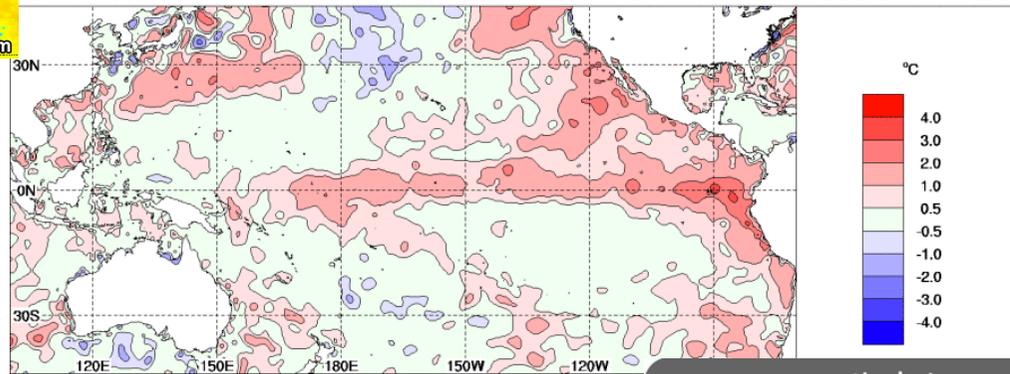
El Nino / La Nina



El Nino 2015



SSTA 1.0X1.0 NMOC OCEAN ANOMALIES (C) 20150504 20150510

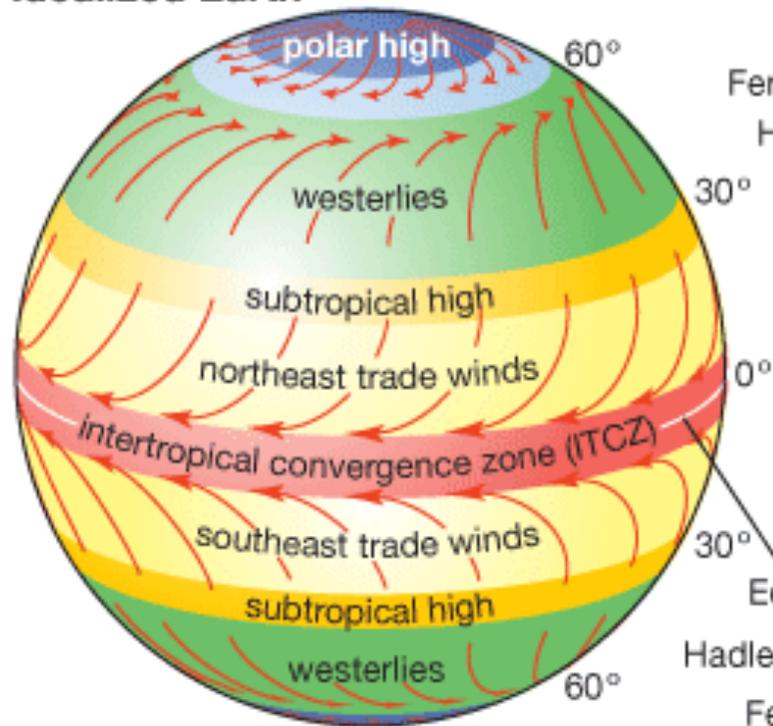


El Niño

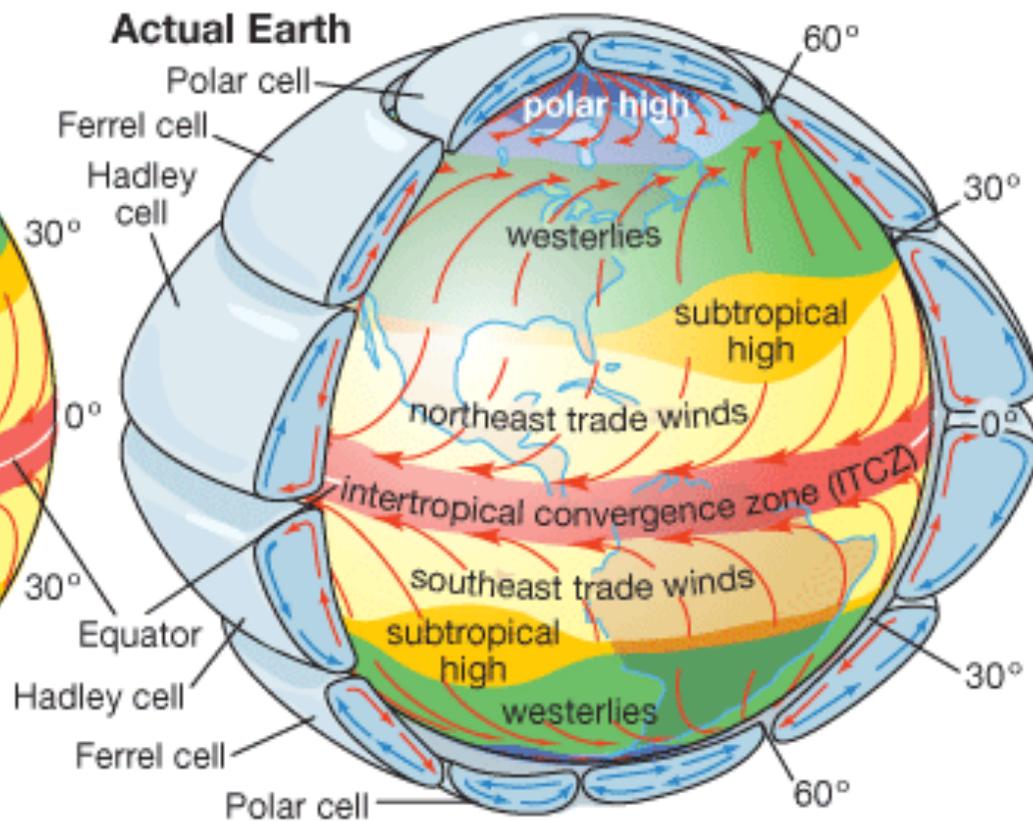
- Interação Oceano-Atmosfera: ENSO;
- As consequências do fenômeno são de caráter Global (Teleconexões)! Ex: Enchentes no Peru/Chile/Equador , secas na Austrália, Indonésia e NE Brasileiro, enchentes no Sul do Brasil; Quebra da safra de Anchoveta no Peru/Chile e na extração de guano.

Circulação Atmosférica

Idealized Earth

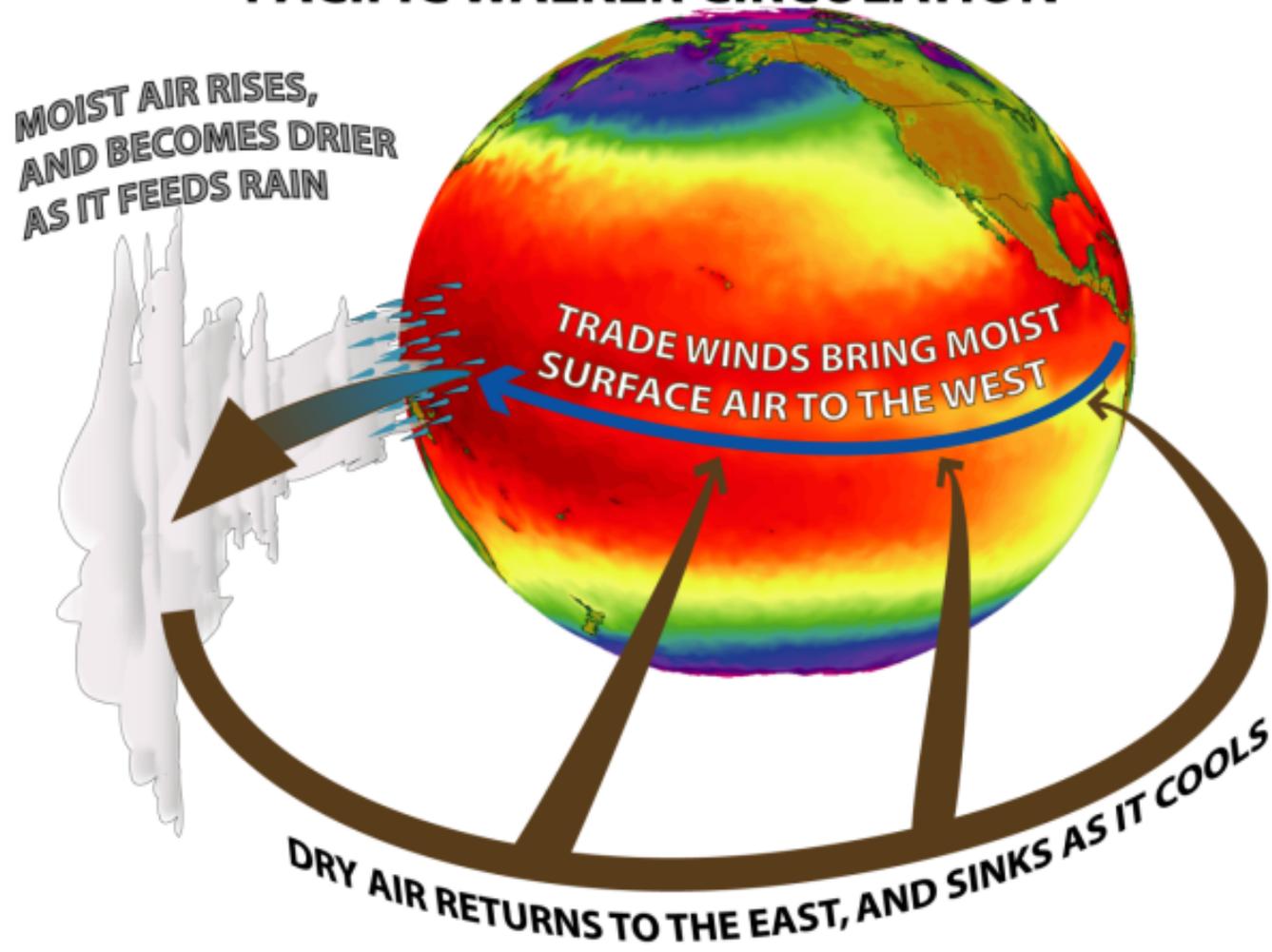


Actual Earth

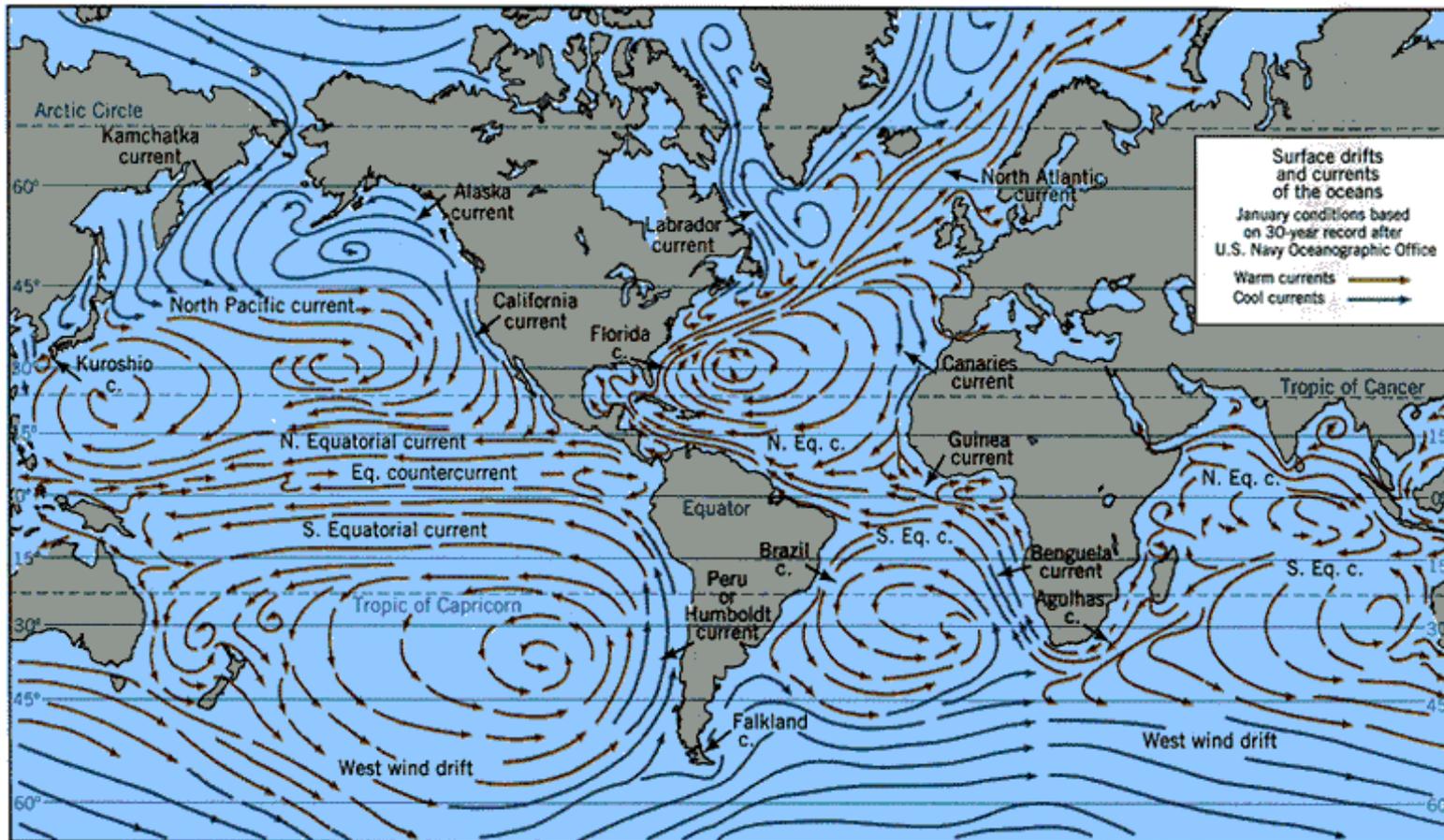


Circulação Atmosférica

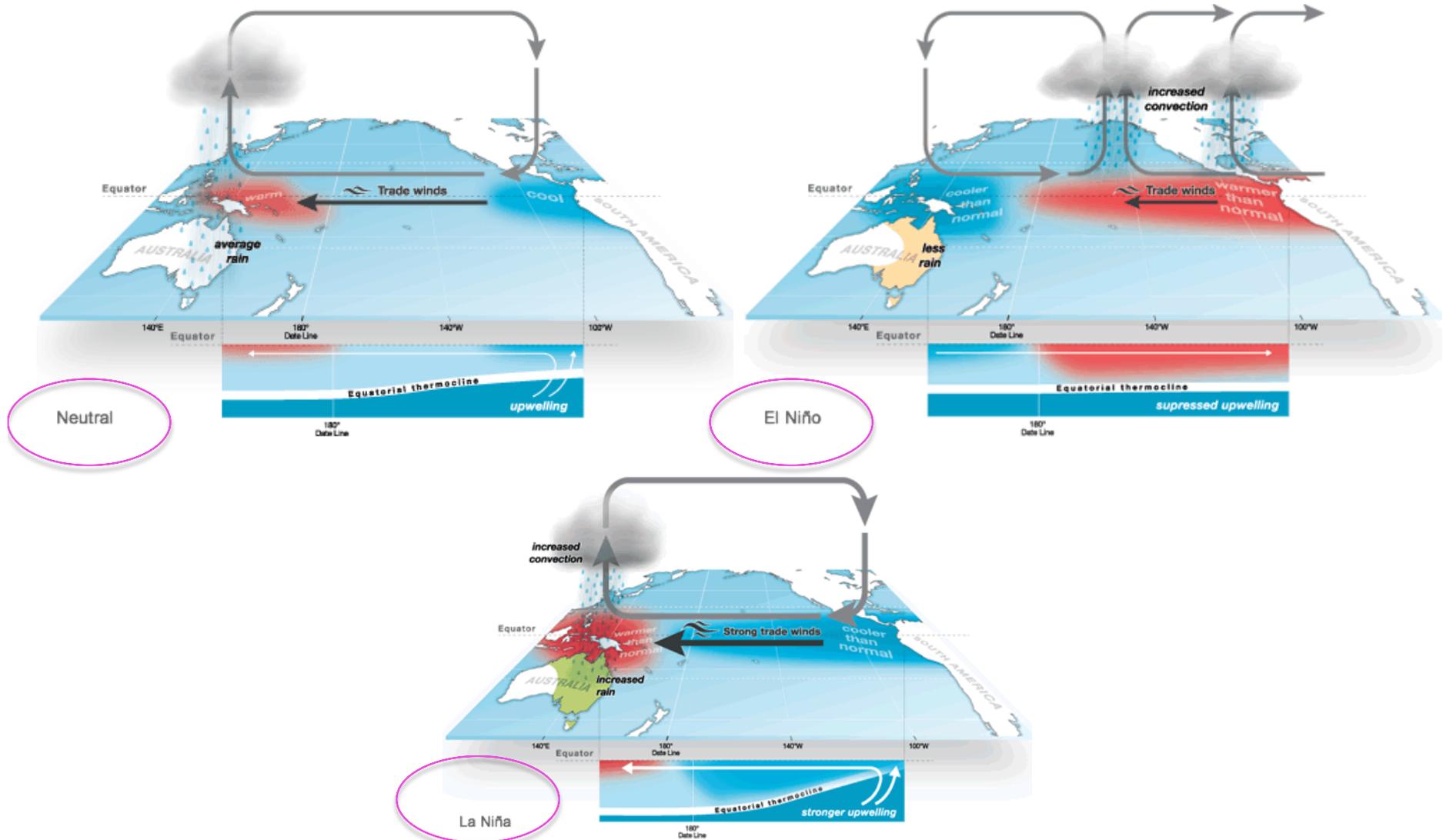
PACIFIC WALKER CIRCULATION



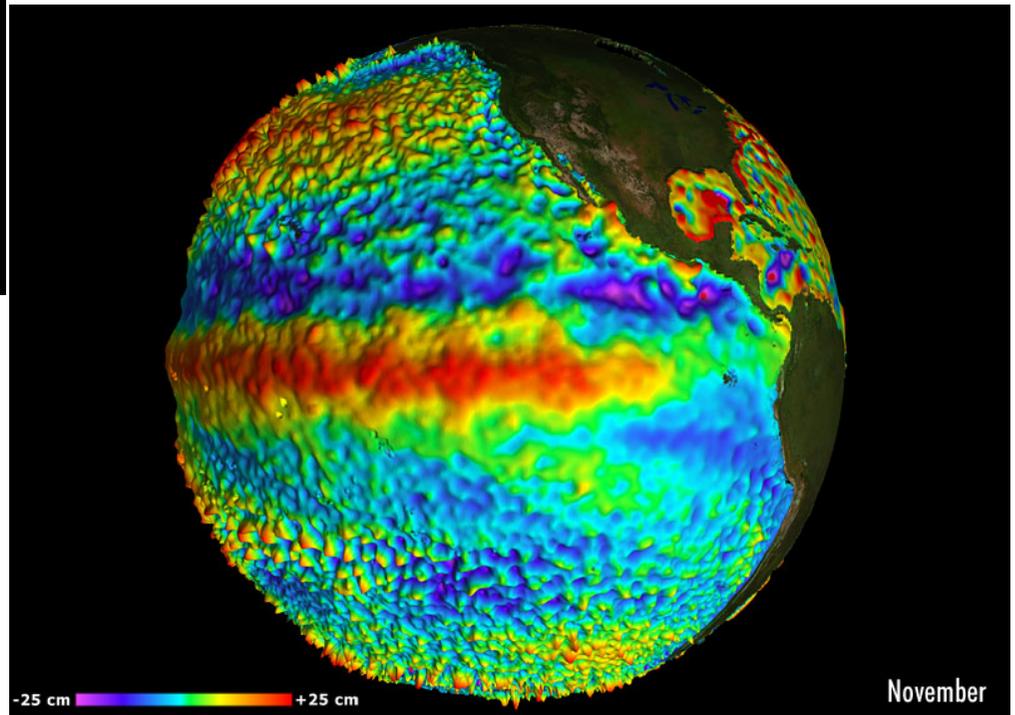
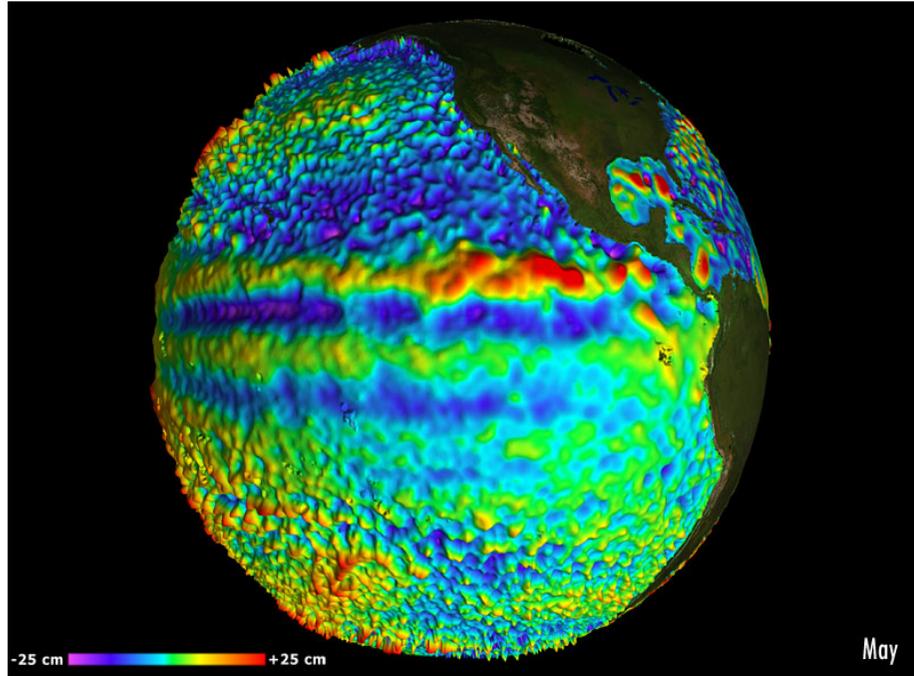
Circulação Oceânica



ENSO

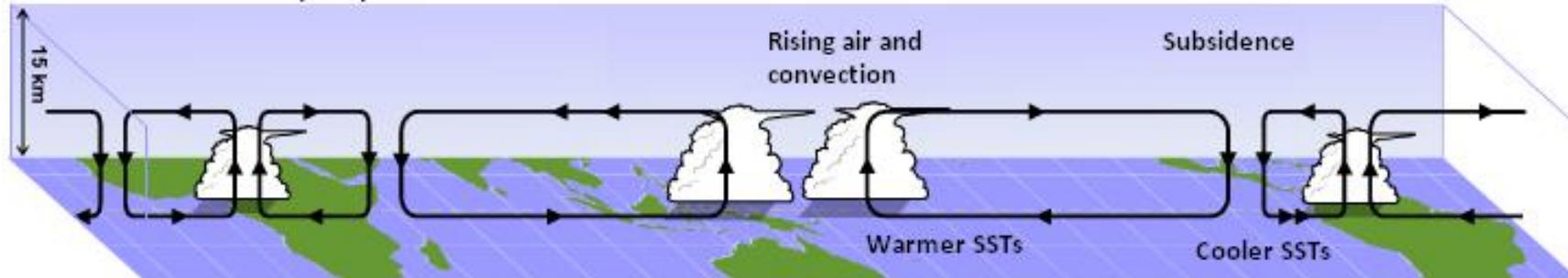


ENSO

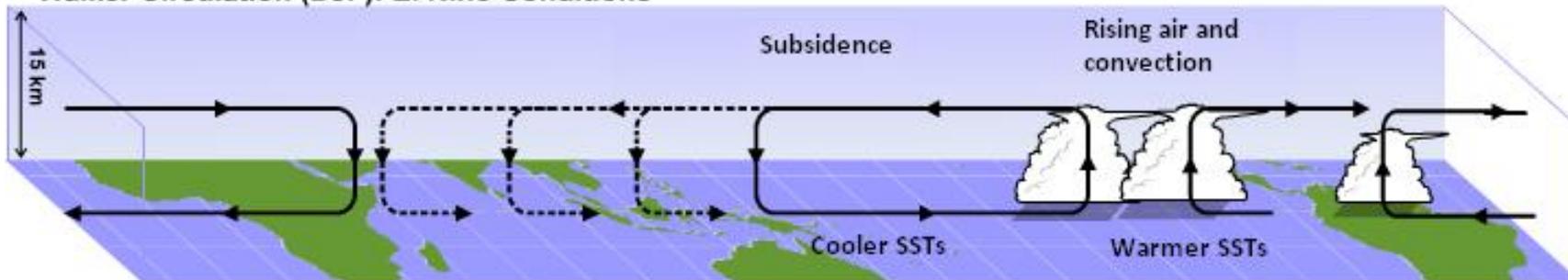


Consequências do El Niño

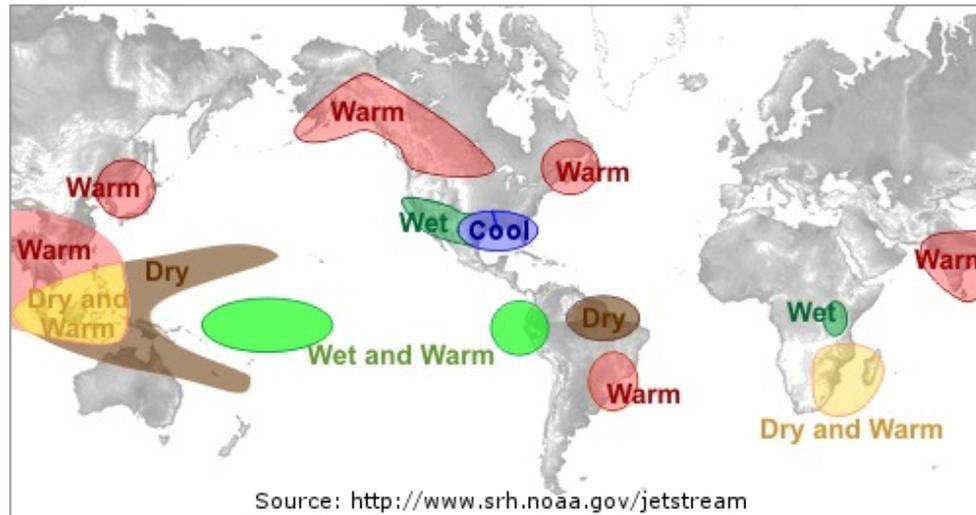
Walker Circulation (DJF): Non-El Niño Conditions



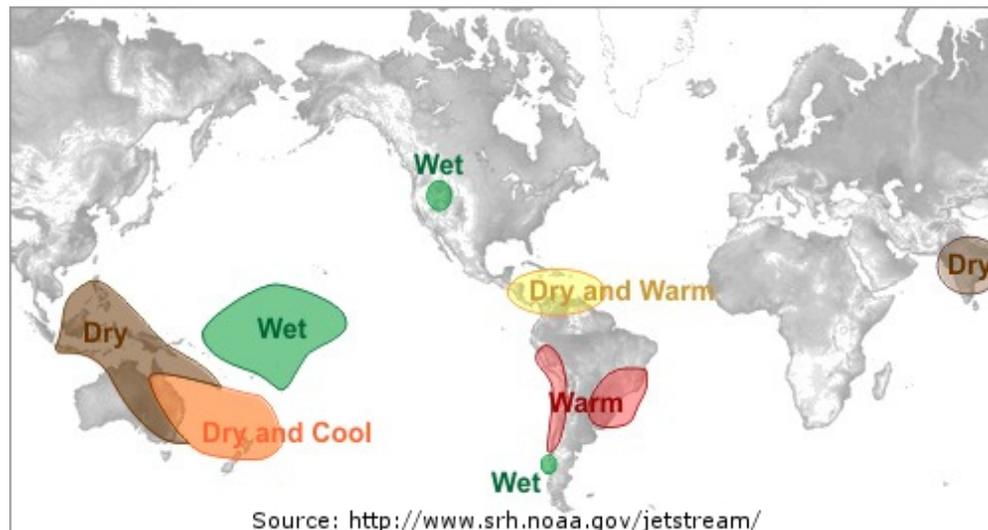
Walker Circulation (DJF): El Niño Conditions



Consequências do El Nino

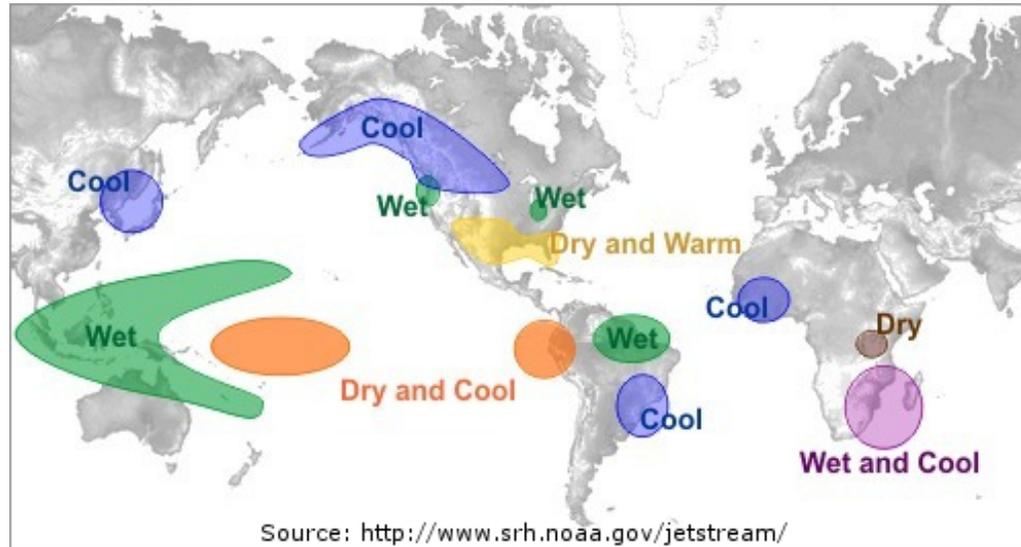


Dez-Jan - Fev

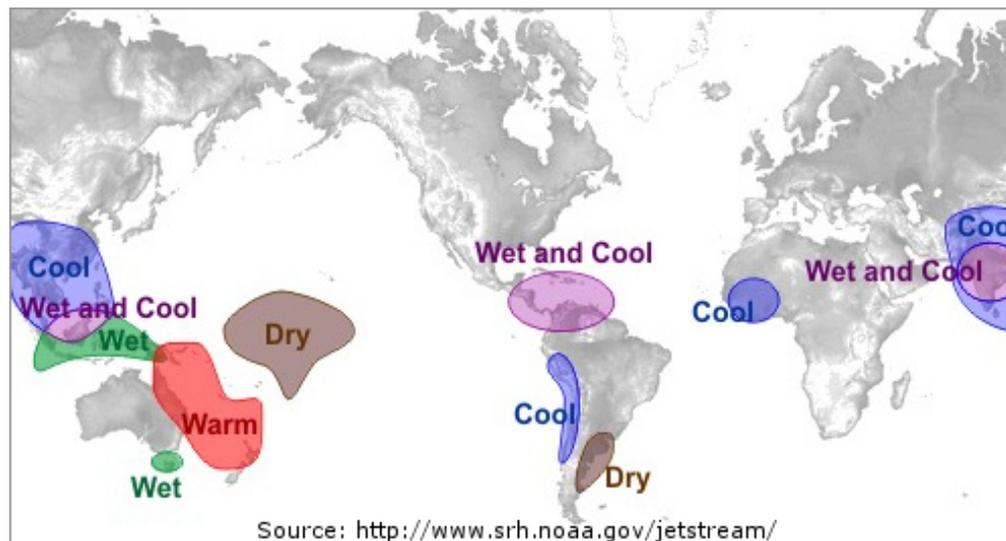


Jun-Jul-Ago

Consequências da La Nina



Dez-Jan - Fev

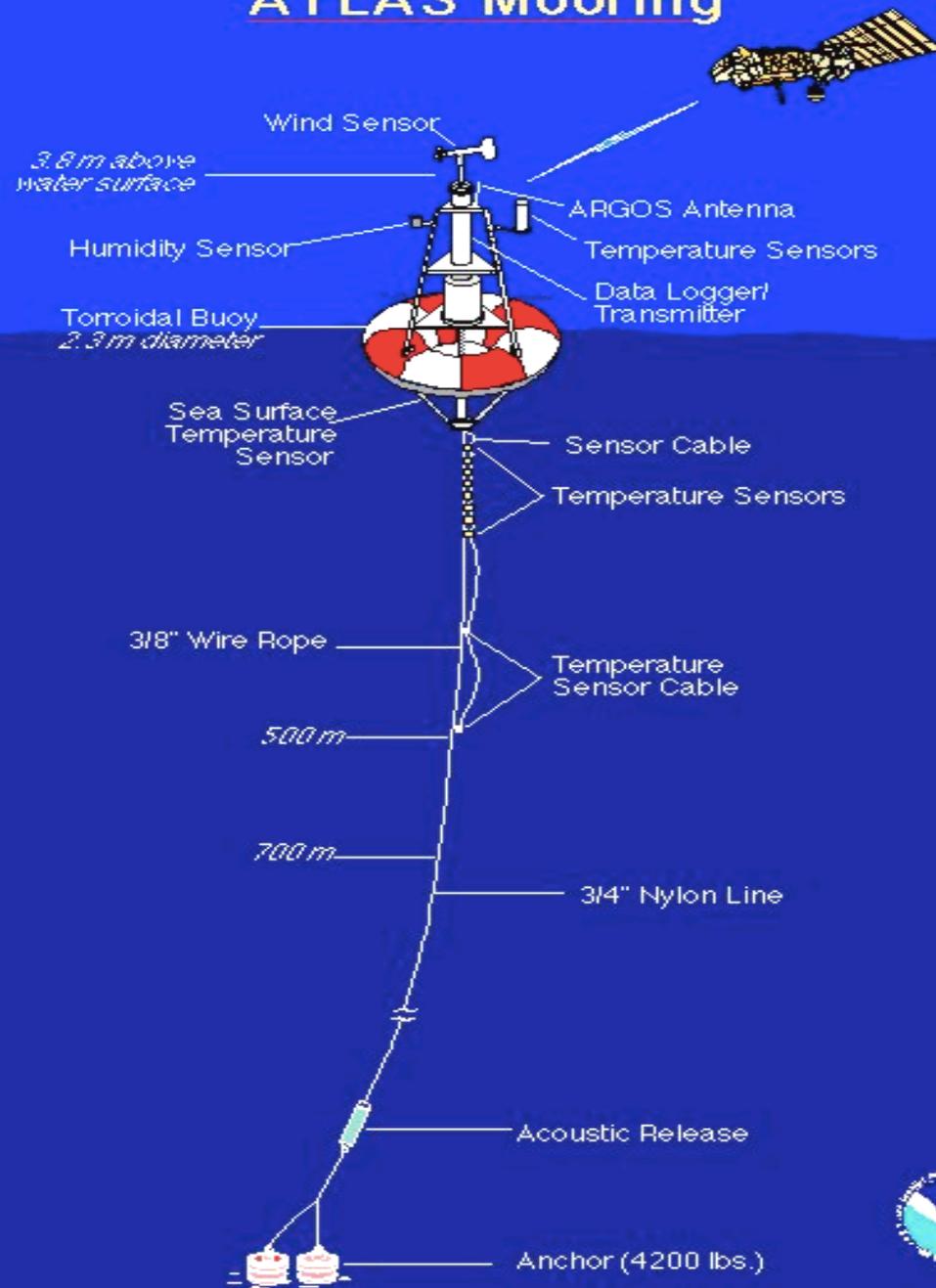


Jun-Jul-Ago

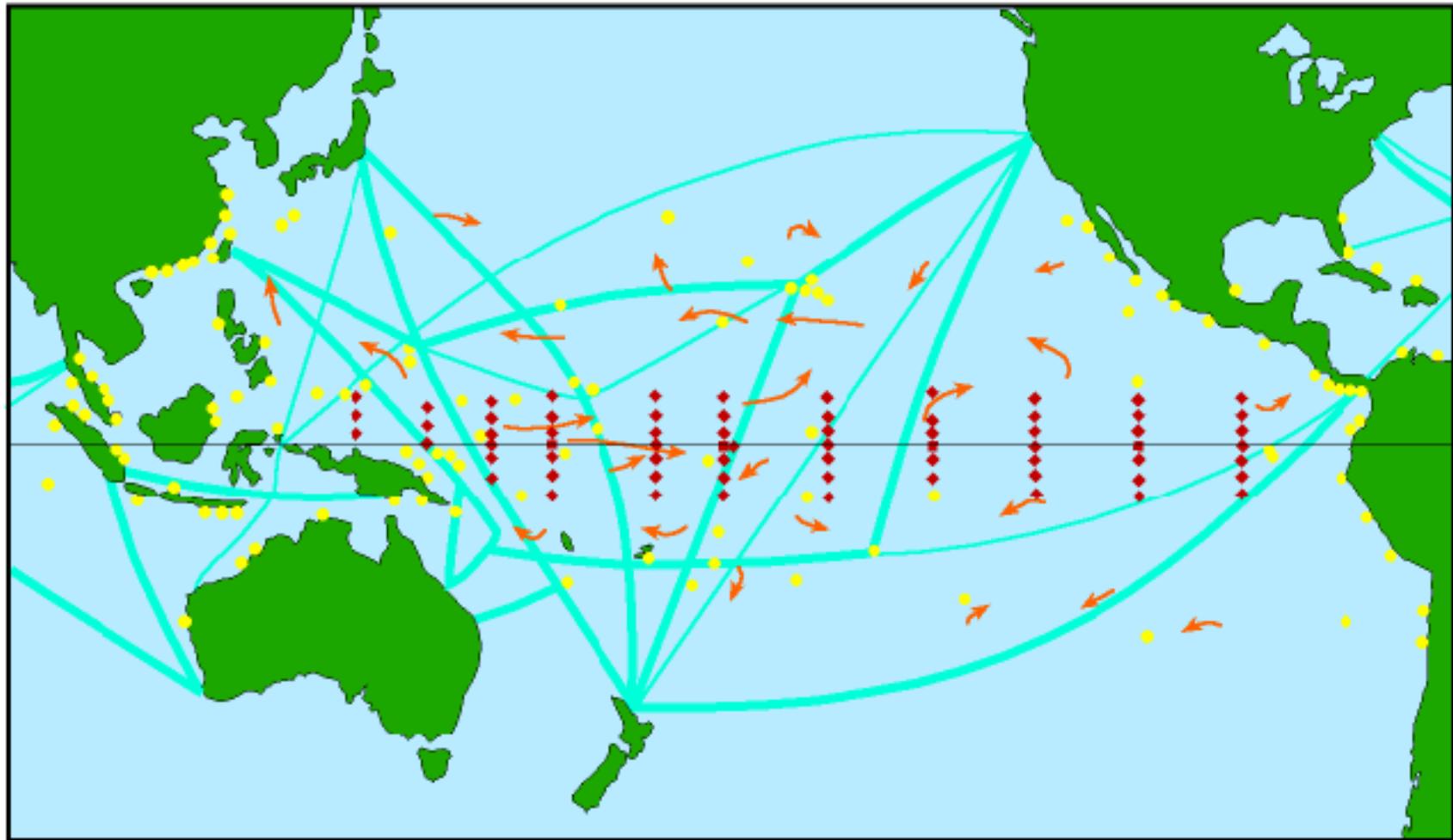
Medindo o ENSO



ATLAS Mooring



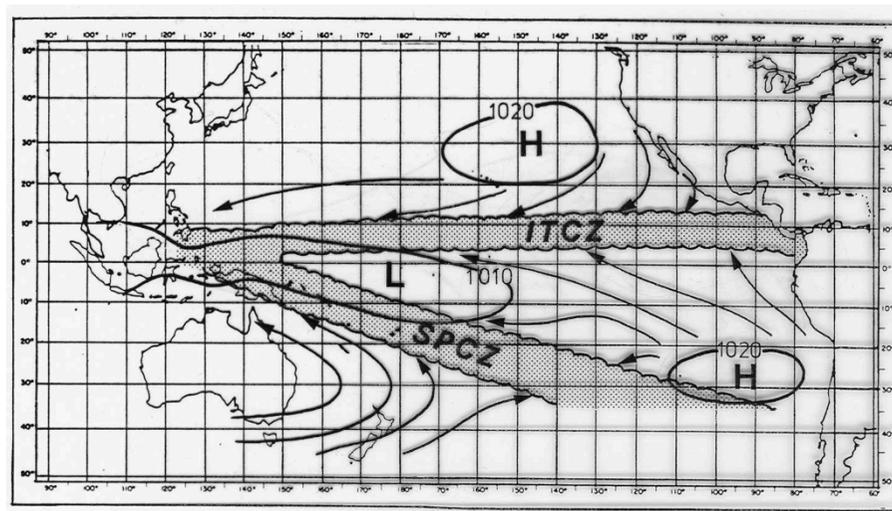
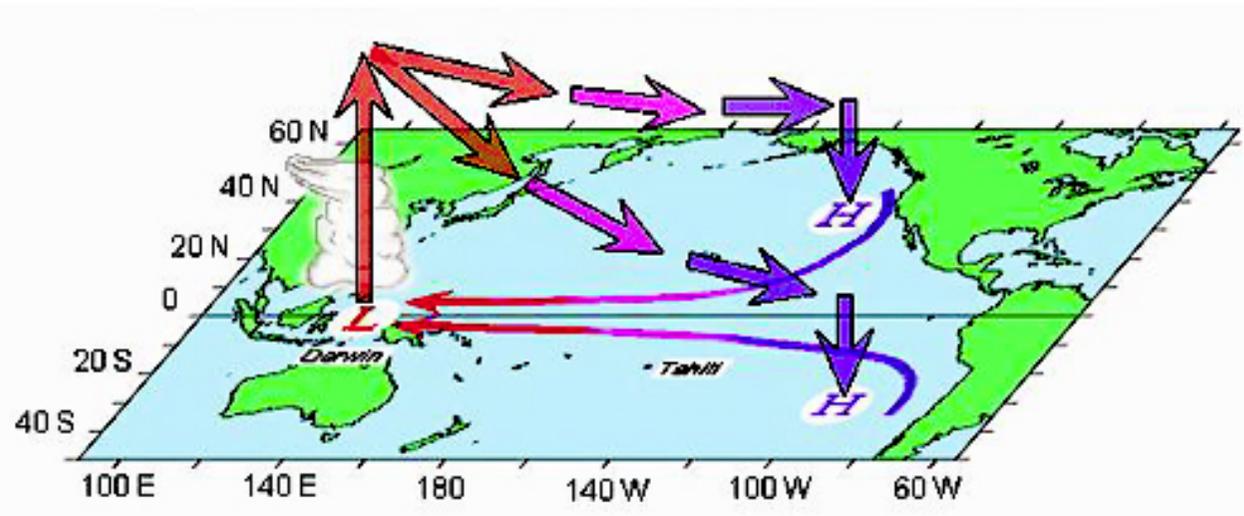
ENSO Observing System

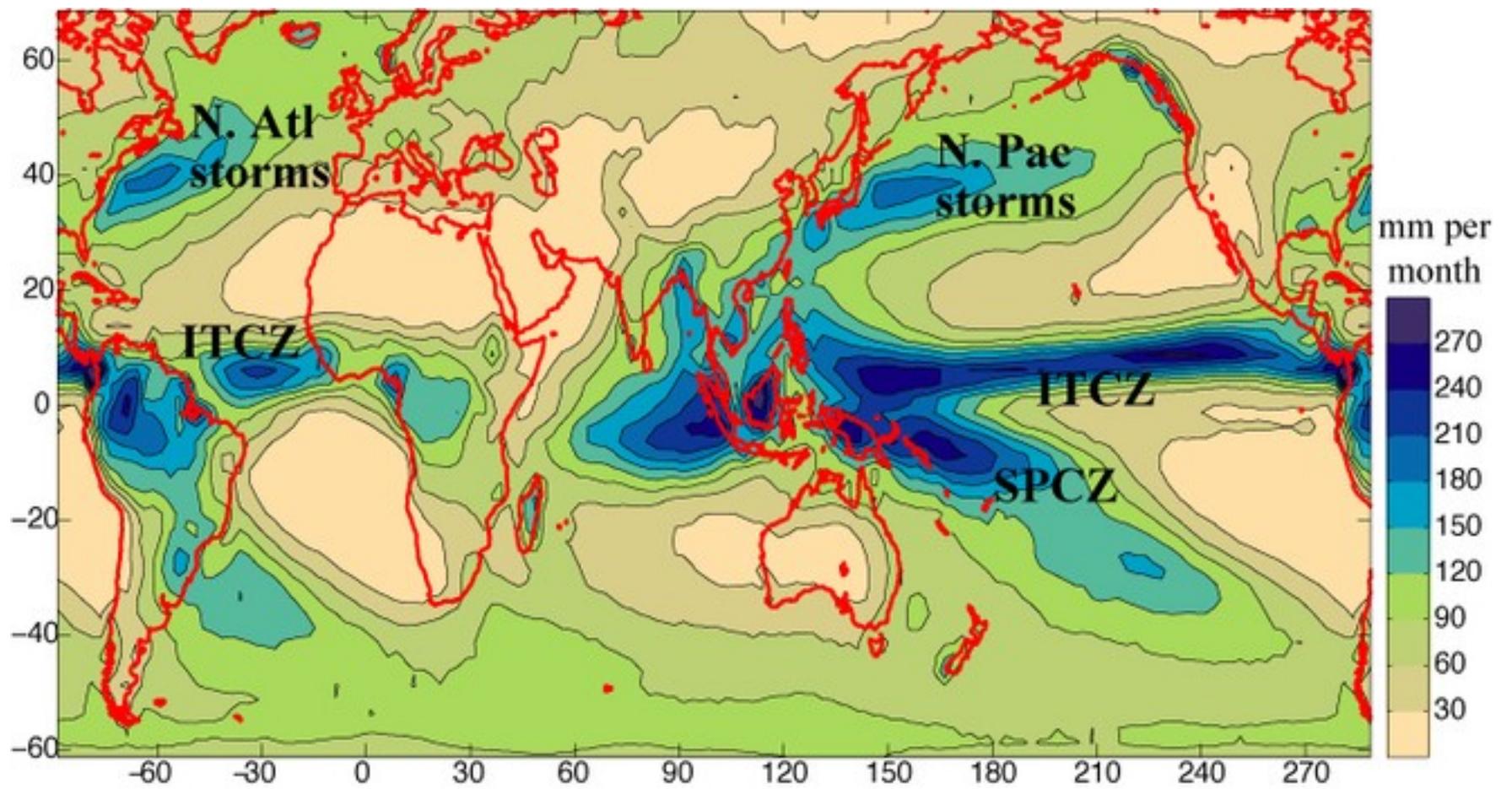


Oscilação Sul

- Interação Oceano-Atmosfera: ENSO;
- Parte atmosférica

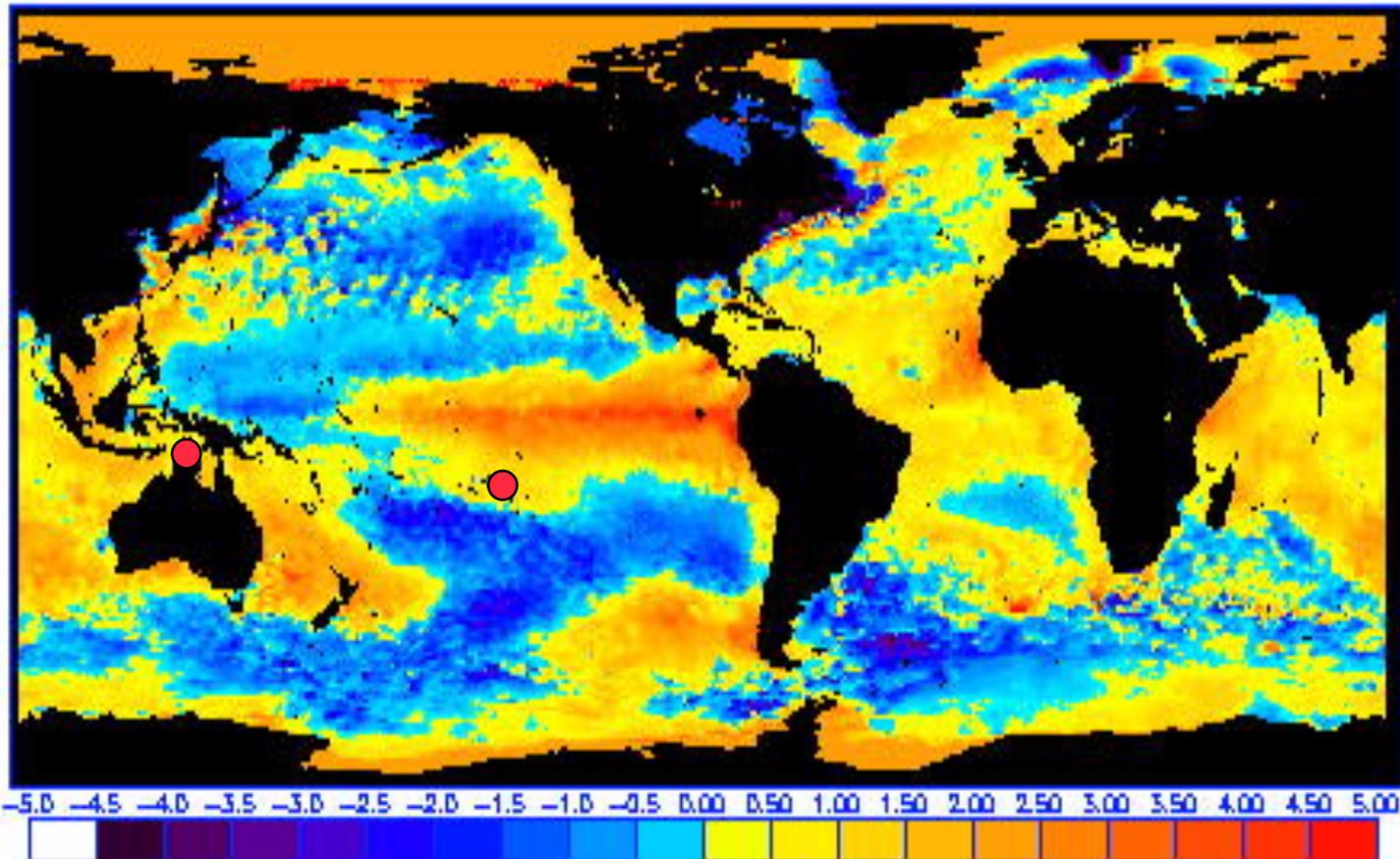
Zonas de Convergência do Pacífico



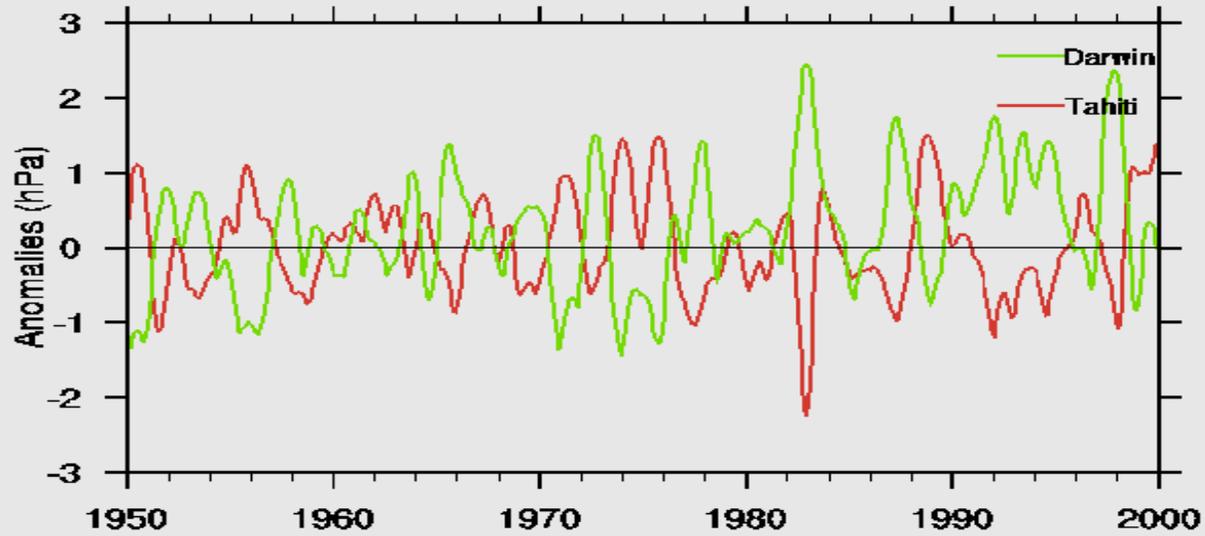


Darwin and Tahiti

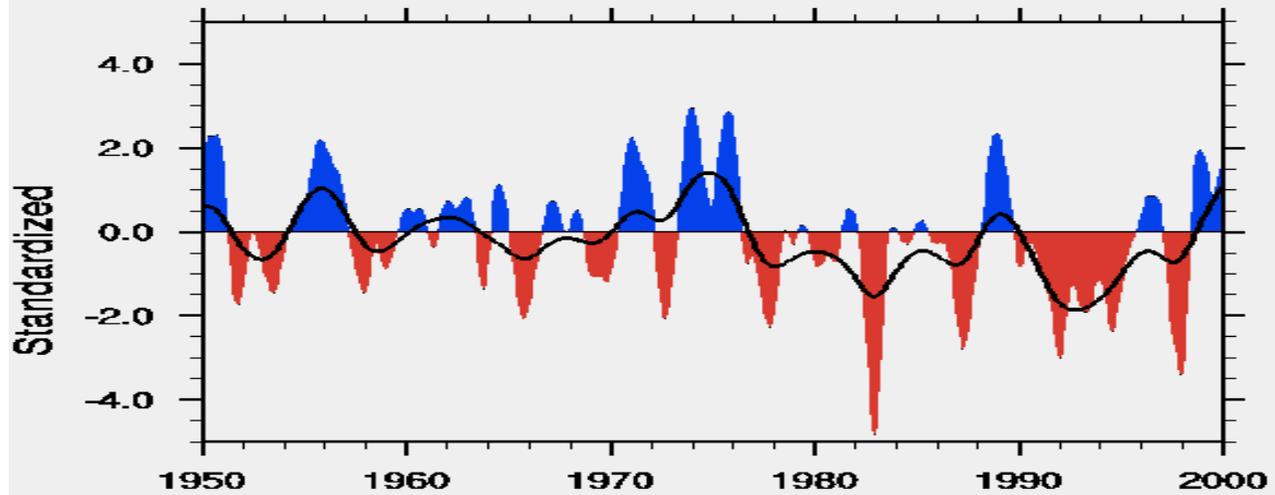
NOAA Current SST Anomalies, 2/24/1998



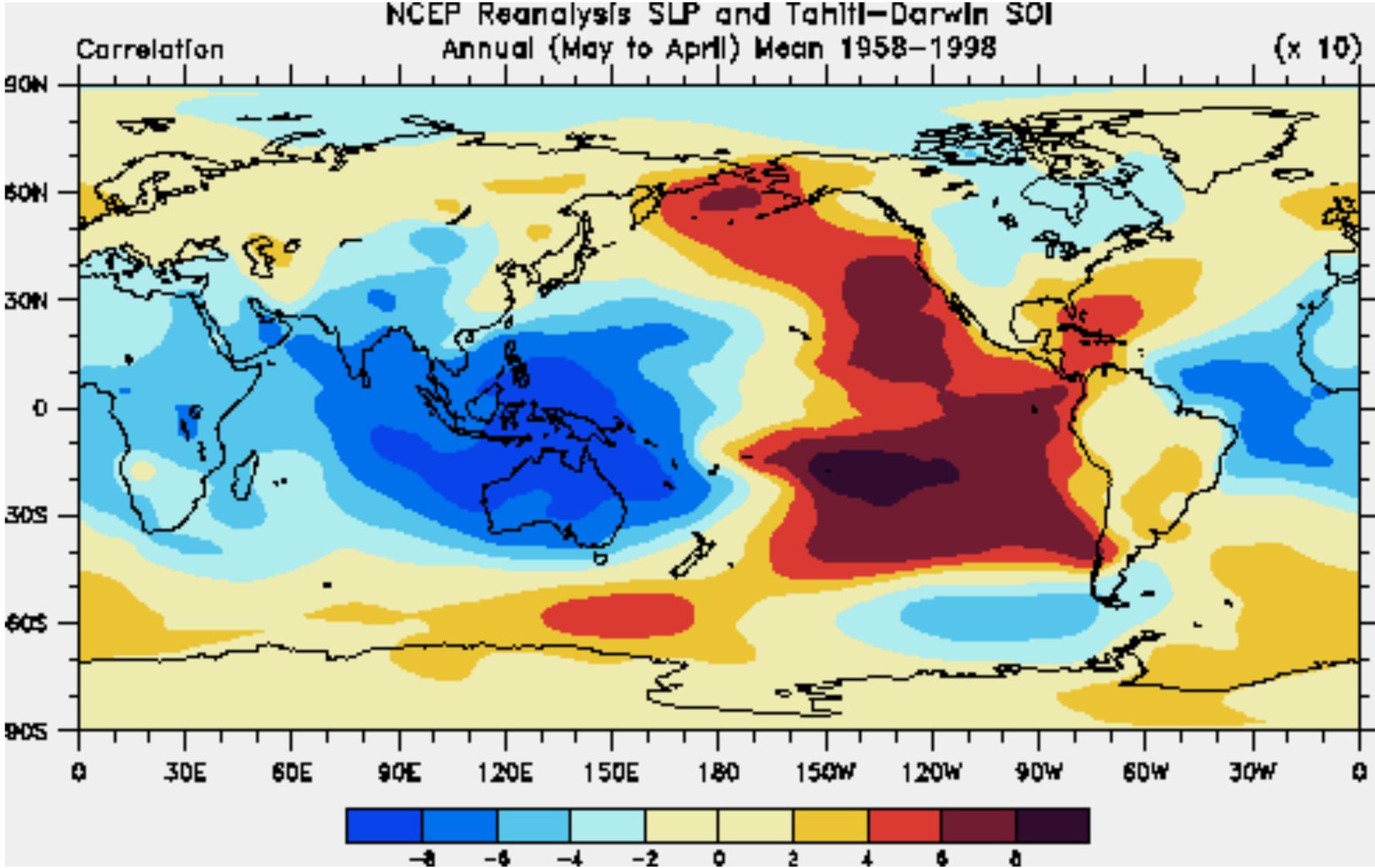
Darwin and Tahiti pressure anomalies



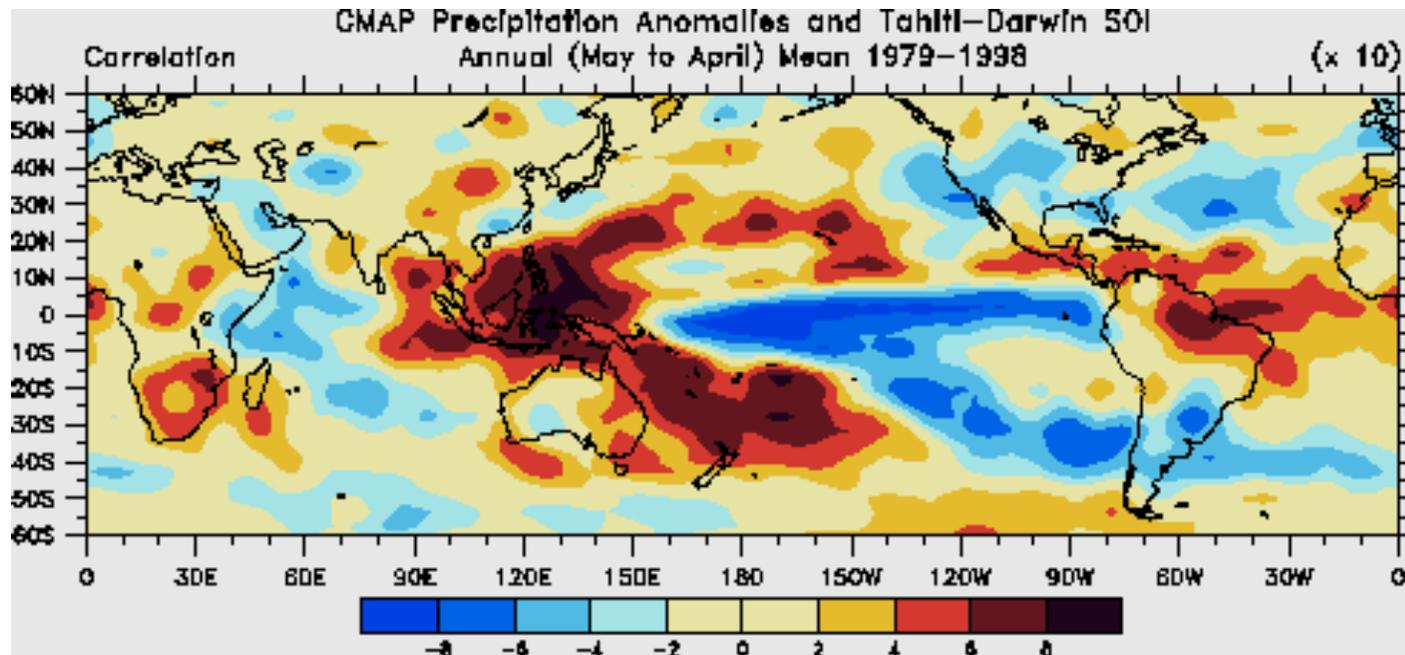
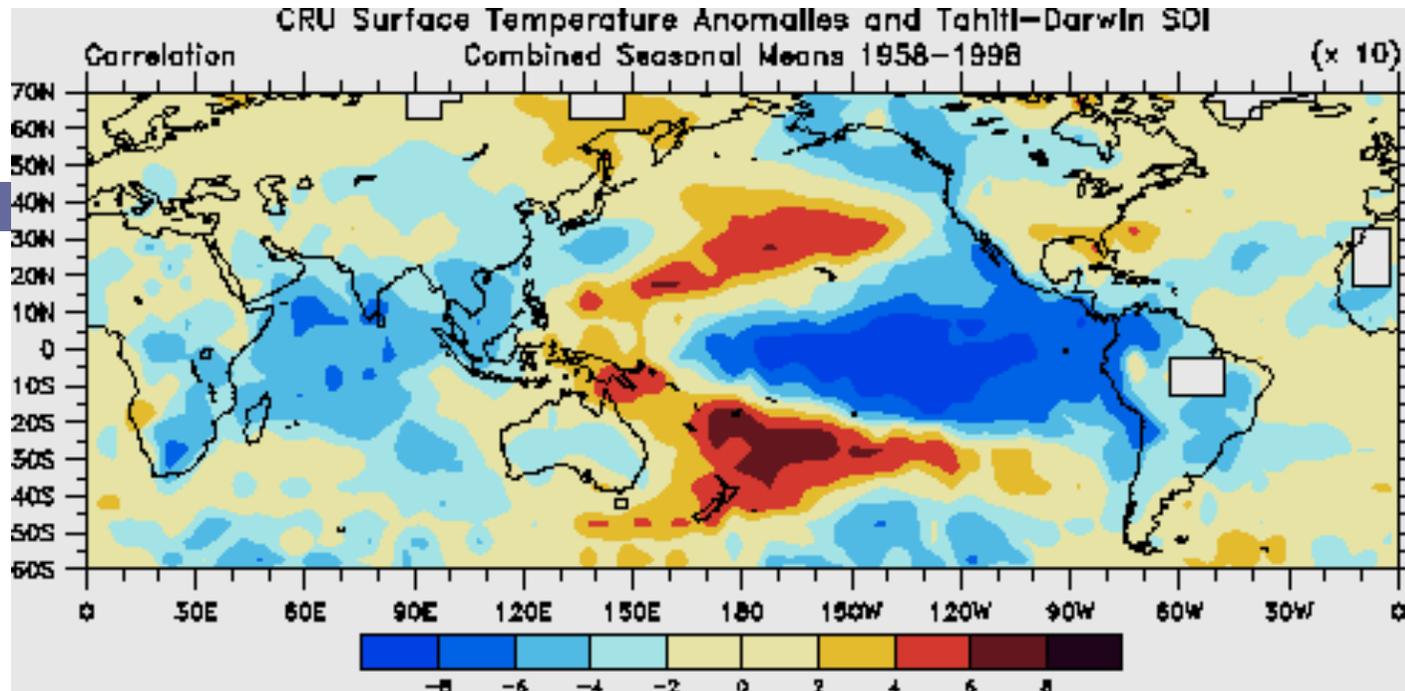
Southern Oscillation Index



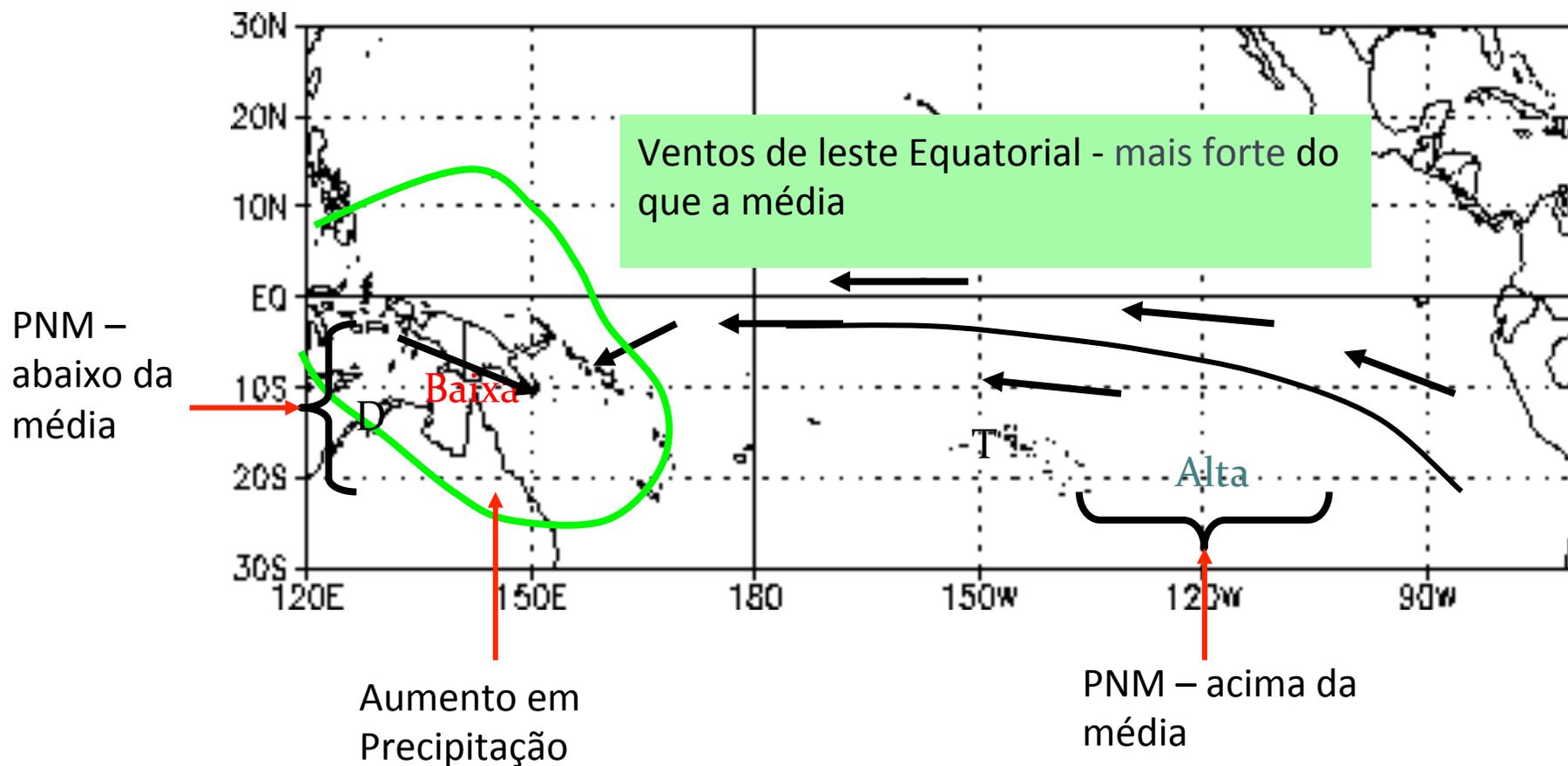
Southern Oscillation pattern: annual mean sea level pressure



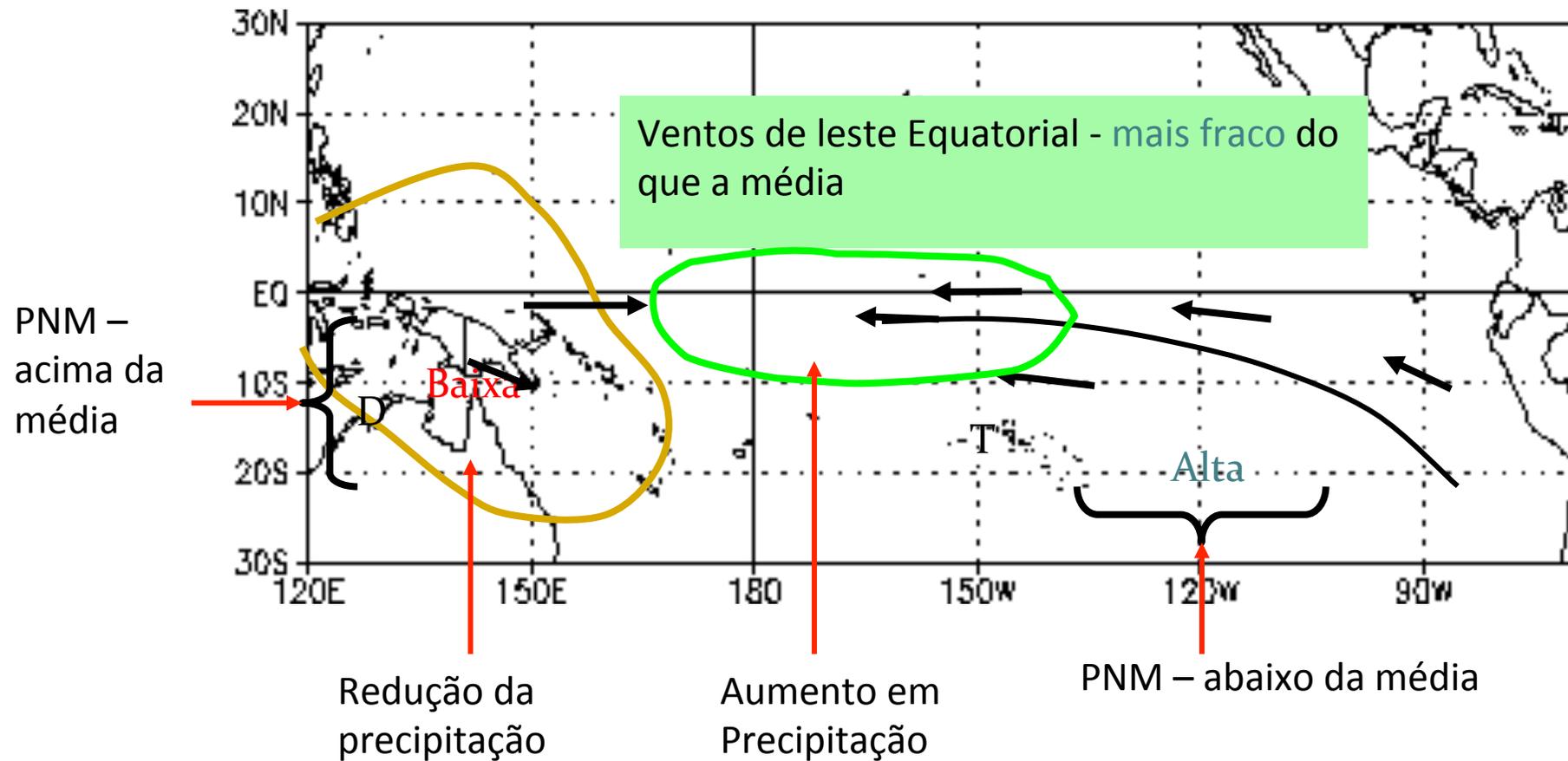
SO: surface temperature and annual precipitation



Oscilação Sul - Fase alta do índice (La Niña)



Oscilação Sul - Fase baixa do índice (El Niño)

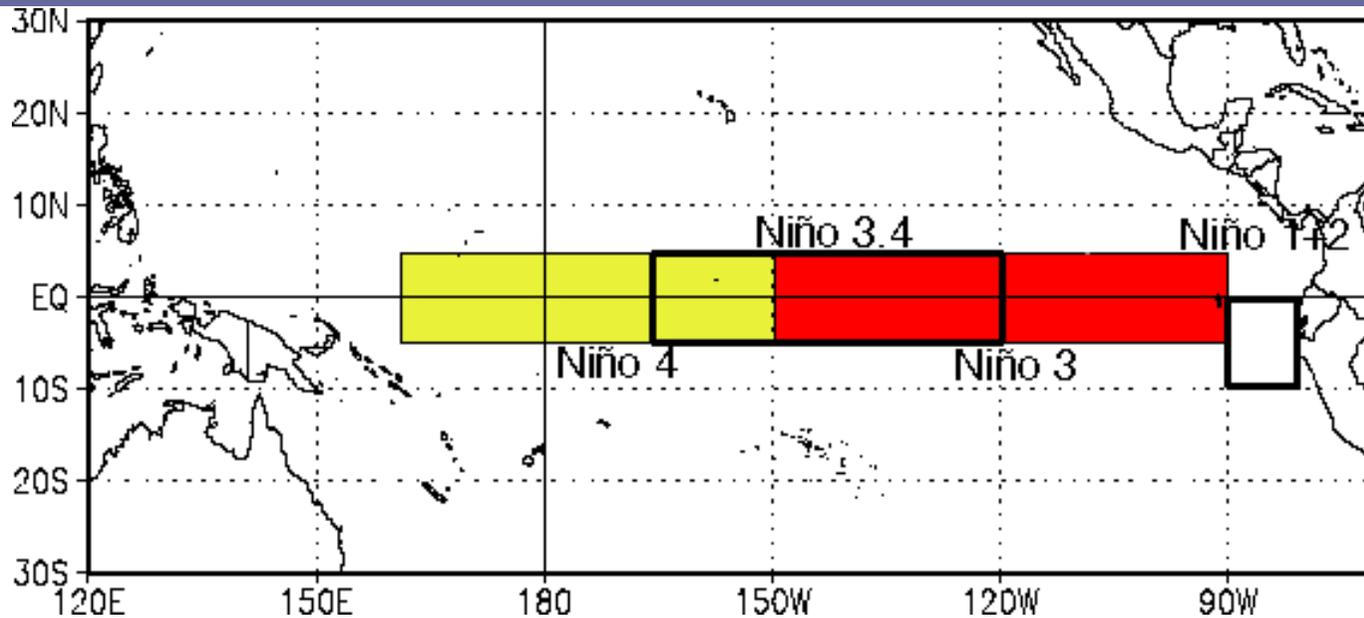


Monitoramento do ciclo ENOS (cont.)

Índices Oceânicos

- Temperatura da superfície do mar
- Temperatura da Subsuperfície do mar

Regiões Niño



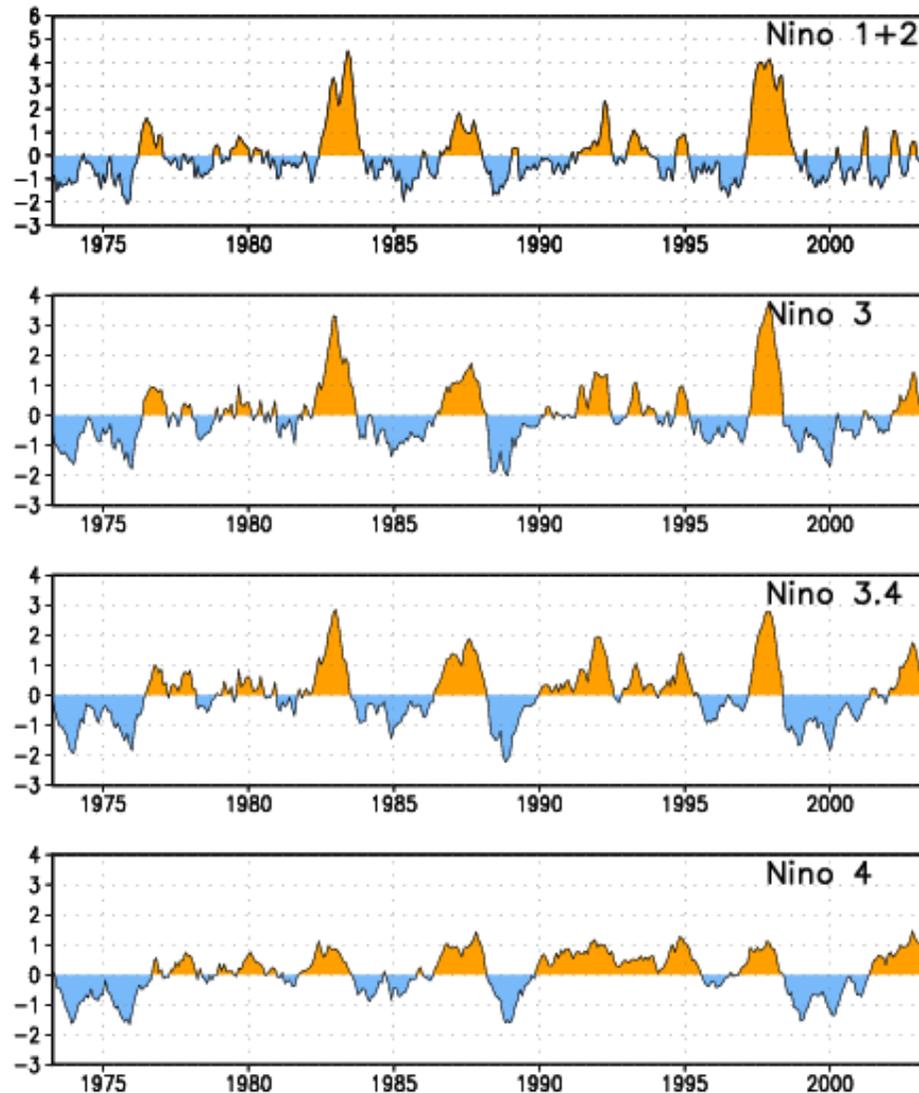
A região Niño 1 +2 - região clássica do El Niño

A região Niño 3.4 - melhor índice para indicar as condições em geral relacionados a ENOS.

Niño Indices

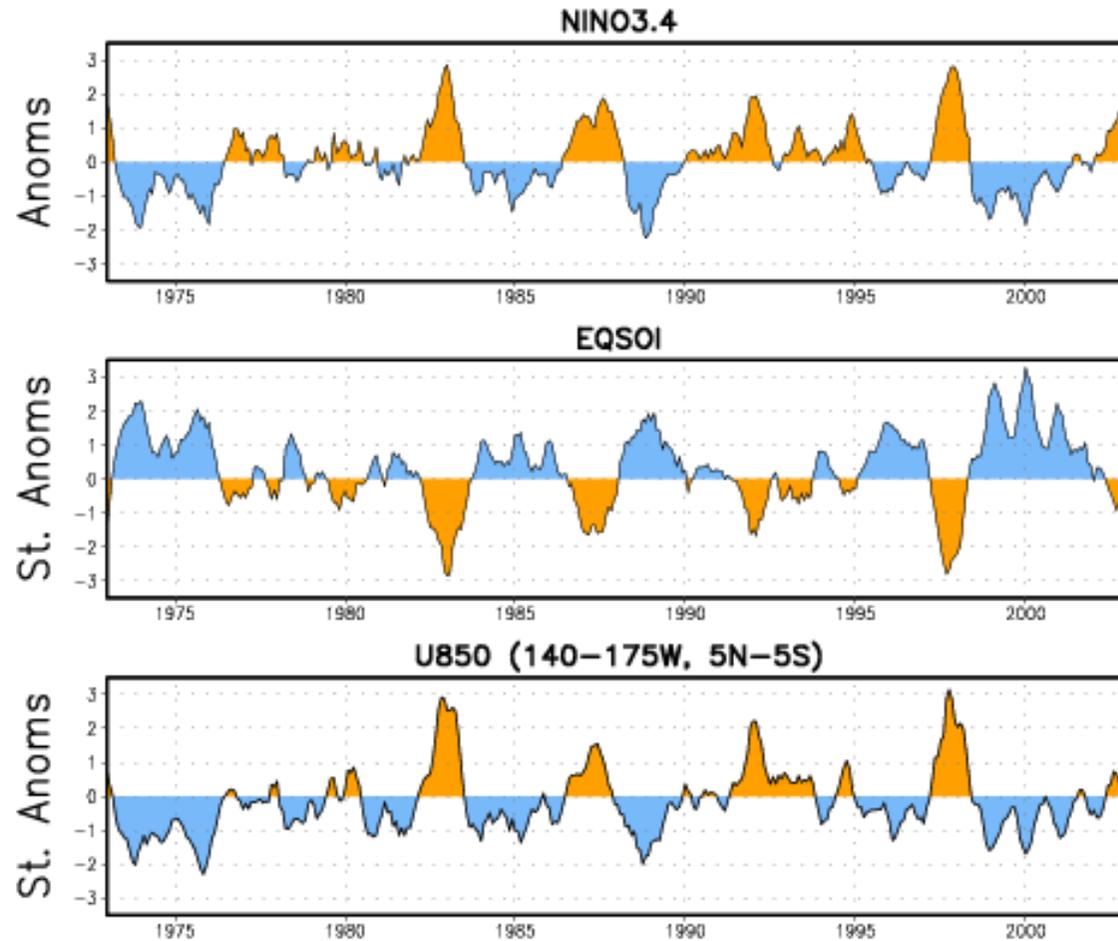
Anomalias positivas maiores ocorrem no leste do Pacífico equatorial (Niño 1 +2 e 3 regiões).

Anomalias negativas têm a mesma magnitude em todas as regiões.



Niño 3.4, EQSOI e U850

Anomalias positivas de TSM ocorrem com anomalias positivas de vento zonal em 850-hPa (ventos de leste mais fraco do que a média) e os valores negativos do EQSOI e vice-versa.

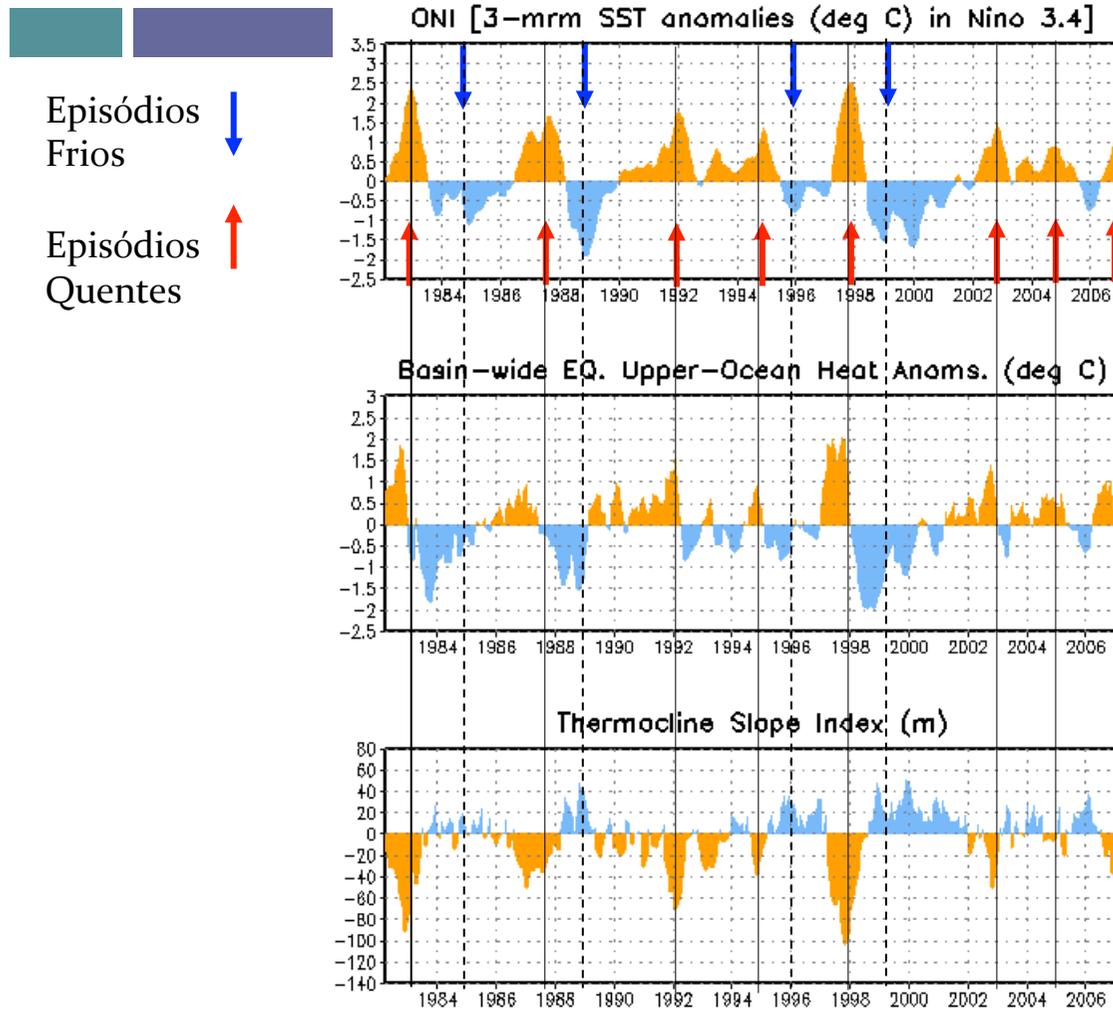


O EQSOI é baseado na diferença de pressão entre regiões equatoriais sobre o Pacífico Leste e Indonésia.

Oceanic Niño Index (ONI)

- Baseado na medida principal de monitoramento, previsão, e avaliação do ENOS (anomalias de TSM na região Niño-3.4)
- Media corrida de três meses dos valores de anomalias de TSM na região Niño-3.4, com base em um conjunto de análises históricas homogêneas de TSM [Extended Reconstructed SST (version 2), Smith and Reynolds, 2003, *J. Climate*, 16, 1495-1510]
- Usado para colocar as condições atuais em perspectiva histórica
- Definições operacionais do NOAA para El Niño e La Niña são diretamente relacionadas com o índice

Condições na Camada Superior do Oceano Pacífico Equatorial



O conteúdo de calor da bacia na camada superior do oceano equatorial (0-300 m) é maior antes e durante as fases iniciais de episódios quentes (El Niño) (compare os dois painéis no topo) e menor antes e durante as fases iniciais de episódios frios (La Niña).

A inclinação da termoclina oceânica é menor (maior) durante episódios quente (frio).

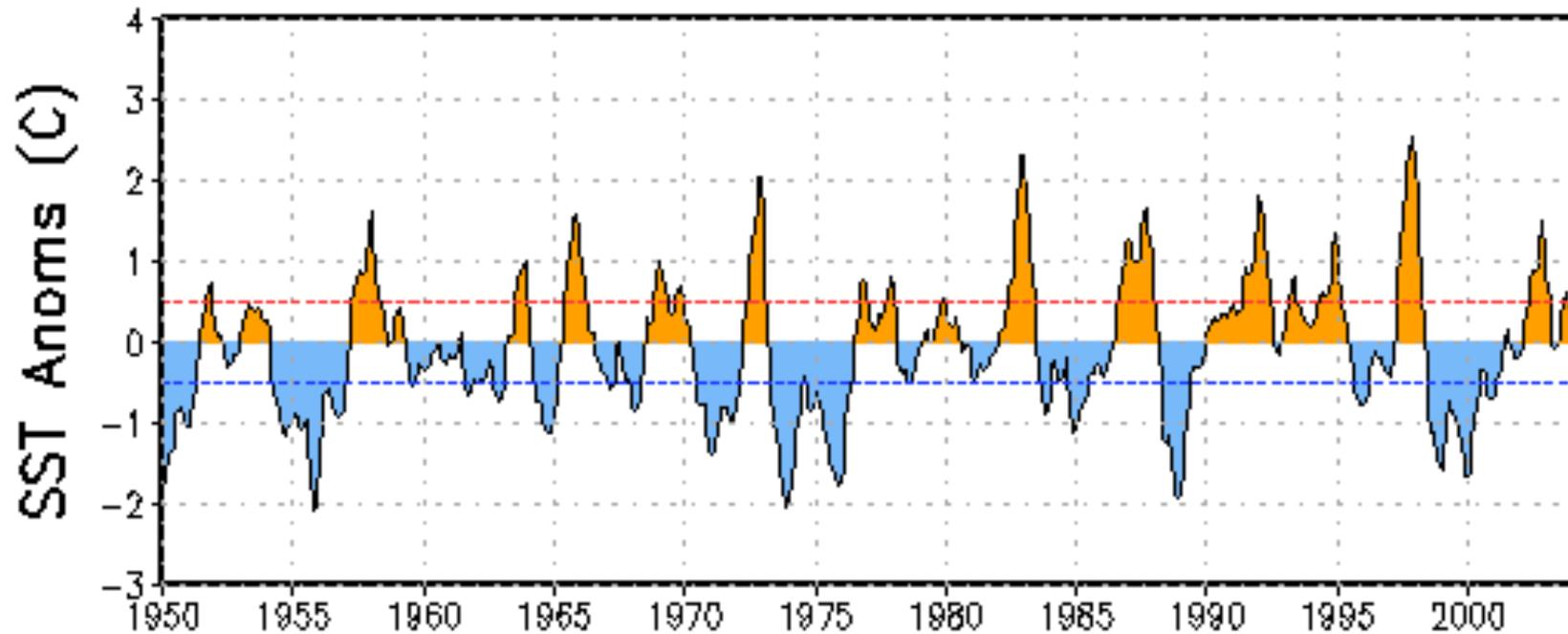
Índice de inclinação da Termoclina é a diferença na profundidade anômala da isoterma de 20°C entre o Pacífico Ocidental (160° E-150° W) e leste do Pacífico (90° -140° W).

Definições operacionais do NOAA para El Niño and La Niña

El Niño: caracterizado pelo ONI *positivo* maior ou igual a 0,5 ° C.

La Niña: caracterizado pelo ONI *negativo* menor ou igual a -0,5 ° C.

ONI: Evolução desde 1950



Historical El Niño and La Niña Episodes

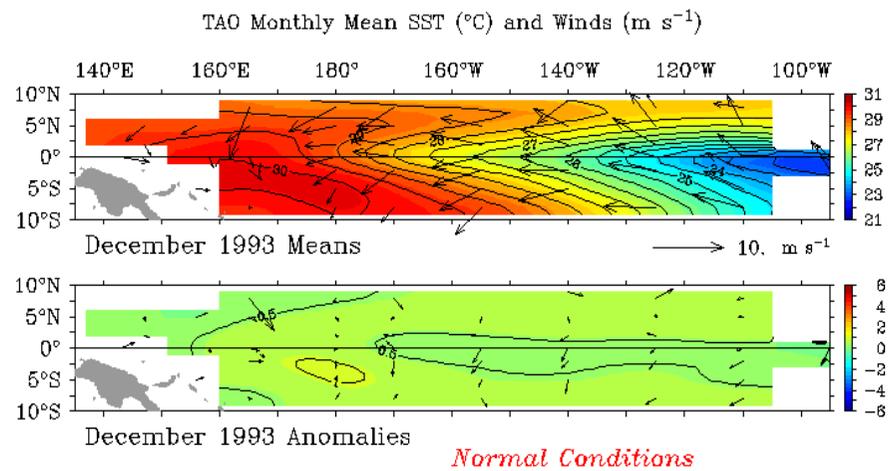
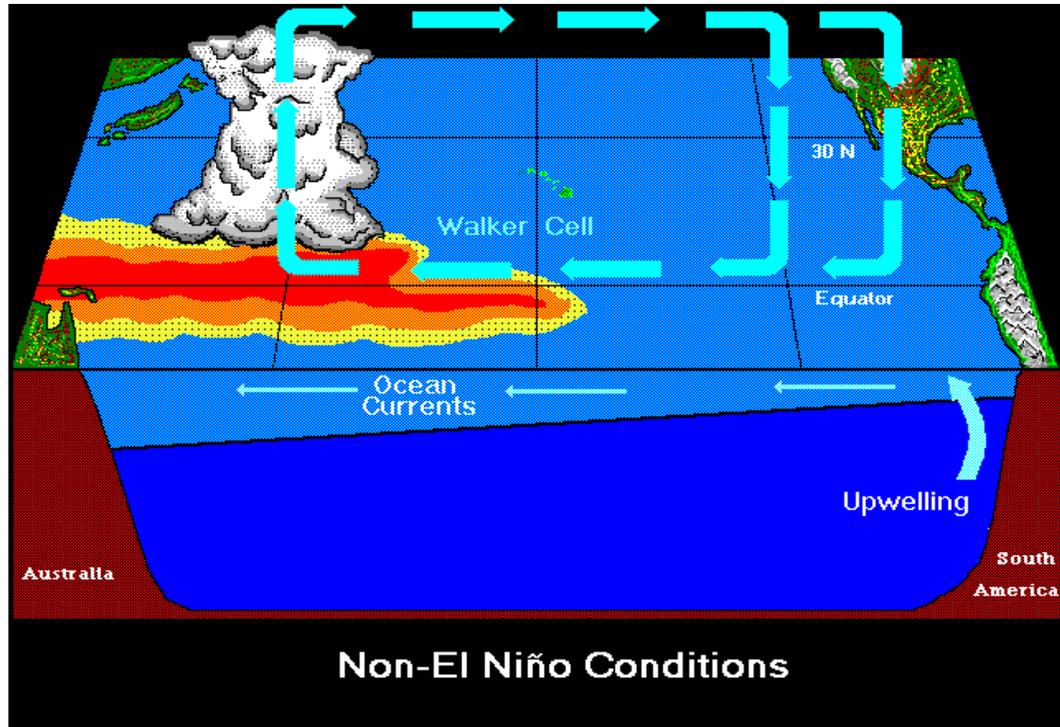
Baseado no ONI computado usando RSST.v3b

<u>El Niño</u>	<u>Highest ONI Value</u>	<u>La Niña</u>	<u>Lowest ONI Value</u>
JJA 1951 – DJF 1951/52	1.2	ASO 1949 – JAS 1950	-1.4
DJF 1952/53 – JFM 1954	0.8	SON 1950 – JFM 1951	-0.8
MAM 1957 – JJA 1958	1.8	AMJ 1954 – NDJ 1956/57	-1.7
OND 1958 – FMA 1959	0.6	AMJ 1964 – DJF 1964/65	-0.8
MJJ 1963 – JFM 1964	1.4	JJA 1970 – DJF 1971/72	-1.3
AMJ 1965 – MAM 1966	1.9	AMJ 1973 – JJA 1974	-2.0
JAS 1968 – DJF 1969/70	1.1	SON 1974 – MAM 1976	-1.7
AMJ 1972 – FMA 1973	2.1	ASO 1983 – DJF 1983/84	-0.9
ASO 1976 - JFM 1977	0.8	SON 1984 – ASO 1985	-1.1
ASO 1977 – JFM 1978	0.8	AMJ 1988 – AMJ 1989	-1.9
AMJ 1982 – MJJ 1983	2.2	ASO 1995 – FMA 1996	-0.9
JAS 1986 – JFM 1988	1.6	JJA 1998 – FMA 2001	-1.7
AMJ 1991 – MJJ 1992	1.6	OND 2005 – FMA 2006	-0.9
ASO 1994 – FMA 1995	1.2	JAS 2007 – MJJ 2008	-1.5
AMJ 1997 – MAM 1998	2.4	JJA 2010 – MAM 2011	-1.5
AMJ 2002 – JFM 2003	1.3		
JJA 2004 – DJF 2004/05	0.7		
ASO 2006 – DJF 2006/07	1.0		
JJA 2009 – MAM 2010	1.6		



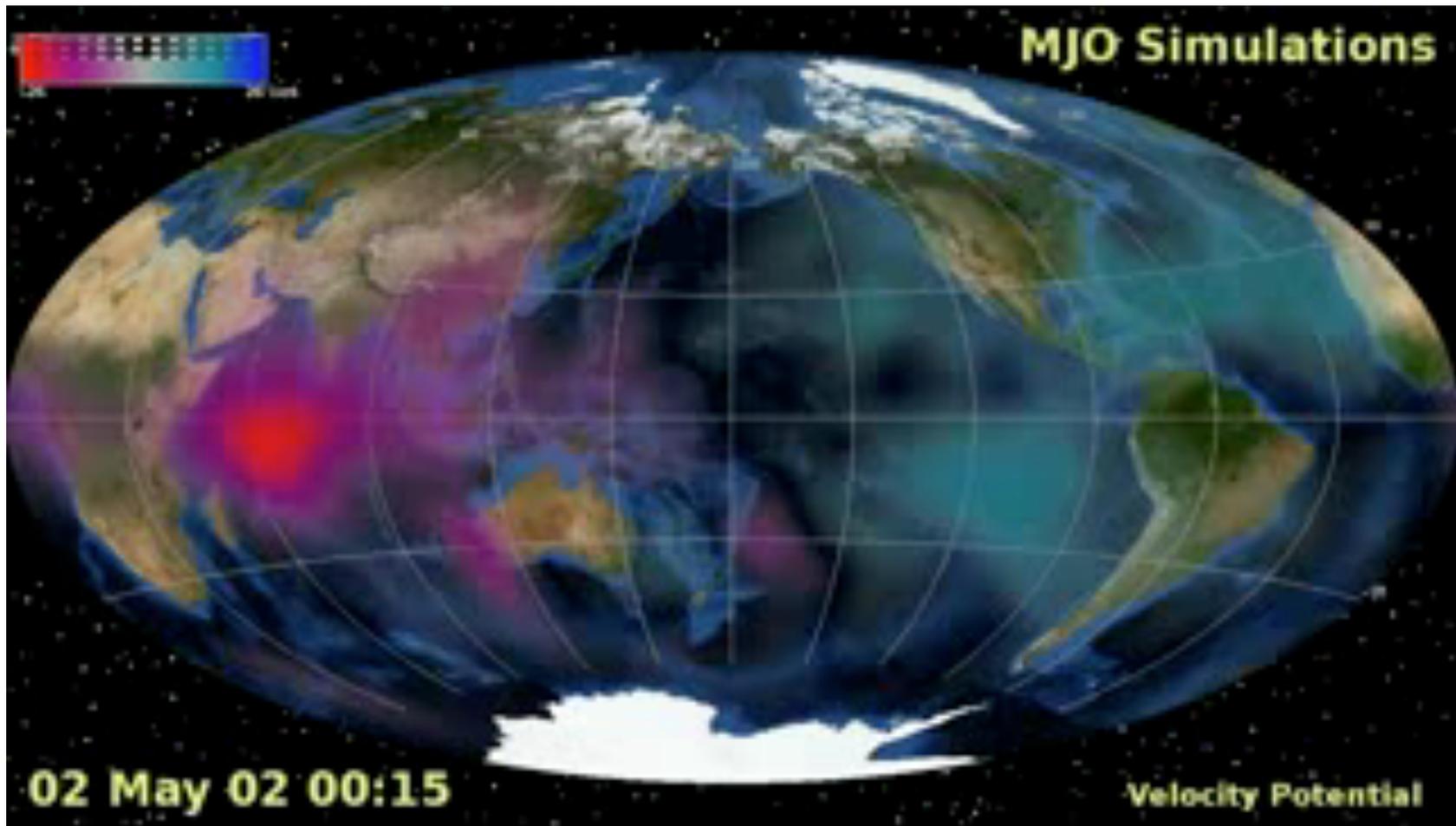
O Mecanismo do ENSO

- Causa do “disparo” do fenômeno ainda desconhecida;
- Provavelmente tem origem na atmosfera;
- Ondas planetárias nos Oceanos (Rossby e Kelvin Equatoriais) tem um papel importante;
- Efeitos de *feedback* entre o Oceano e a Atmosfera maximizam o fenômeno;

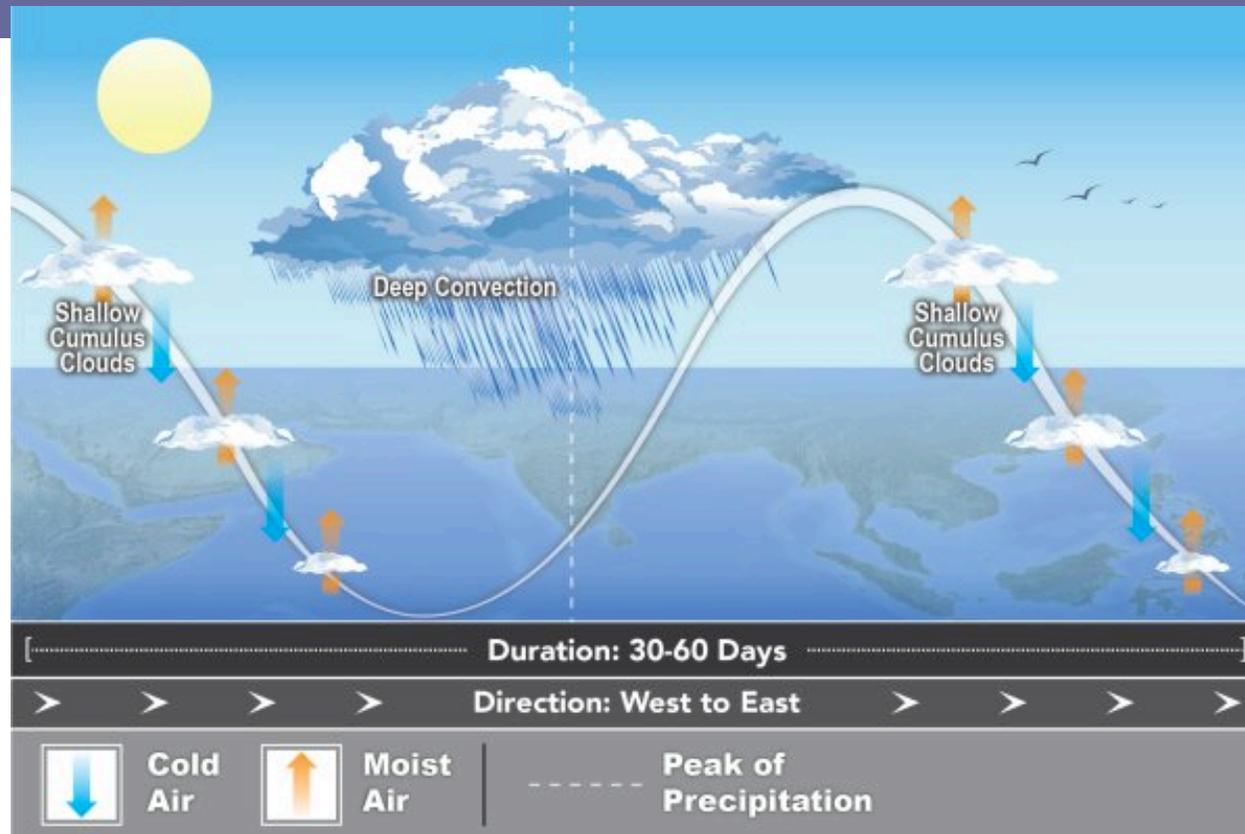


O início ... a MJO (?)

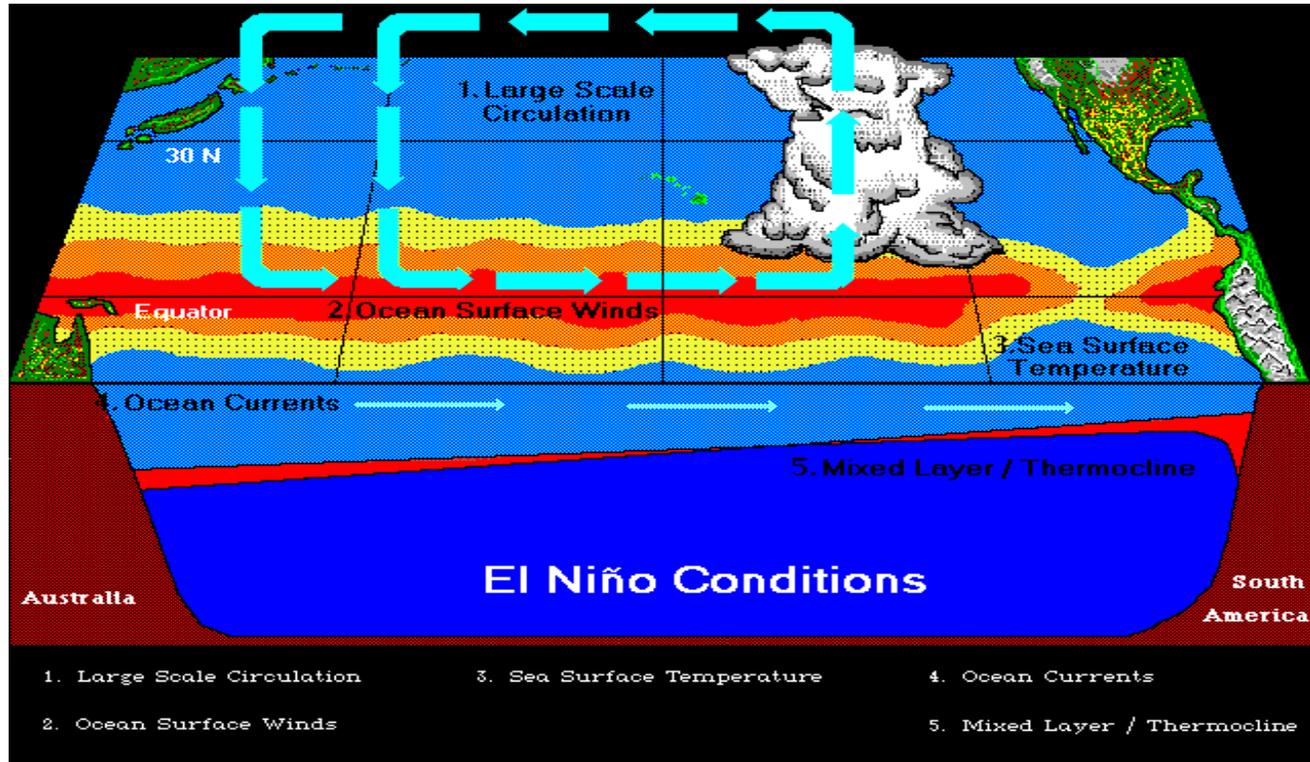
The Initiation of the Madden-Julian Oscillation



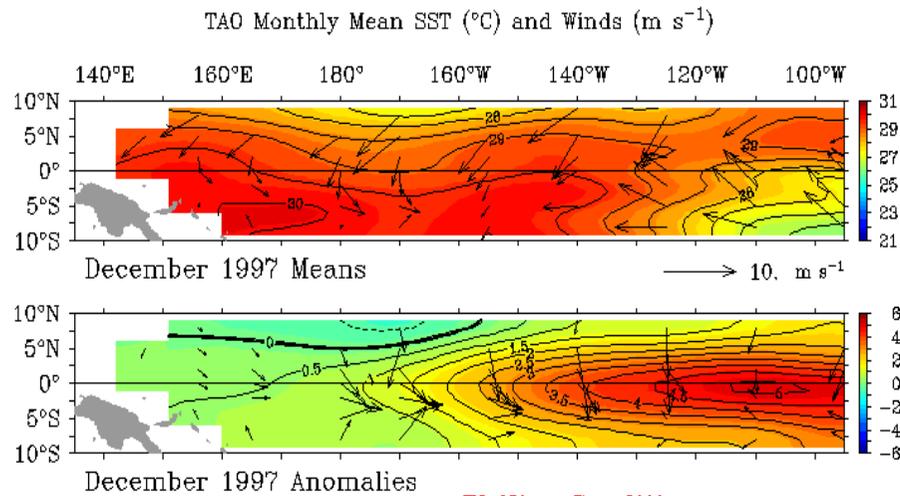
MJO



- The Madden-Julian Oscillation is a large complex of clouds and rain initiated over the Indian Ocean that slowly progresses around the world along the equator. The MJO has a large effect on tropical monsoons and cyclones, as well as other weather systems outside the tropics.



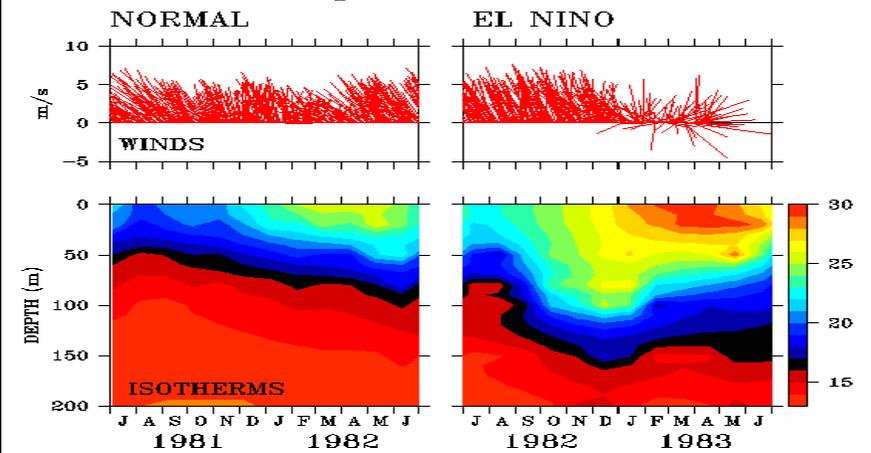
- 1. Large Scale Circulation
- 2. Ocean Surface Winds
- 3. Sea Surface Temperature
- 4. Ocean Currents
- 5. Mixed Layer / Thermocline

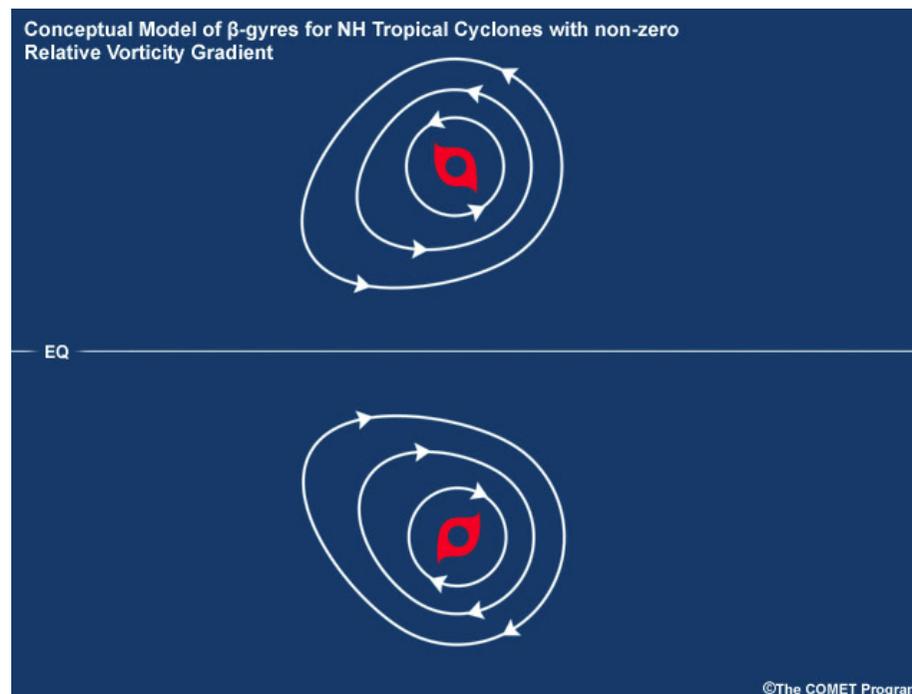
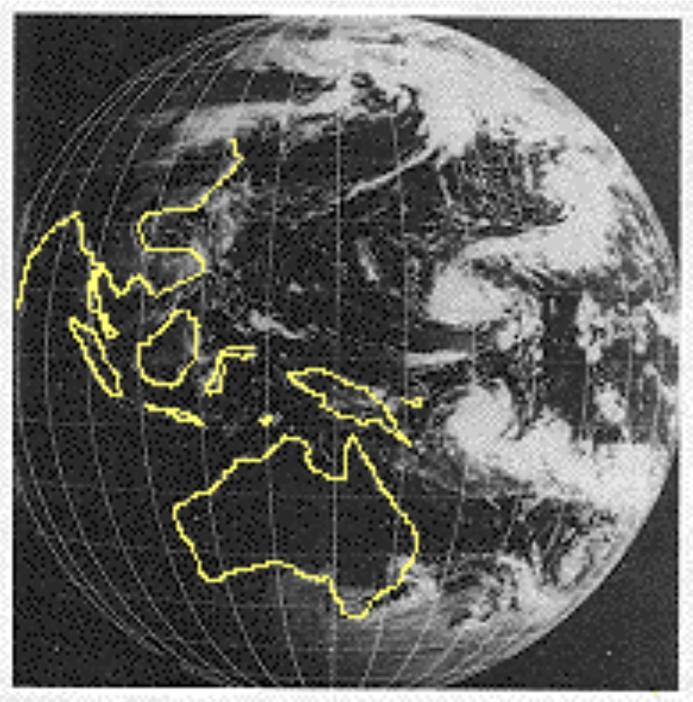


El Niño Conditions

TAO Project Office/PMEL/NOAA

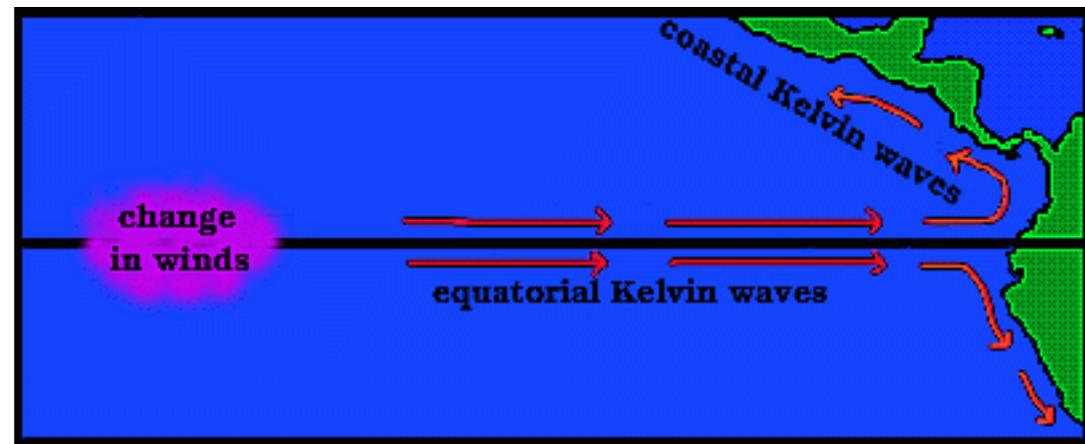
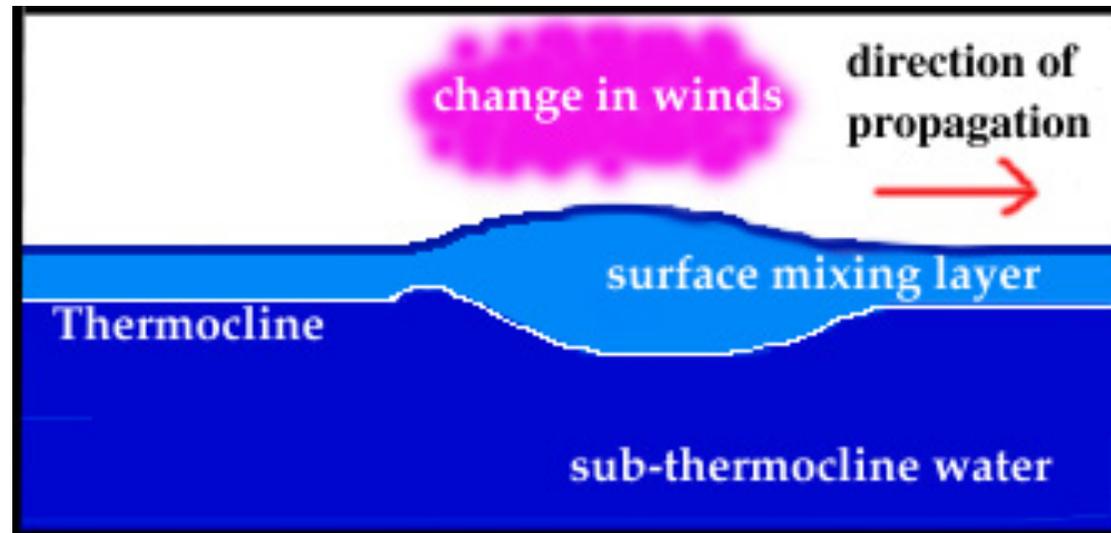
Wind and Temperature at EQ, 110°W



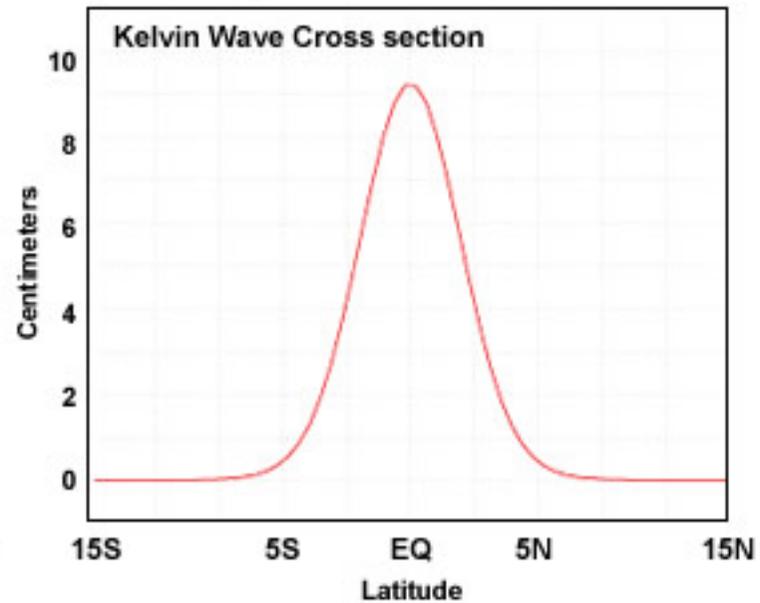
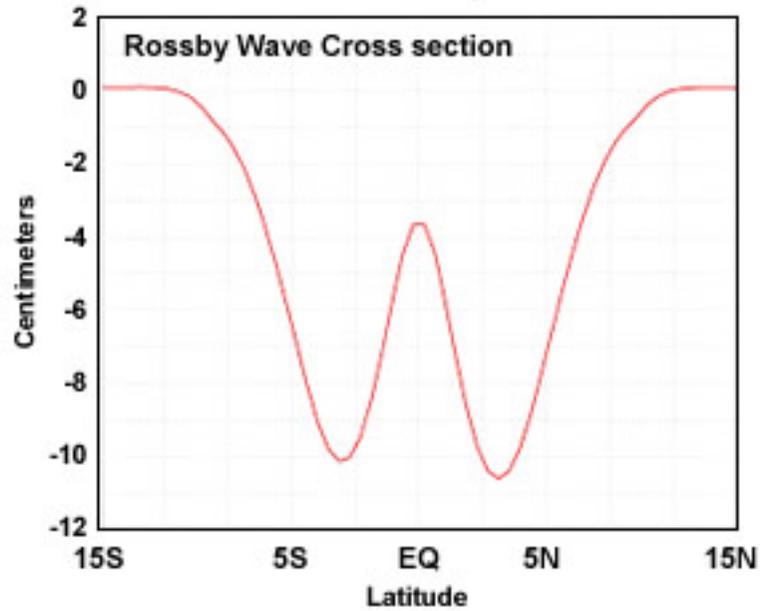
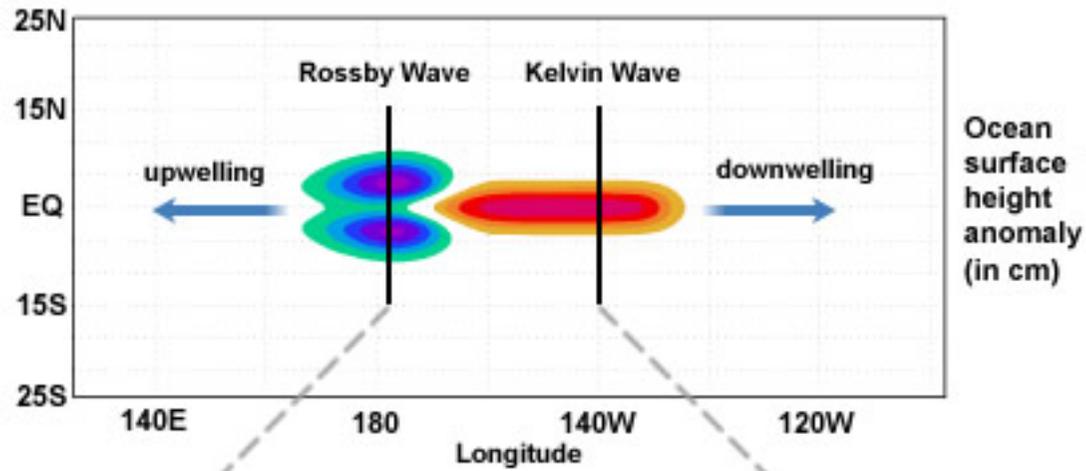


Formação dos ciclones gêmeos no Pacífico Ocidental

Reversão dos ventos superficiais ao longo do Equador no Pacífico Ocidental

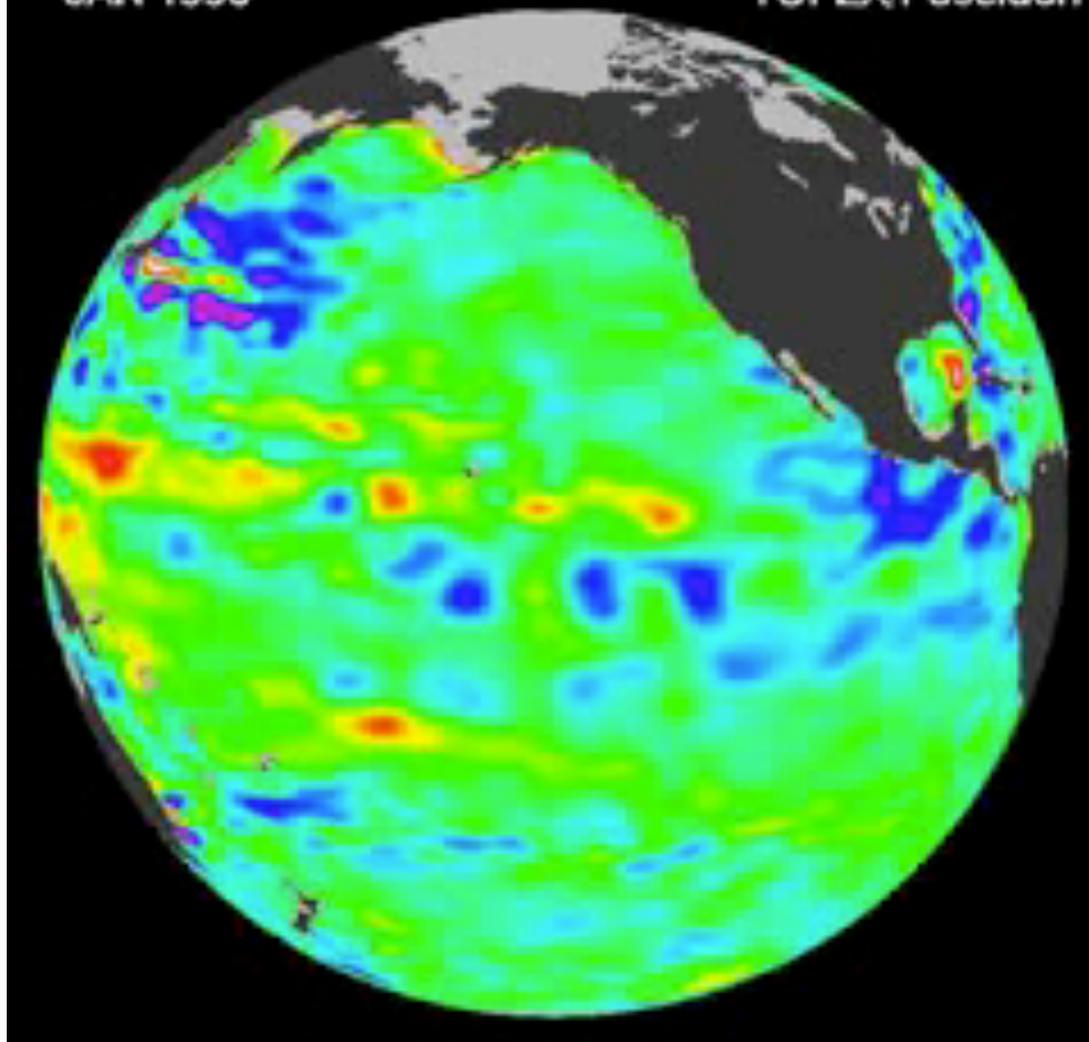


Simple Model of Wind Induced Perturbation of the Tropical Pacific Ocean



JAN 1996

TOPEX/Poseidon



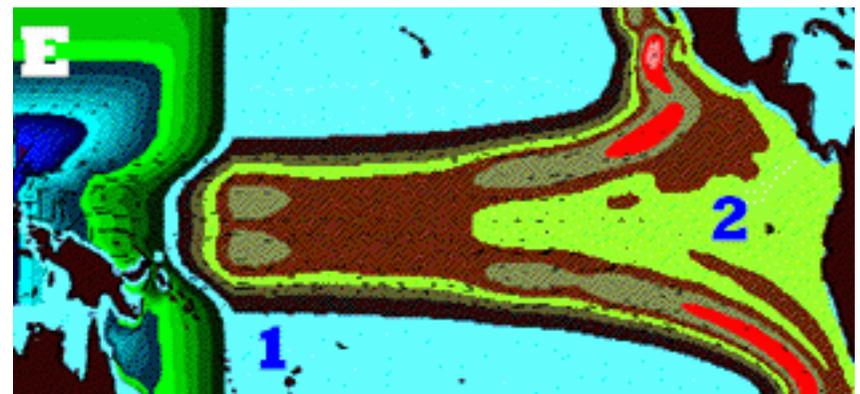
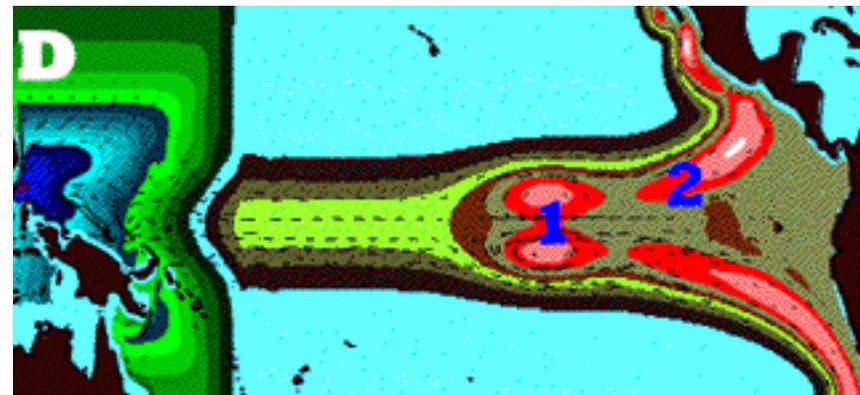
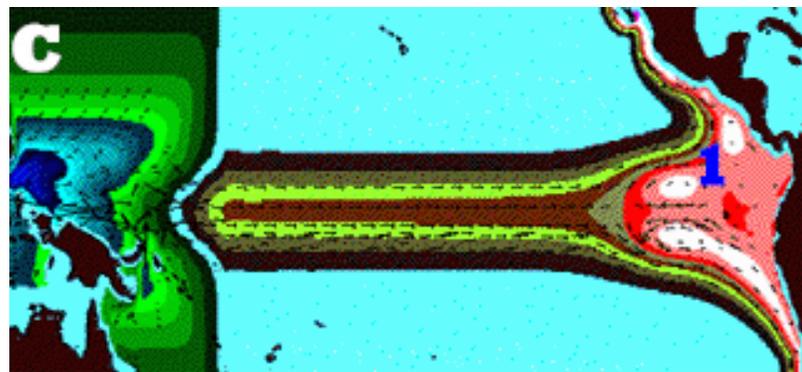
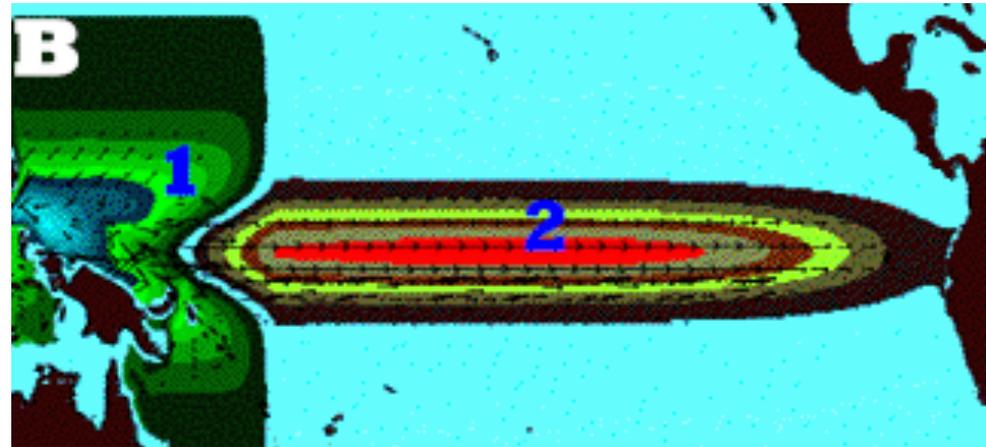
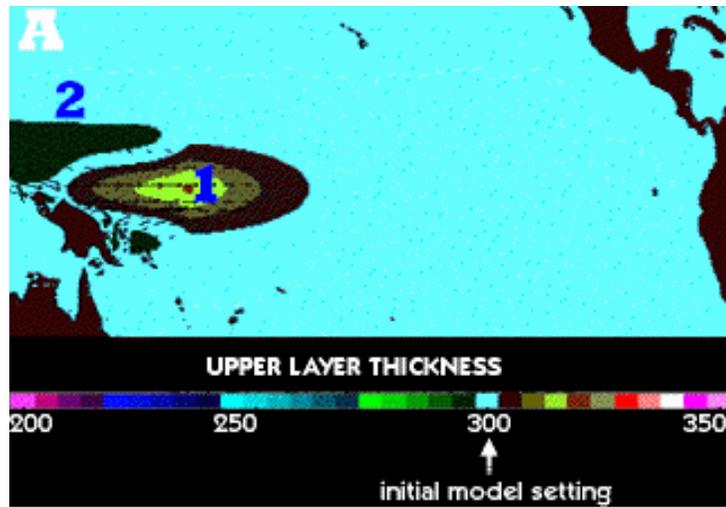
El Niño

Ch.1 Introduction

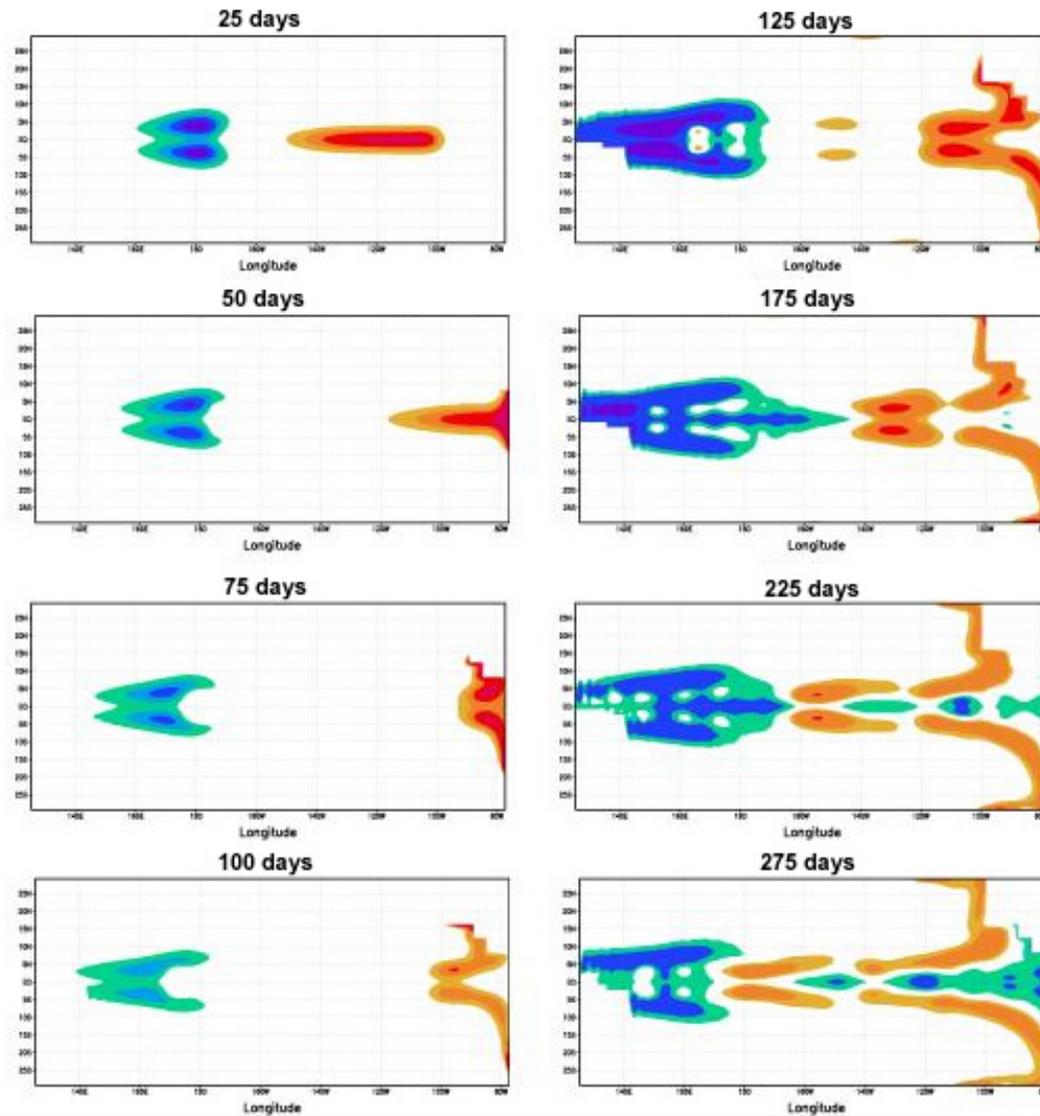
Ch.2 Beginning of El Niño

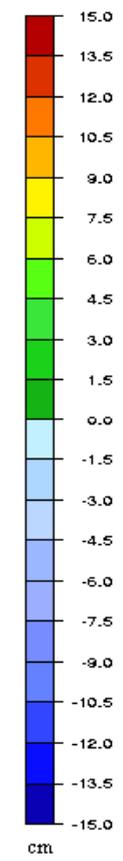
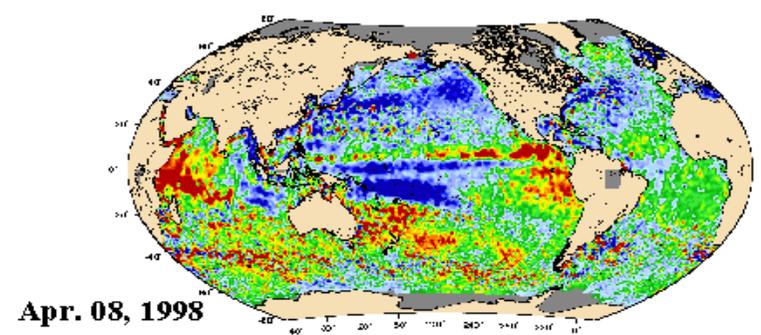
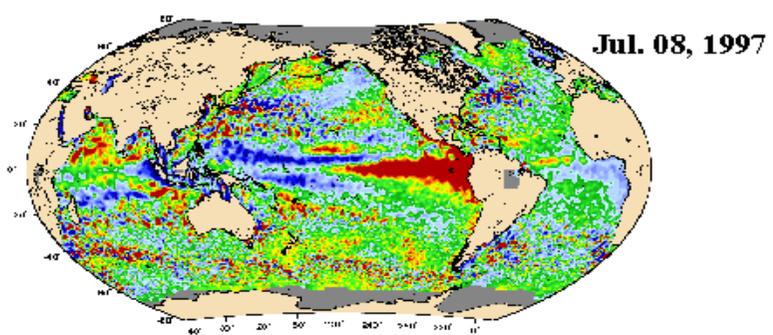
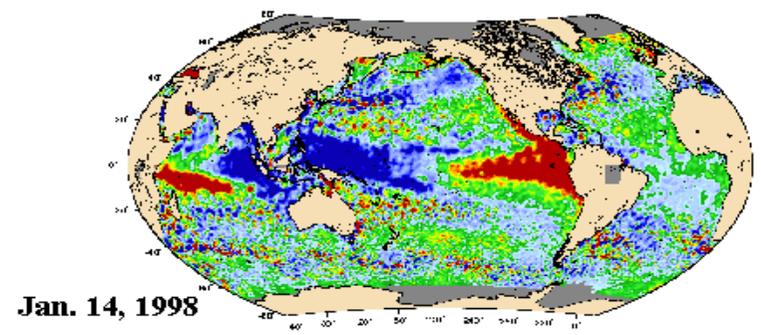
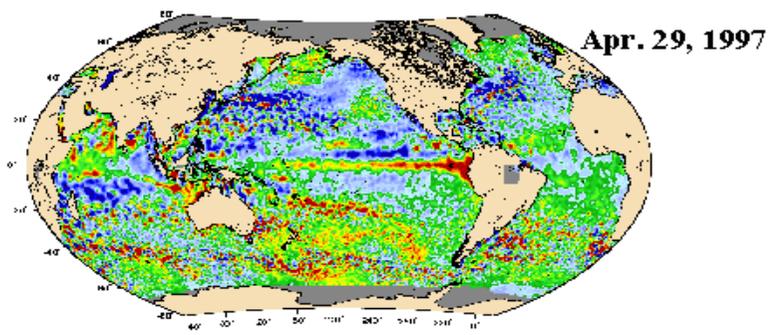
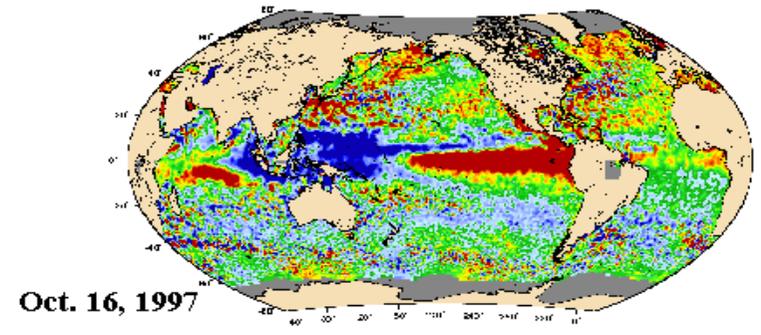
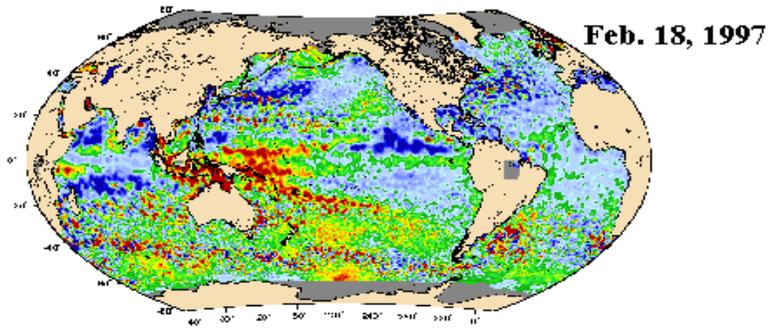
Ch.3 Peru during El Niño

Ch.4 Recovery of El Niño



Time Evolution for the Idealized Experimental Kelvin and Rossby Waves Across the Pacific





Referências



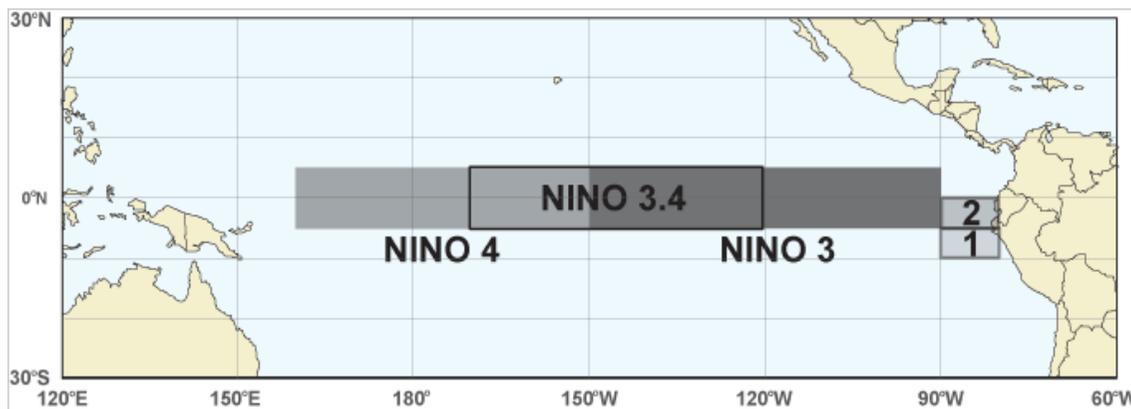
<http://www.elnino.noaa.gov/sites.html>

<http://www.pmel.noaa.gov/tao/elnino/nino-home.html>

<http://enos.cptec.inpe.br/>

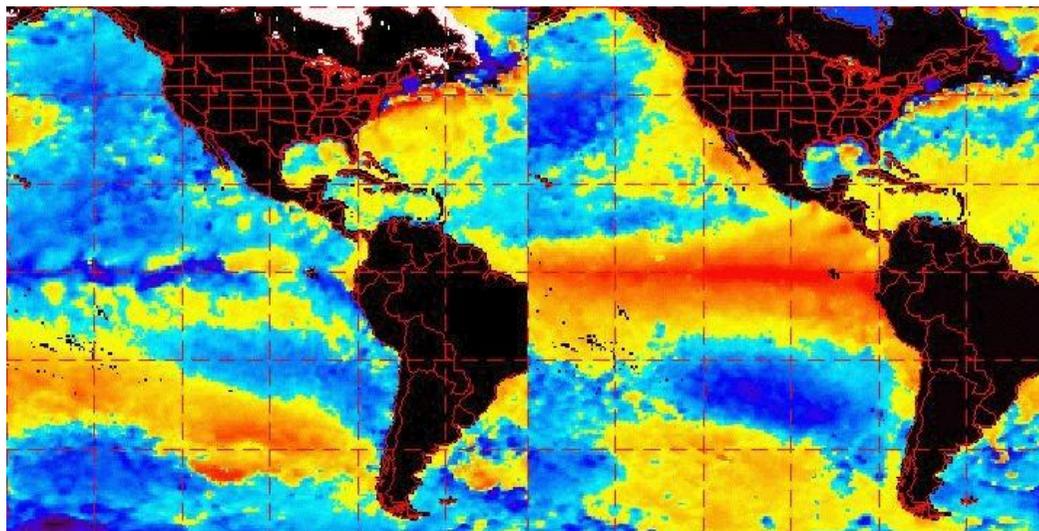


ENSO – Índice NINO



La Niña (Feb 89)

El Niño (Feb 98)



❖ *Diversas áreas* podem ser utilizadas para o cálculo das anomalias de SST dos índices NINO;

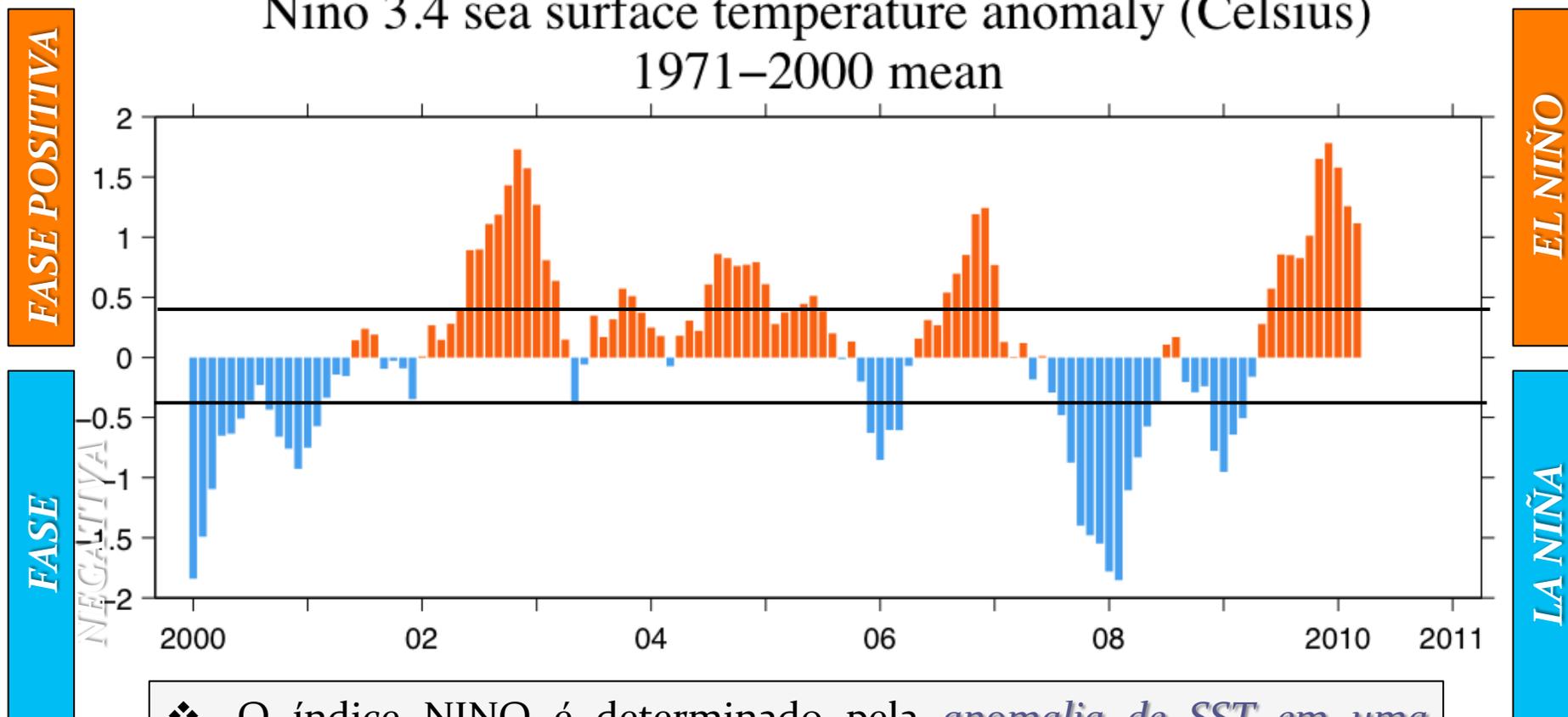
❖ *O índice mais utilizado é o NINO3.4*, que consiste na anomalia da média da SST na região localizada entre 5°N-5°S e 170°W-120°W;

❖ O evento de El Niño ou La Niña é identificado quando a média corrida de 5 meses do índice *NINO3.4* exceder em +0.4°C (El Niño) ou -0.4°C (La Niña) por 6 meses consecutivos

ENSO – Índice NINO



Nino 3.4 sea surface temperature anomaly (Celsius)
1971–2000 mean



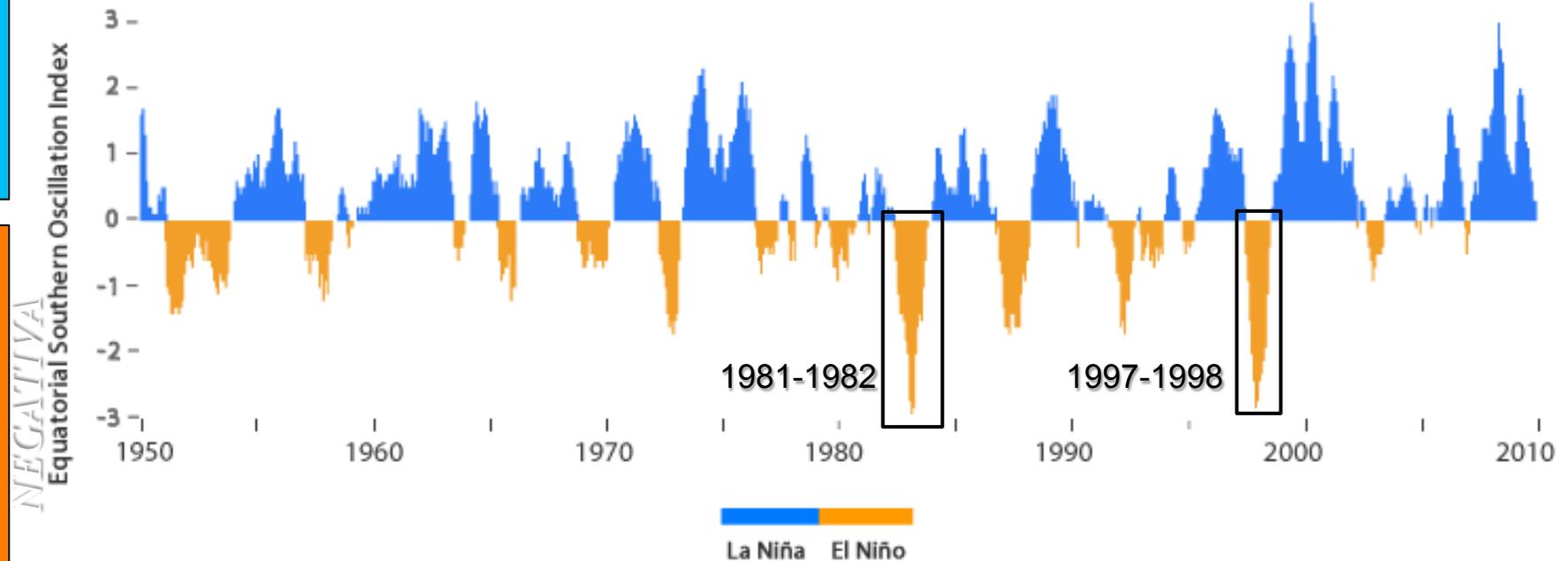
❖ O índice NINO é determinado pela *anomalia de SST* em uma determinada região do *Pacífico Equatorial*.

ENSO - Índice SOI



FASE POSITIVA

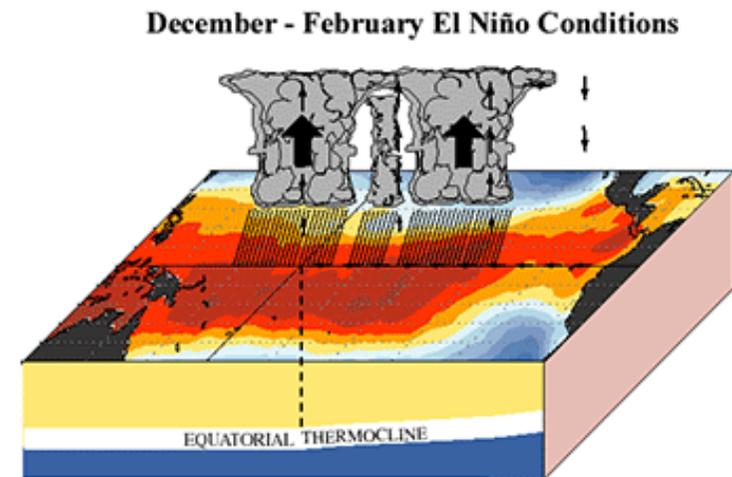
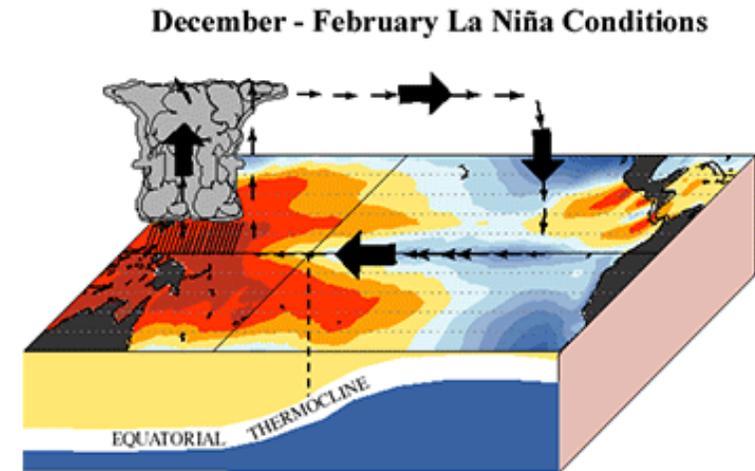
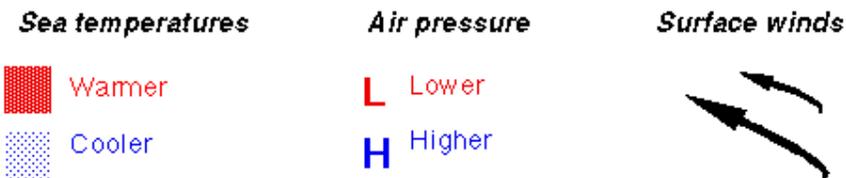
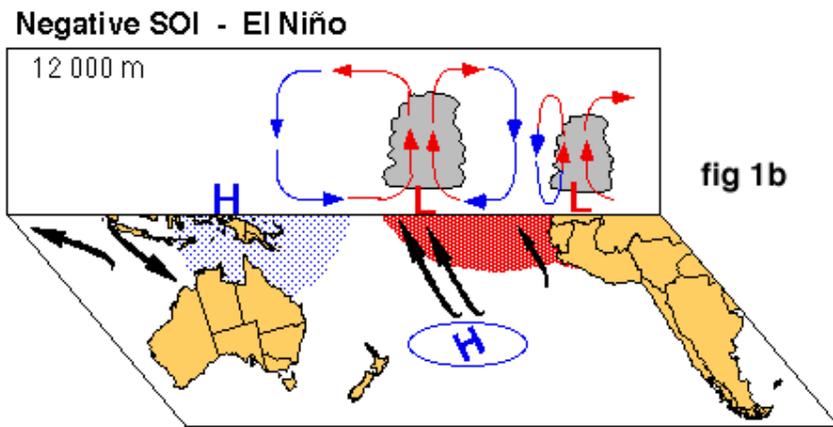
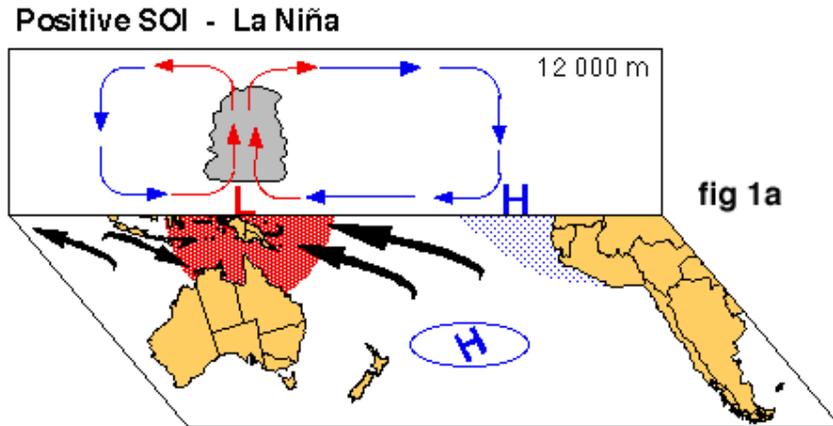
FASE NEGATIVA



❖ O índice SOI (*Southern Oscillation Index*) é determinado pela *diferença entre a pressão atmosférica superficial entre a ilha do Tahiti e a cidade de Darwin* na Austrália.

El Niño-Oscilação Sul (ENSO)

PRÓXIMAS AULAS





Oscilação Decadal do Pacífico - PDO

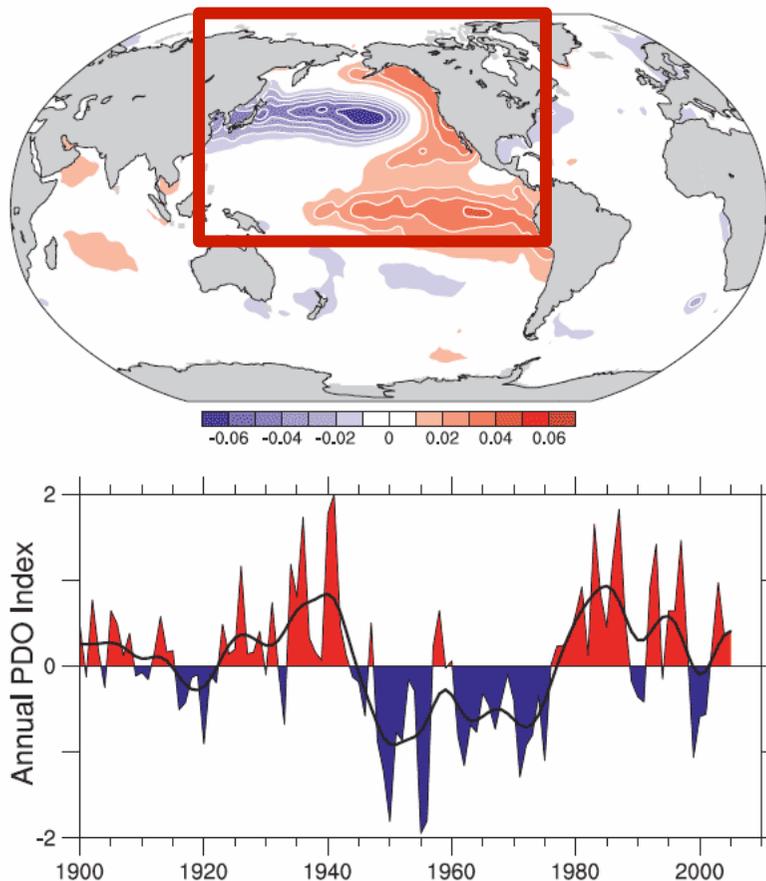
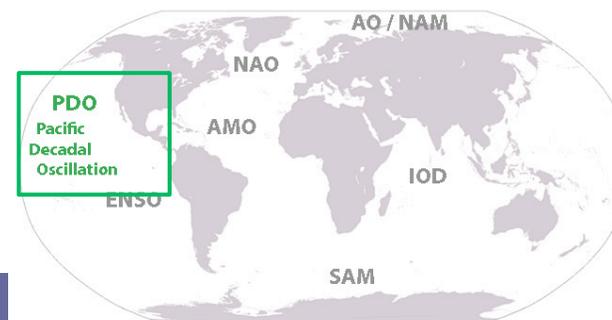


Figure 3.28. Pacific Decadal Oscillation: (top) SST based on the leading EOF SST pattern for the Pacific basin north of 20°N for 1901 to 2004 (updated; see Mantua et al., 1997; Power et al., 1999b) and projected for the global ocean (units are nondimensional); and (bottom) annual time series (updated from Mantua et al., 1997). The smooth black curve shows decadal variations (see Appendix 3.A).

- ❖ É um padrão de variabilidade climática centrado no *Oceano Pacífico Norte*;
- ❖ Também chamado de *Oscilação do Pacífico Norte* (NPO), *Variação Decadal do Pacífico* (PDV), *Oscilação Interdecadal do Pacífico* (IPO);
- ❖ Fenômeno de longa duração definido pelas *temperaturas do oceano superficial* no Oceano Pacífico tropical e nordeste.
- ❖ *Escala temporal entre 40-60 anos. Fase típica persistindo por 20-30 anos.*
- ❖ O índice utilizado para avaliar o PDO é derivado das *anomalias mensais de SST ao norte de 20°N* no Oceano Pacífico.

PDO



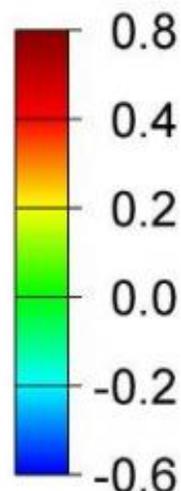
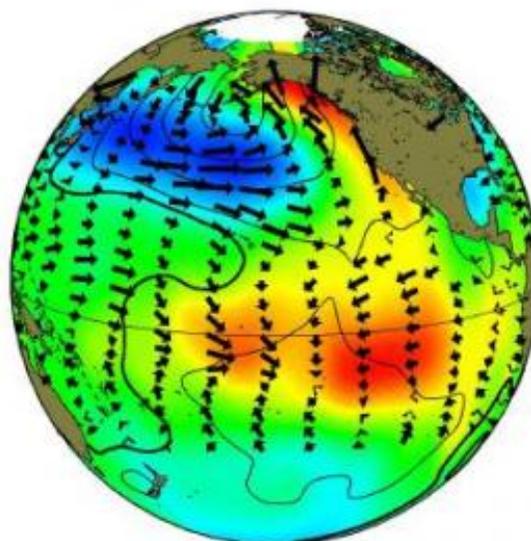
Fase Quente ou Positiva

Pacific Decadal Oscillation

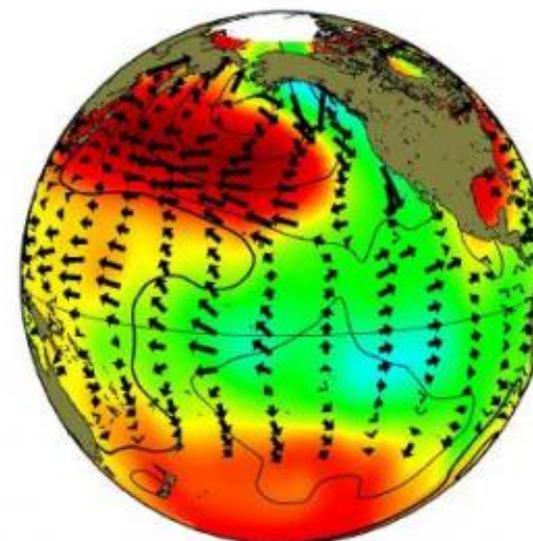
$- SST_{anom} (NE)$

$+ SST_{anom} (Trópico)$

positive phase



negative phase



❖ Mudança na localização de massas de água quentes e frias que lhes conferem influência sobre a atmosfera de várias formas – impactando até a região oeste dos USA.

Fase Fria ou Negativa

$+ SST_{anom} (NE)$

$- SST_{anom} (Trópico)$

PDO

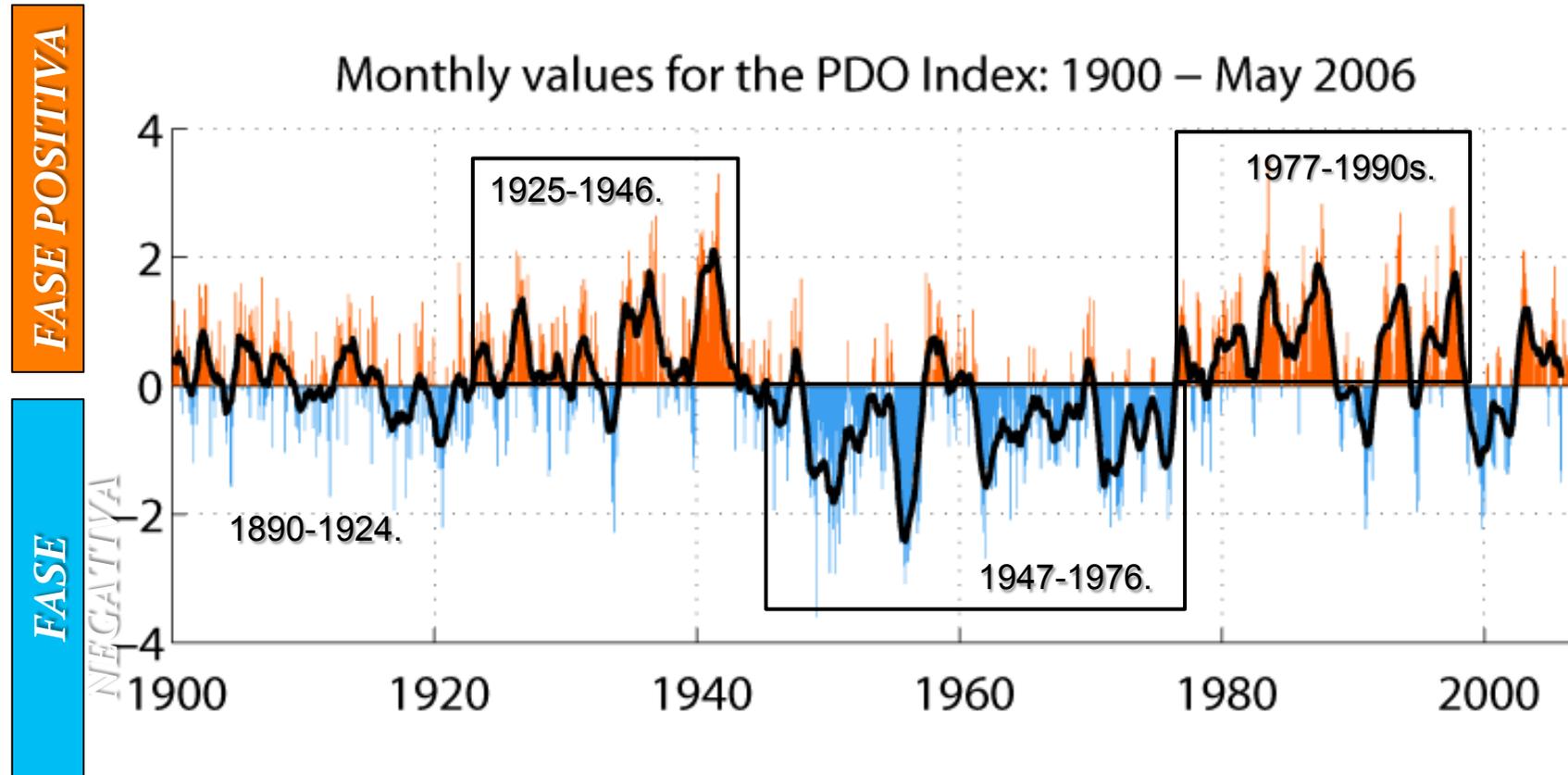
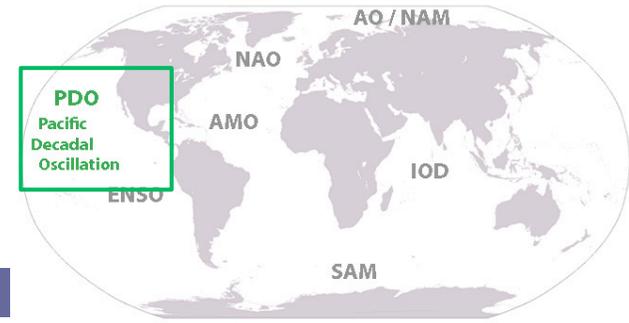
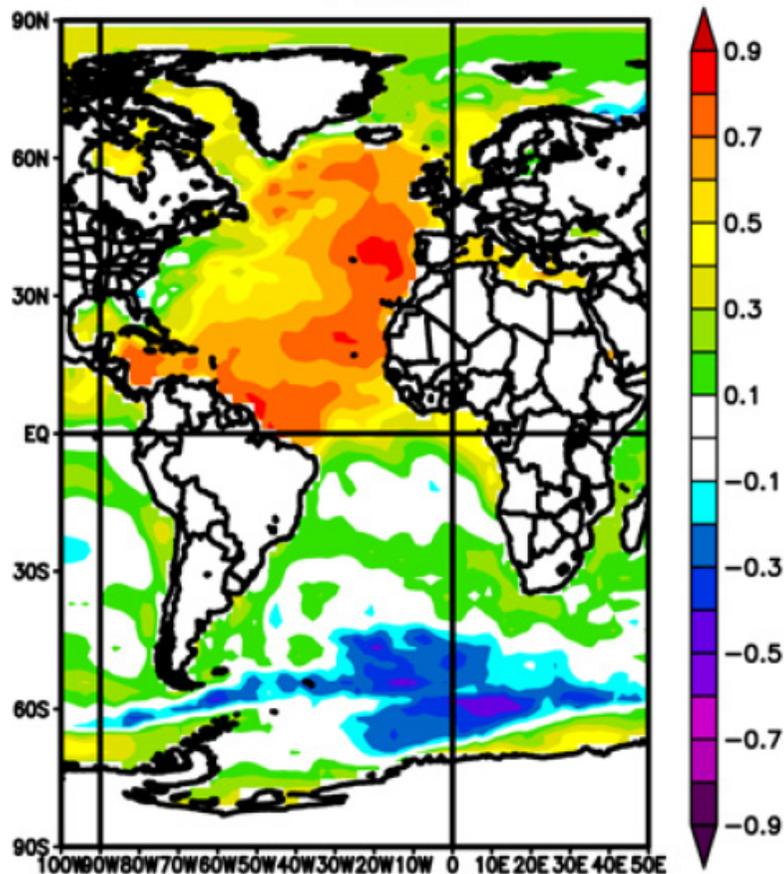


Figure source: Climate Impacts Group

Dois ciclos PDO nos últimos 100 anos.

Oscilação Multidecadal do Atlântico - AMO

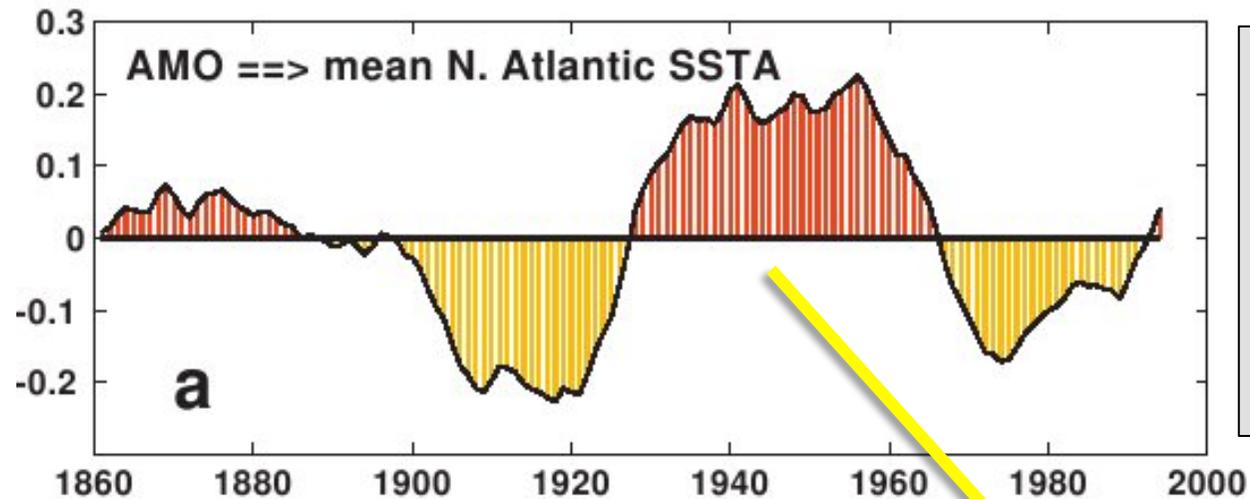
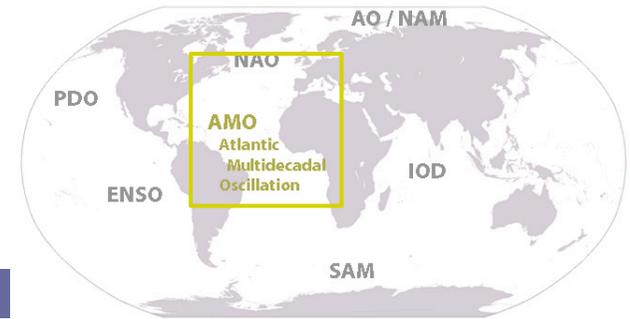
Correlação AMO/SST



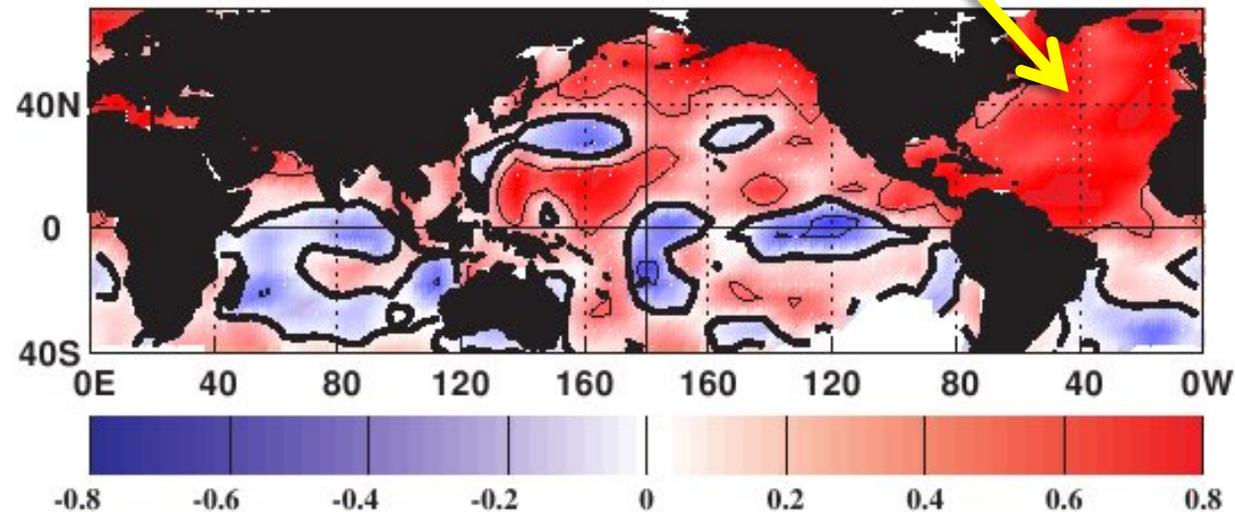
Jan to Dec: 1948 to 2007: Surface SST
Seasonal Correlation w/ Jan to Dec AMO

- ❖ É um padrão de variabilidade climática quase periódico (periodicidade irregular) centrado no *Oceano Atlântico Norte*;
- ❖ Fenômeno de longa duração definido pelas *temperaturas do oceano superficial* no Oceano Atlântico Norte (between 0° and 70°N).
- ❖ *Escala temporal entre 50-80 anos* (entre picos). *Fase típica persistindo por 20-30 anos*.
- ❖ O índice AMO é calculado a partir de dados de SST, determinando a média ponderada de área sobre *todo o Atlântico Norte entre 0-70°N* e, em seguida, retirando a tendência dos dados.

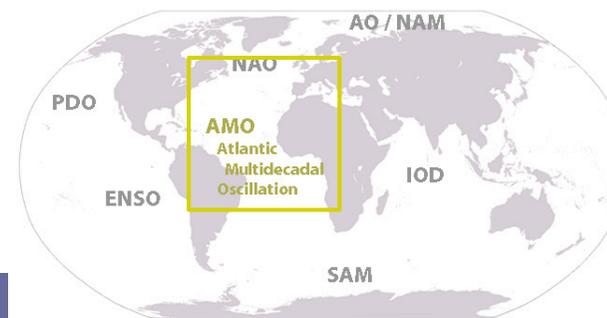
AMO



✓ Quando o *índice é positivo*, o oceano Atlântico Norte como um todo está mais quente e o oceano Atlântico Sul mais frio.

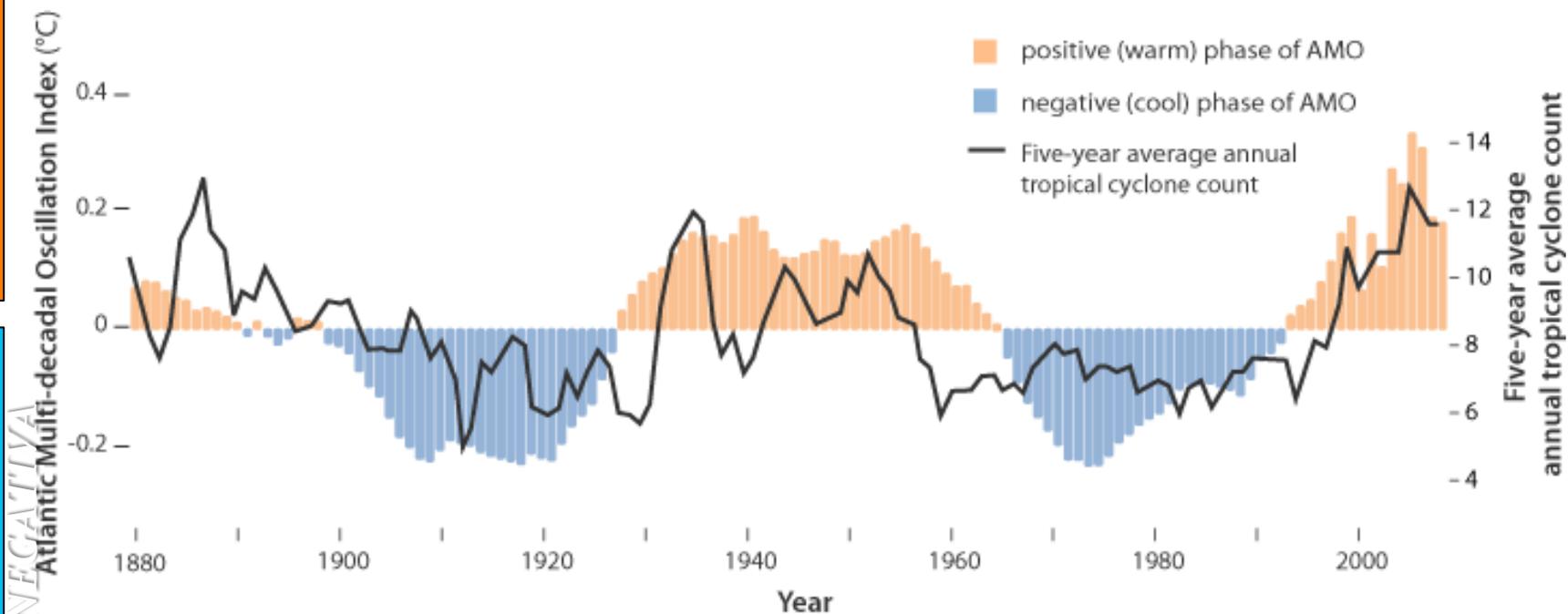


AMO



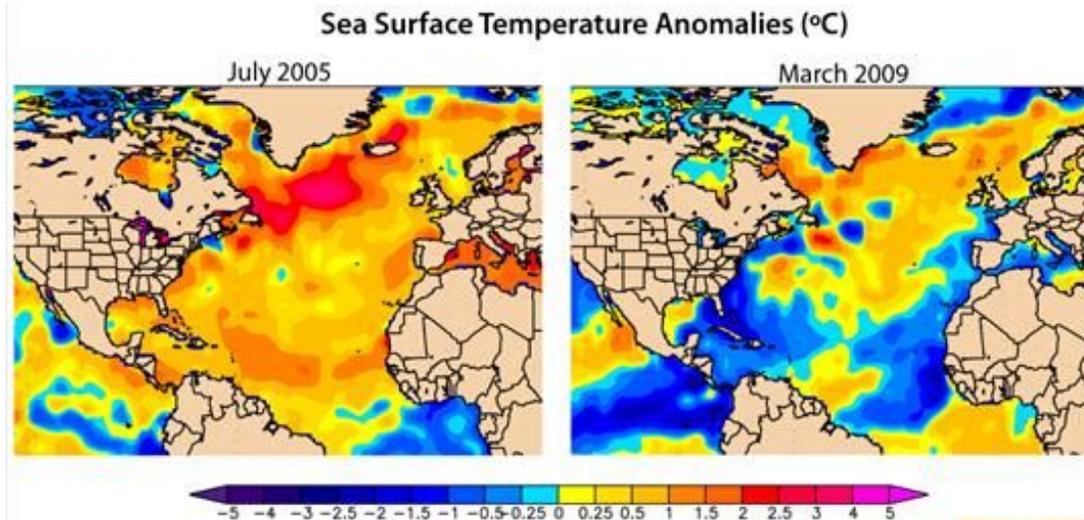
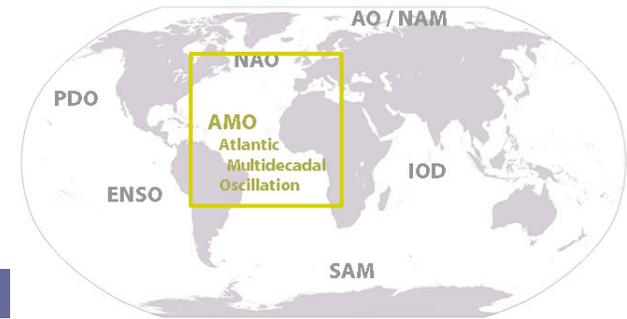
FASE POSITIVA

FASE NEGATIVA

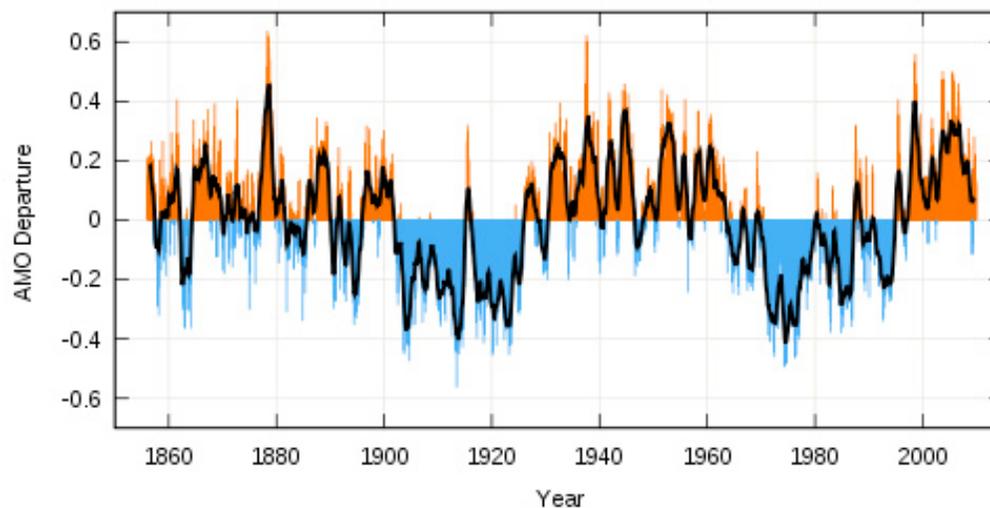


Relação entre a frequência de ciclones tropicais e o índice AMO.

Teleconexões - AMO

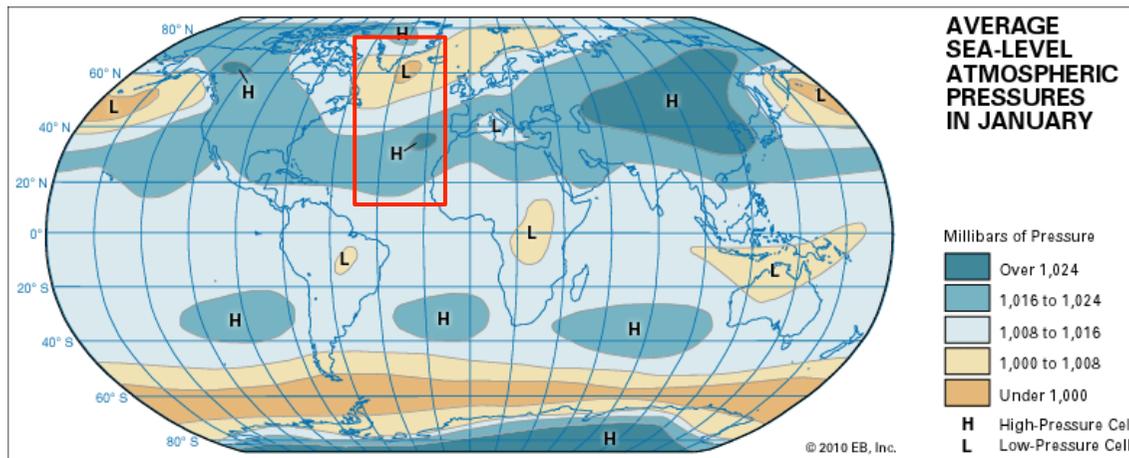


Monthly values for the AMO index, 1856 -2009

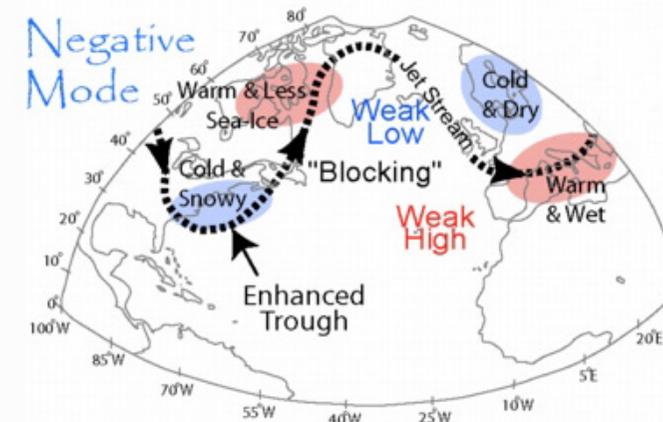
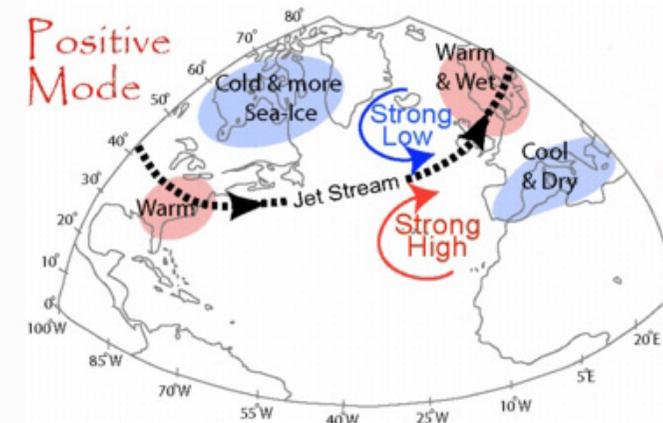


- ❖ Índice AMO *negativo* → *estações mais frias na América do Norte, especialmente na costa leste.*
- ❖ A partir de 2009 o índice AMO encontra-se em queda para valores negativos.

Oscilação do Atlântico Norte (NAO)

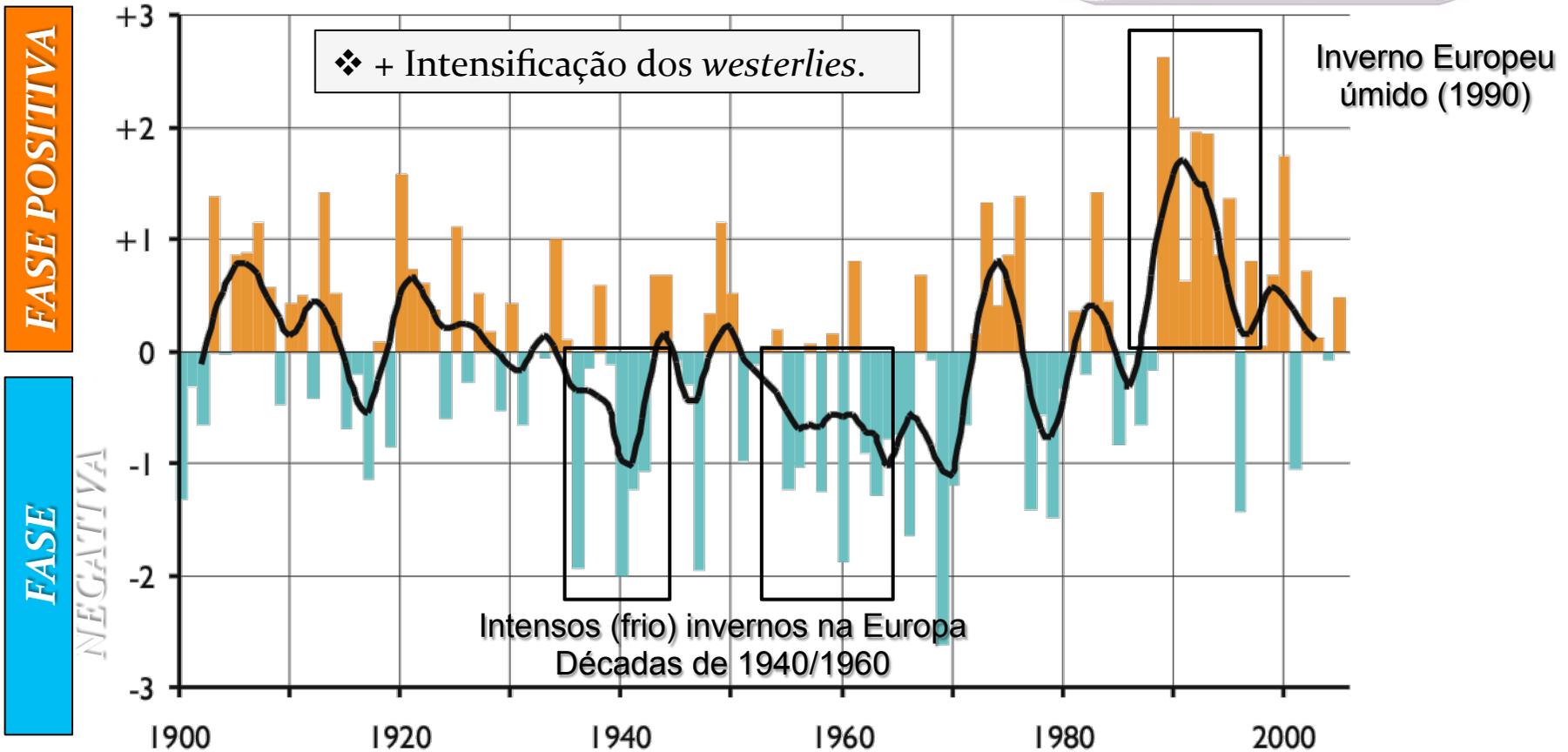


- ❖ É um padrão de variabilidade climática que desempenha forte papel na regulação do inverno da *Europa e América do Norte*, centrado no *Atl. Norte*;
- ❖ É influenciado por alterações da baixa da Islândia e da alta das Bermuda-Açores;
- ❖ *Escala temporal varia de semanas a alguns meses.* Entretanto, cada fase pode predominar por um ou + anos.



- ❖ As fases positivas e negativas do NAO *modulam as condições temporais* (temperatura e umidade) do HN.

NAO



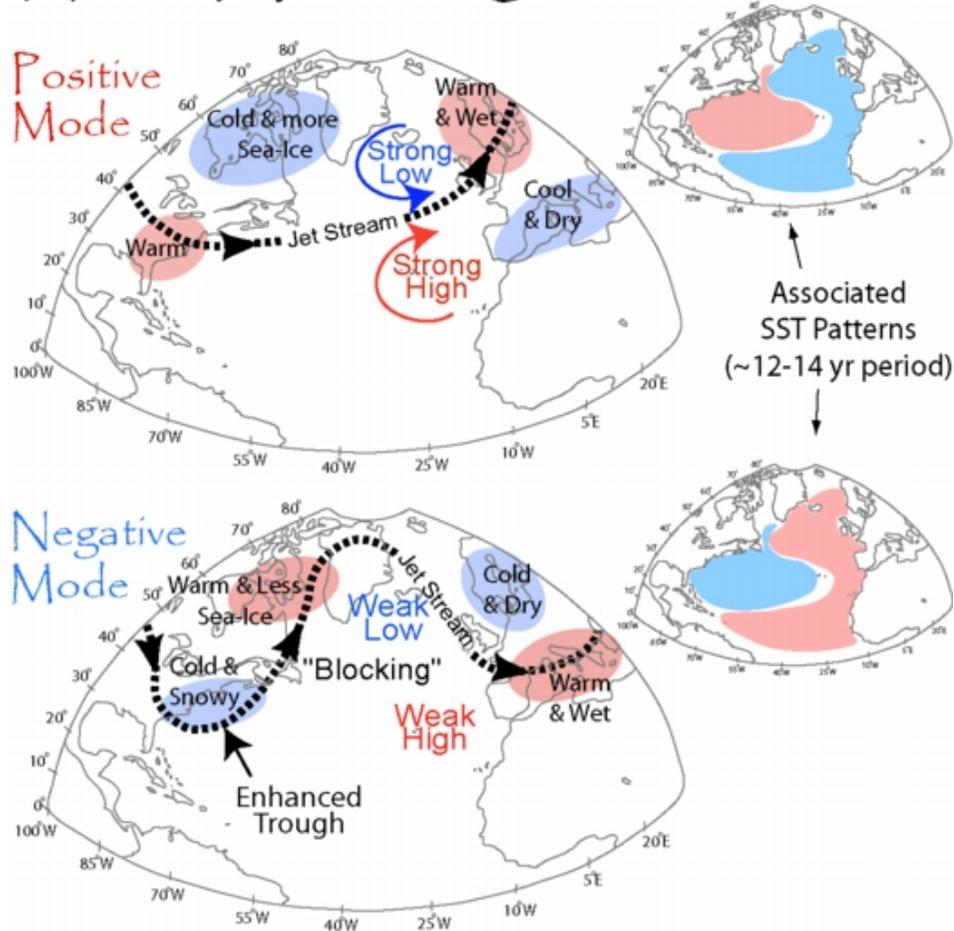
❖ O índice NAO é calculado a partir de medidas das *variações* no padrão normal de baixa *pressão atmosférica* sobre a Islândia e alta pressão perto dos Açores e da Península Ibérica (é definido utilizando-se os meses de inverno - Dez/Mar).

NAO

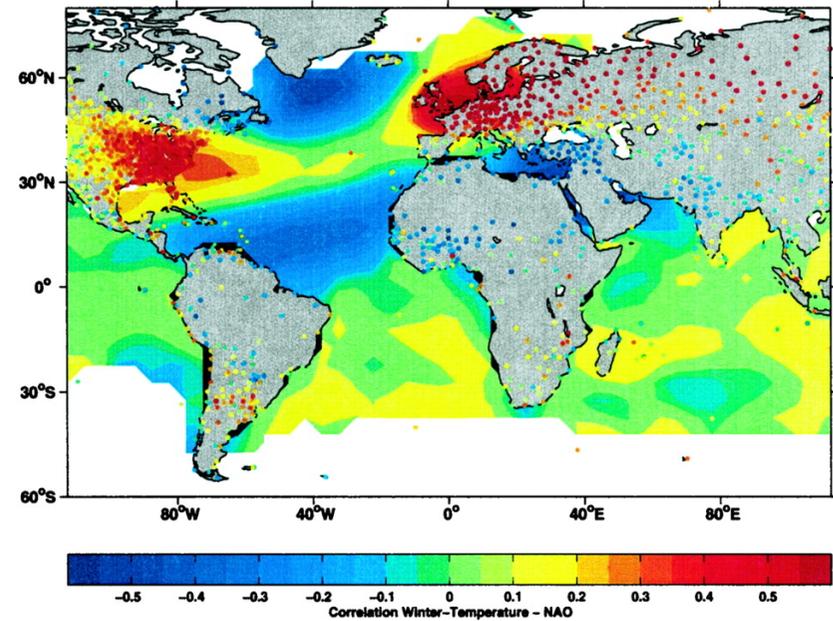


Fase Positiva

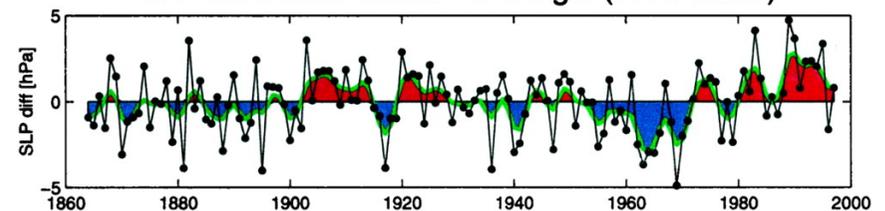
North Atlantic Oscillation



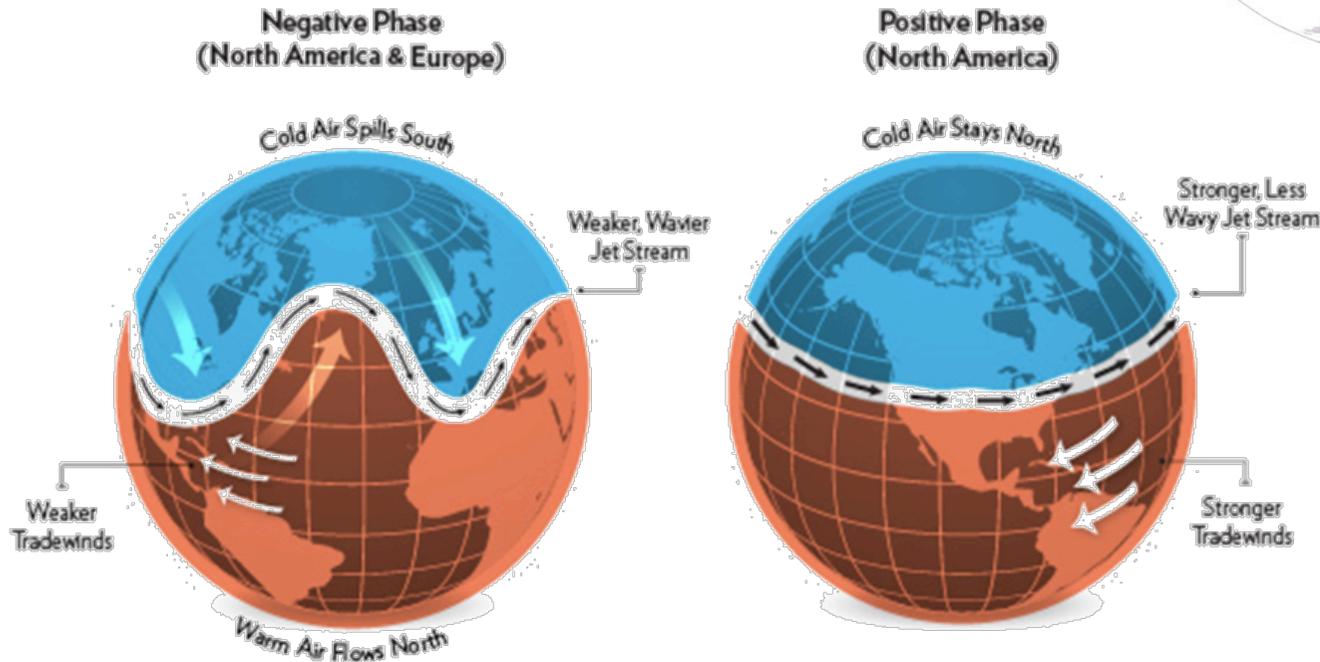
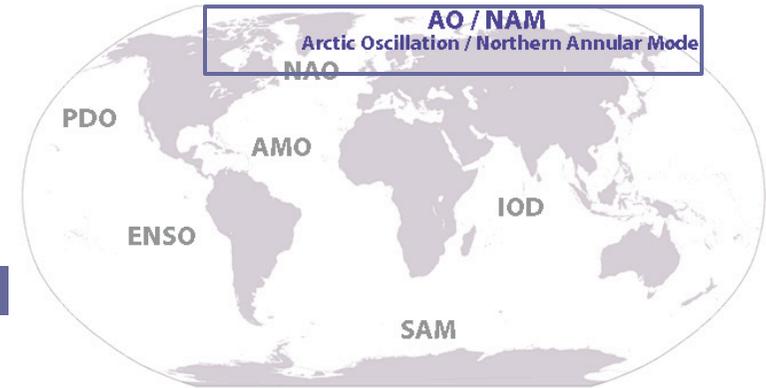
Winter (DJFM) SST and Land Temperature correlated with NAO index



SLP difference Island - Portugal (NAO index)



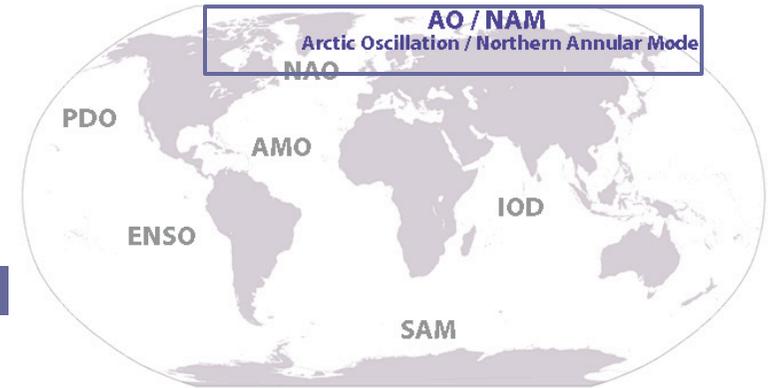
Oscilação Ártica (AO)



❖ Em alguns estudos as oscilações: *AO e NAO* são apontadas como nomes diferentes que indicam o mesmo aspecto de variabilidade e não *diferentes padrões de variabilidade*.

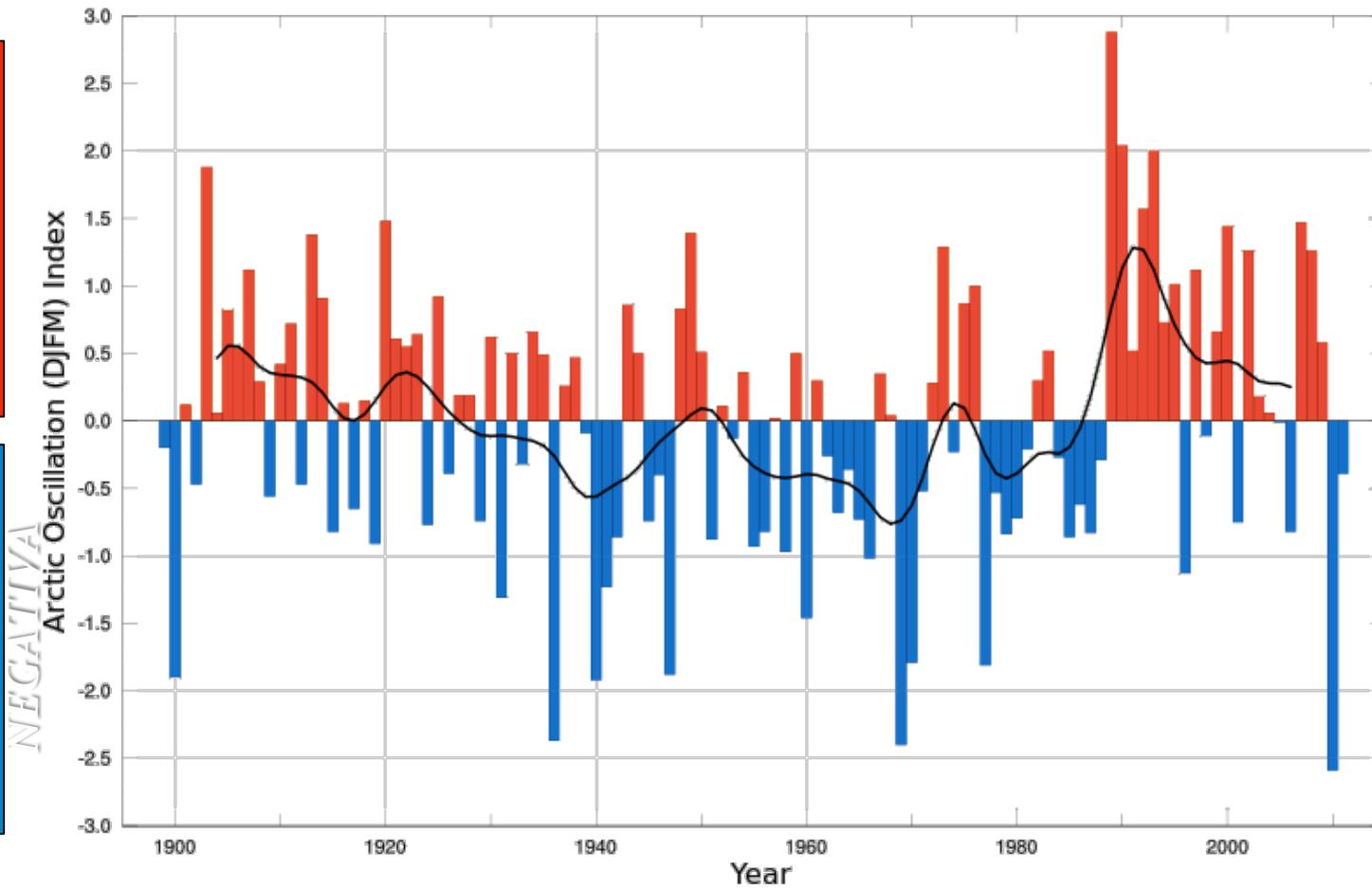
- ❖ É um padrão de variabilidade climática devido a *anomalias da baixa pressão atmosférica* sobre o *Ártico*;
- ❖ Também denominado como *Modo Anular Norte (NAM - Northern Annular Mode)*;
- ❖ Fenômeno definido pela comparação da pressão atmosférica na *região polar e em 45°N*.

AO/NAM

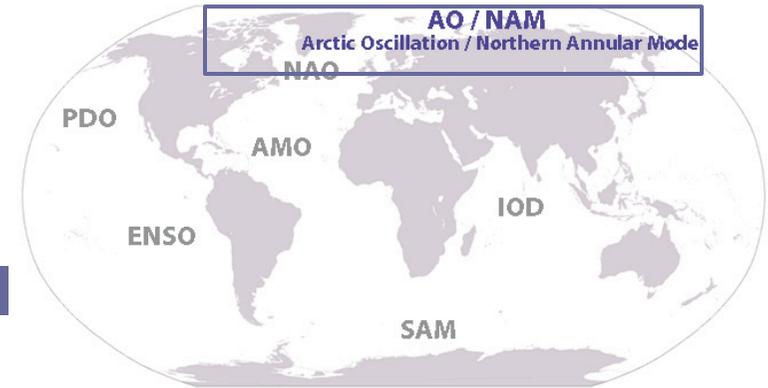


FASE POSITIVA

FASE NEGATIVA

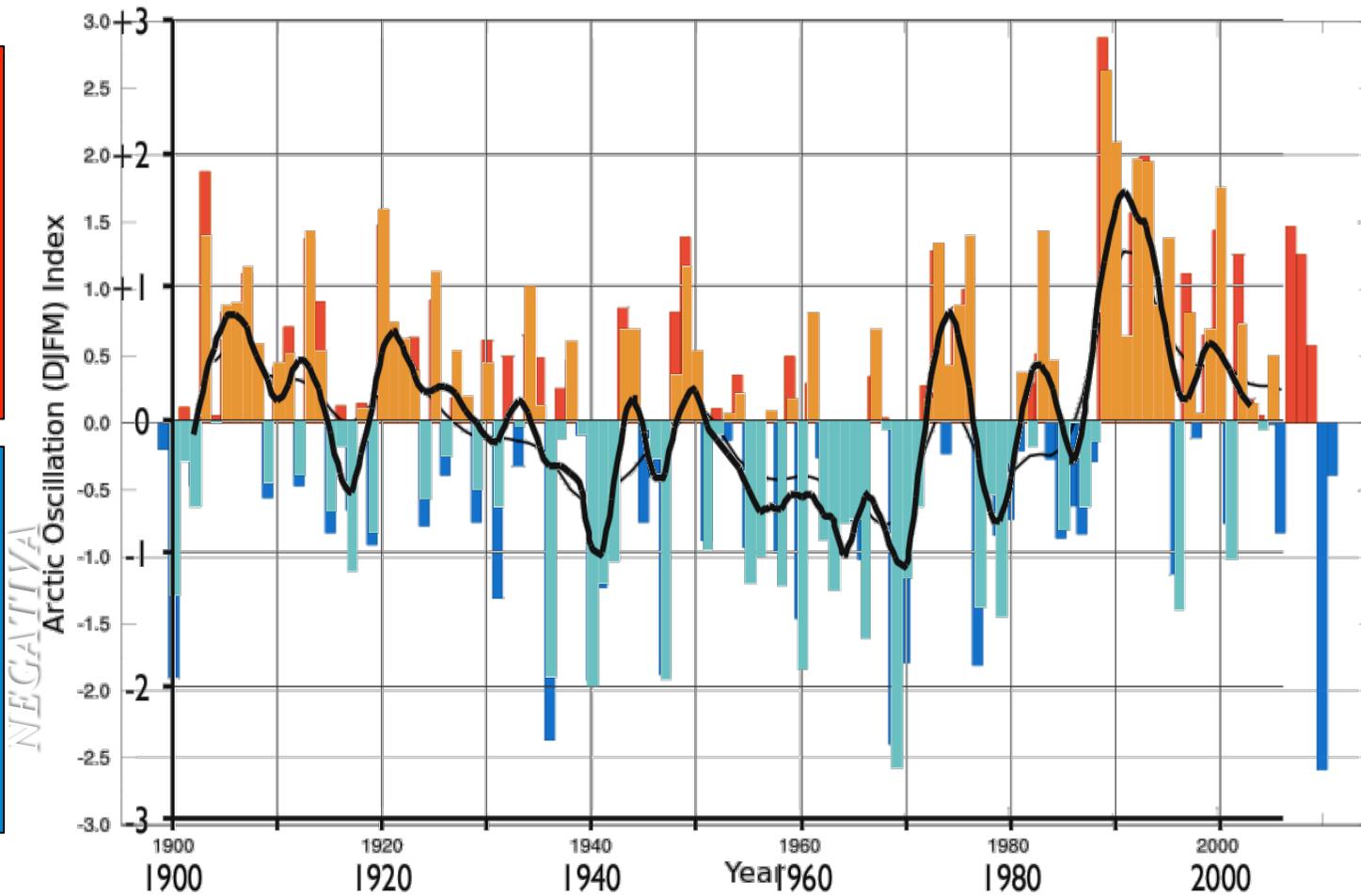


AO/NAM



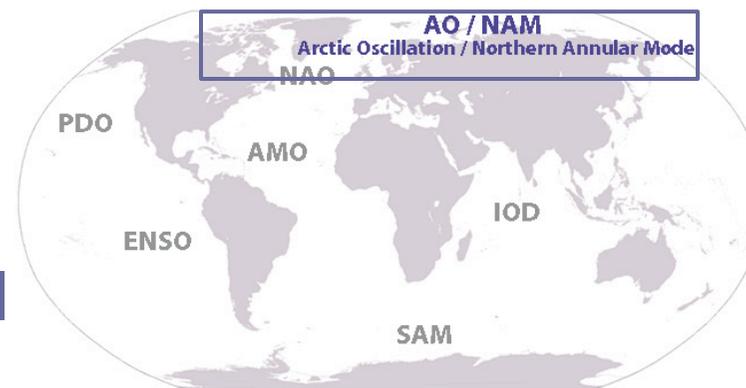
FASE POSITIVA

FASE NEGATIVA



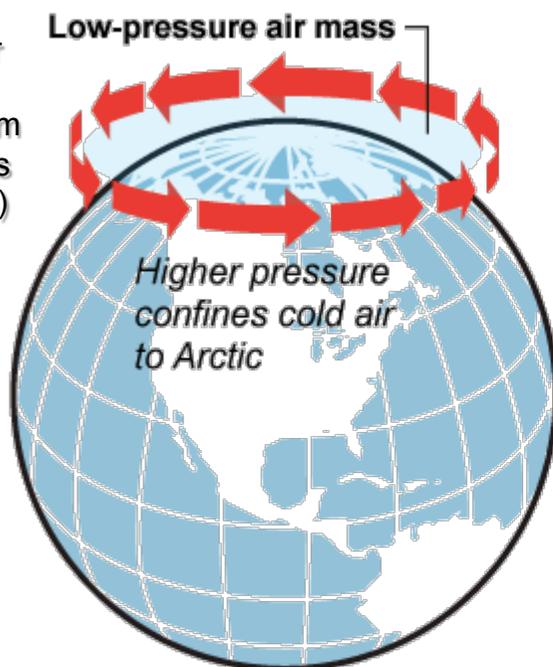
Índice NAO sobreposto ao Índice AO

AO/NAM



THE ARCTIC OSCILLATION

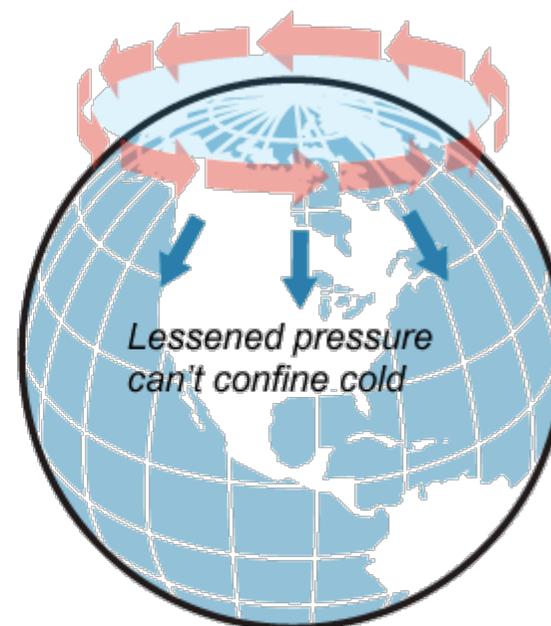
Na Fase Positiva o ar frio é confinado no Ártico → o HN como um todo terá temperaturas mais amenas (quente)



POSITIVE PHASE

Higher-pressure air mass over North America, Europe and Asia confines extremely cold air to Arctic, causing the northern hemisphere to be warmer.

Sources: NASA, NATIONAL SNOW AND ICE DATA CENTER

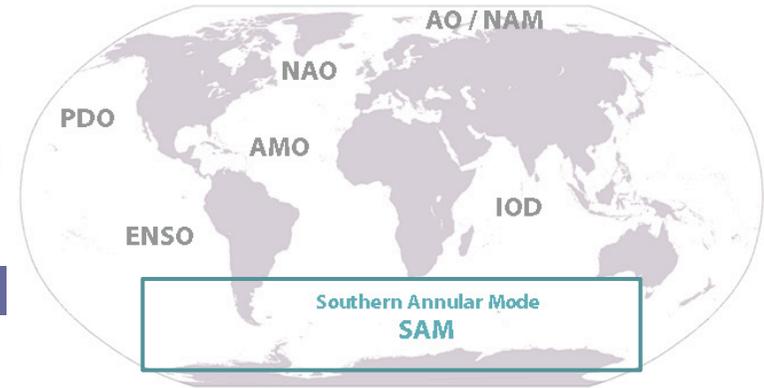


NEGATIVE PHASE

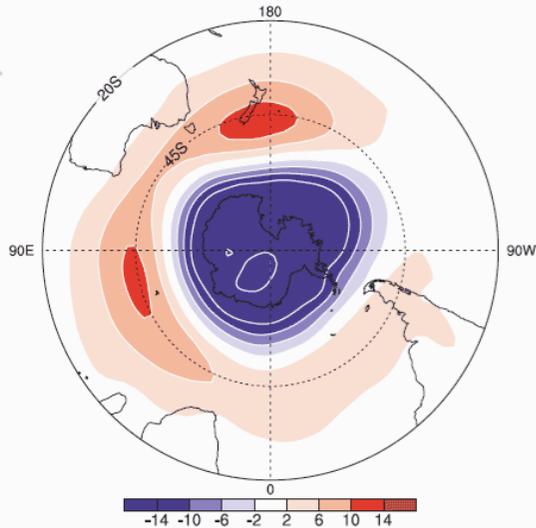
Pressure systems weaken, allowing colder air to move south and warmer air to move north, causing the northern hemisphere to be colder.

Na Fase Negativa o enfraquecimento do sistema de pressão permite o deslocamento de ar frio para o sul e ar quente para o norte → o HN como um todo terá temperaturas mais frias

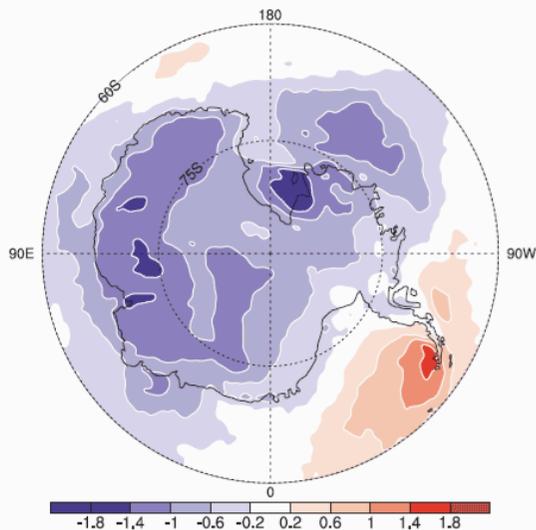
Oscilação Antártica (AAO)



Padrão de alteração da altura geopotencial (anomalias sazonais em 850 hPa)

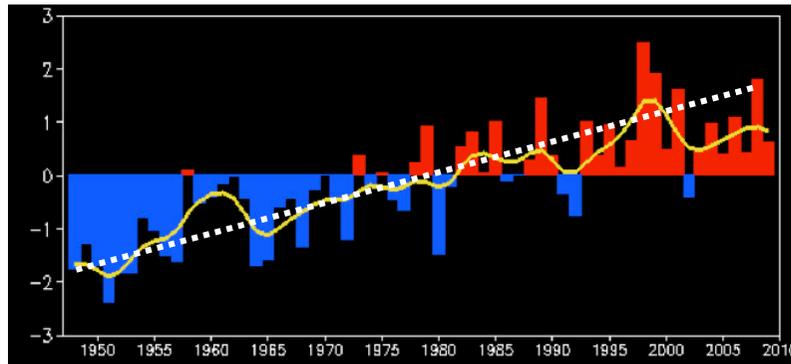
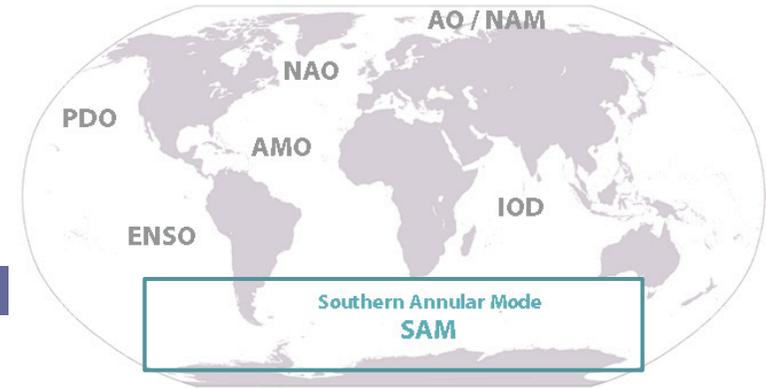


Padrão de alteração da Temperatura (°C), 1982-2004



- ❖ É um padrão de variabilidade climática centrado no *Hemisfério Sul*. Pode ser denominado também por *Modo Anular Sul* (Southern Annular Mode – SAM) ou *Modo de Alta Latitude* (High Latitude Mode – HLM).
- ❖ É representado pela oscilação dos valores do sistema de pressão atmosférica superficial *entre médias e altas latitudes*;
- ❖ O SAM é um padrão de variabilidade de larga escala que domina a circulação extratropical do Hemisfério Sul em escalas temporais que podem *variar de semanas a meses*.
- ❖ O *índice SAM* é calculado pela diferença da pressão zonal ao nível do mar *entre as latitudes de 40°S e 65°S*. Outros métodos podem ser utilizados para determinação do índice (EOF, PCA).

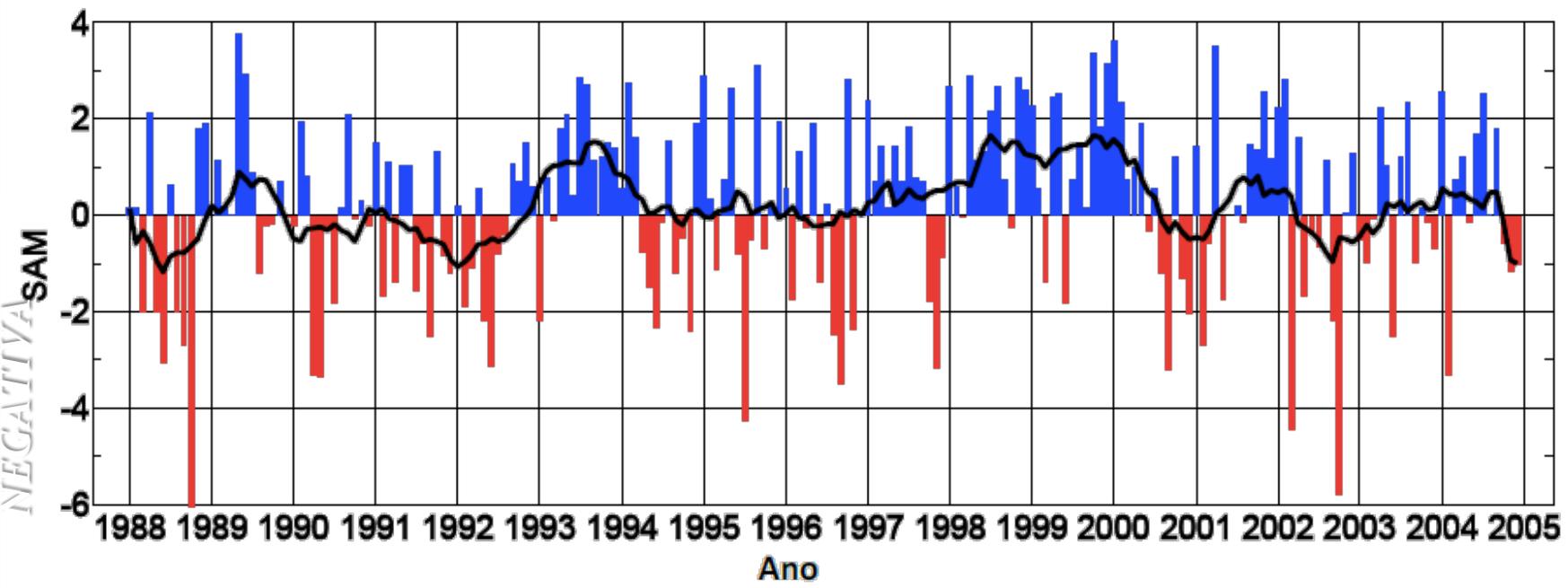
Índice SAM



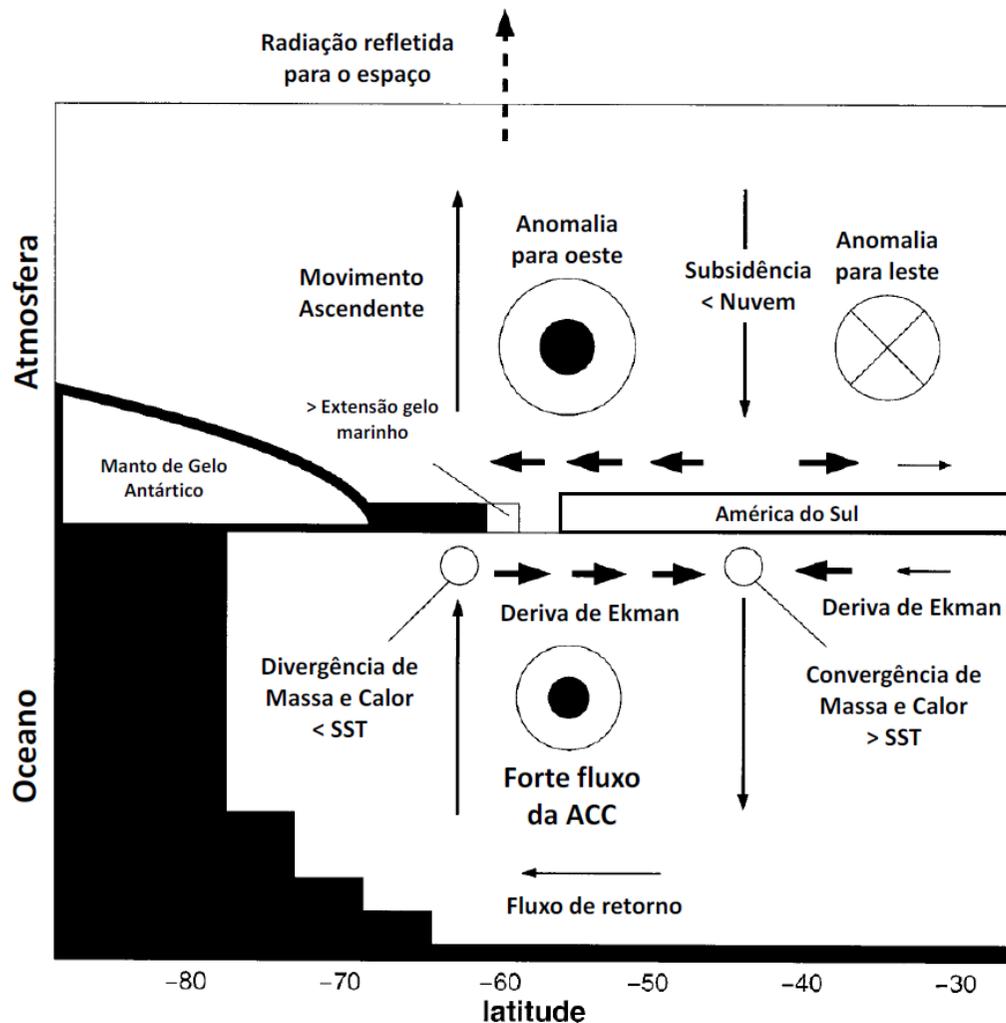
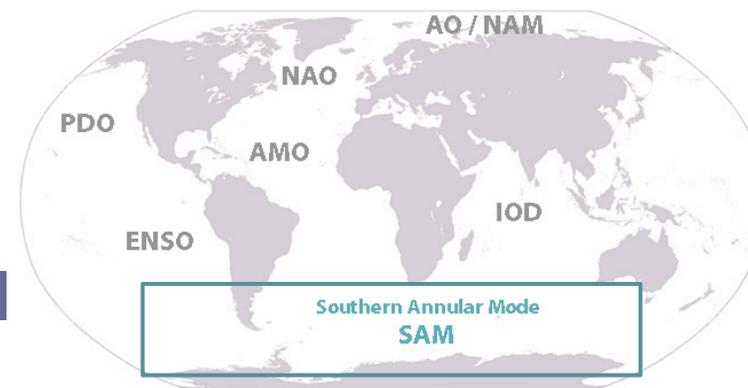
❖ Tendência positiva do índice SAM – estudos indicam relação com a depleção de ozônio acima da Antártica e aumento dos gases estufa.

FASE POSITIVA

FASE NEGATIVA



SAM



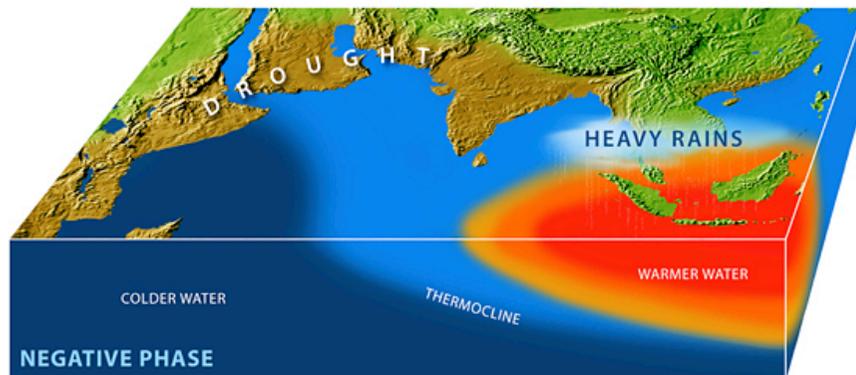
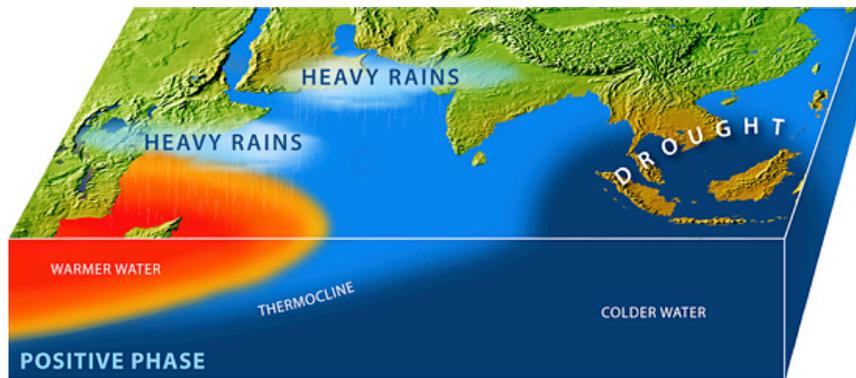
❖ O SAM é definido por *alterações nos ventos de oeste*, que são conduzidos pelos contrastes de temperatura entre os trópicos e a região polar da Antártica.

❖ Os *modos anulares* geralmente possuem um padrão circular ('anular' significa em forma de anel) e uma variação entre fases positivas e negativas durante semanas ou meses.

❖ No *modo positivo do SAM*, o anel é mais forte e mais Sul, *inibindo o transporte de ar Antártico*. No *modo negativo*, um vórtice mais fraco, mais variável *permite que o ar Antártico se desloque ao norte* mais facilmente.

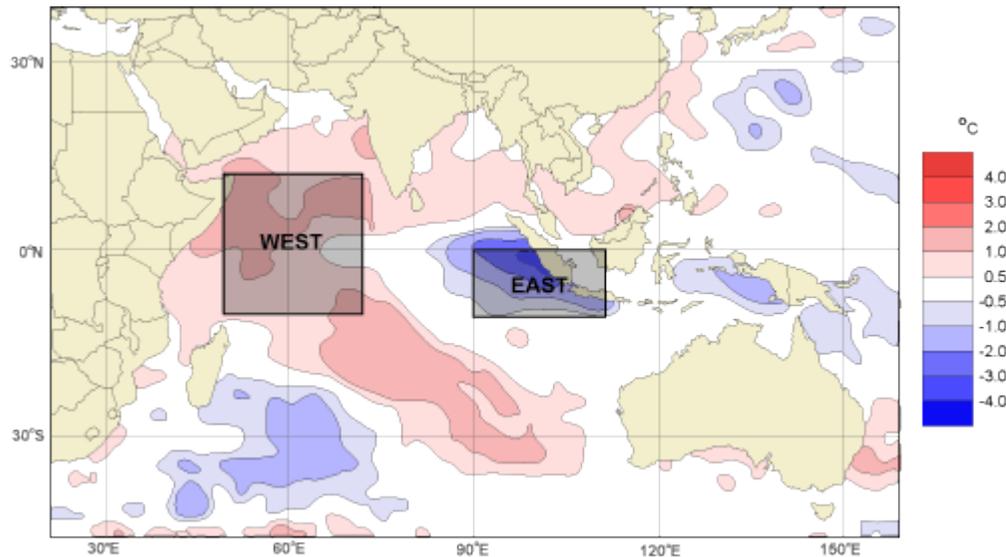
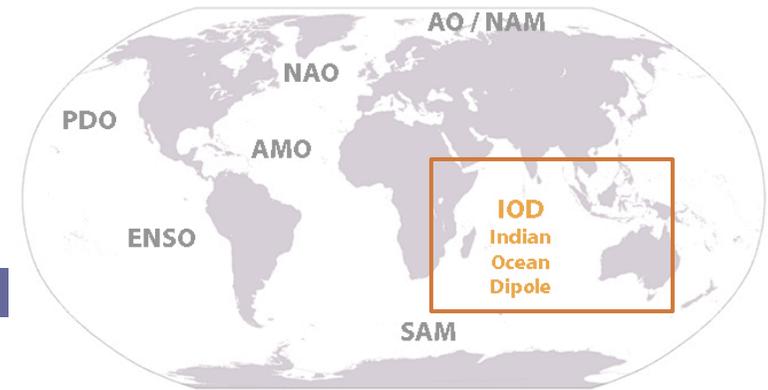
Figura VII-2. Esquema das alterações oceânicas e atmosféricas ocasionadas quando o índice SAM é positivo. Figura modificada de Hall & Visbeck [2002].

Dipolo do Oceano Índico (IOD)



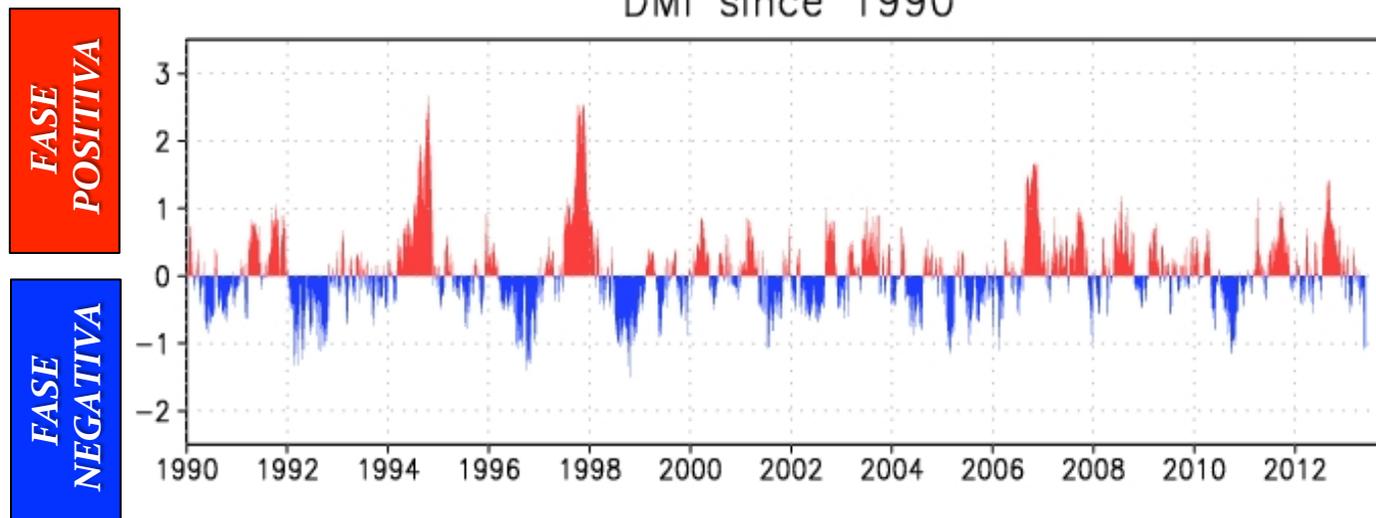
- ❖ É um padrão de variabilidade climática centrado no *Oceano Índico tropical*;
- ❖ Fenômeno definido por variações das *temperaturas do oceano superficial* no Oceano Índico (costa de Sumatra e da África);
- ❖ É um padrão análogo ao ENSO, identificado em 1999;
- ❖ É aperiódico com *escala temporal flutuando entre 2 ou + anos* (entre picos);
- ❖ O IOD influencia as monções de verão na Índia, tornando-a mais intensa em fases positivas e mais fracas em fases negativas.

IOD

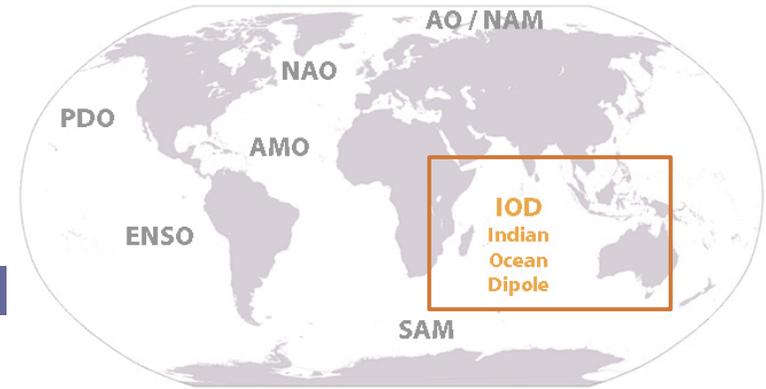


❖ O índice IOD é calculado a partir de dados de SST, determinando o gradiente de SST entre o oceano Índico equatorial oeste (50E-70E and 10S-10N) e leste (90E-110E and 10S-0N).

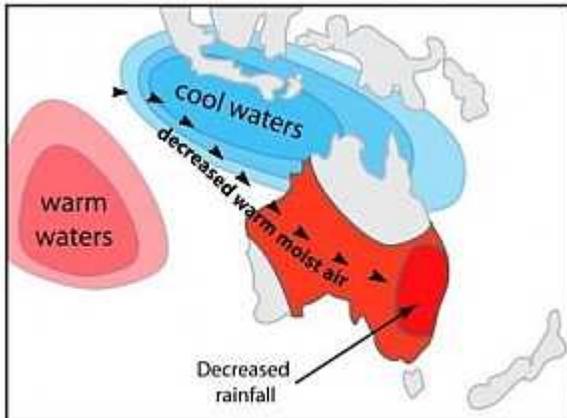
DMI since 1990



IOD

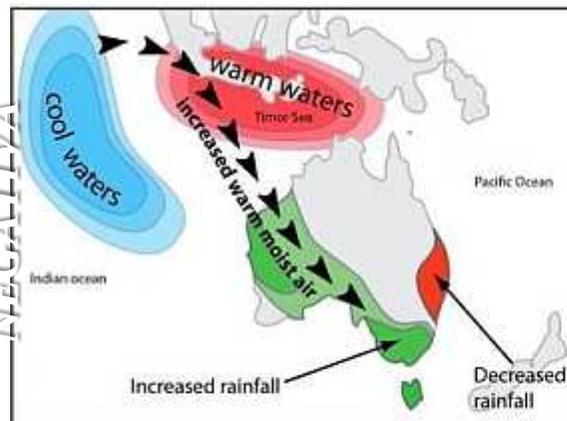


FASE POSITIVA



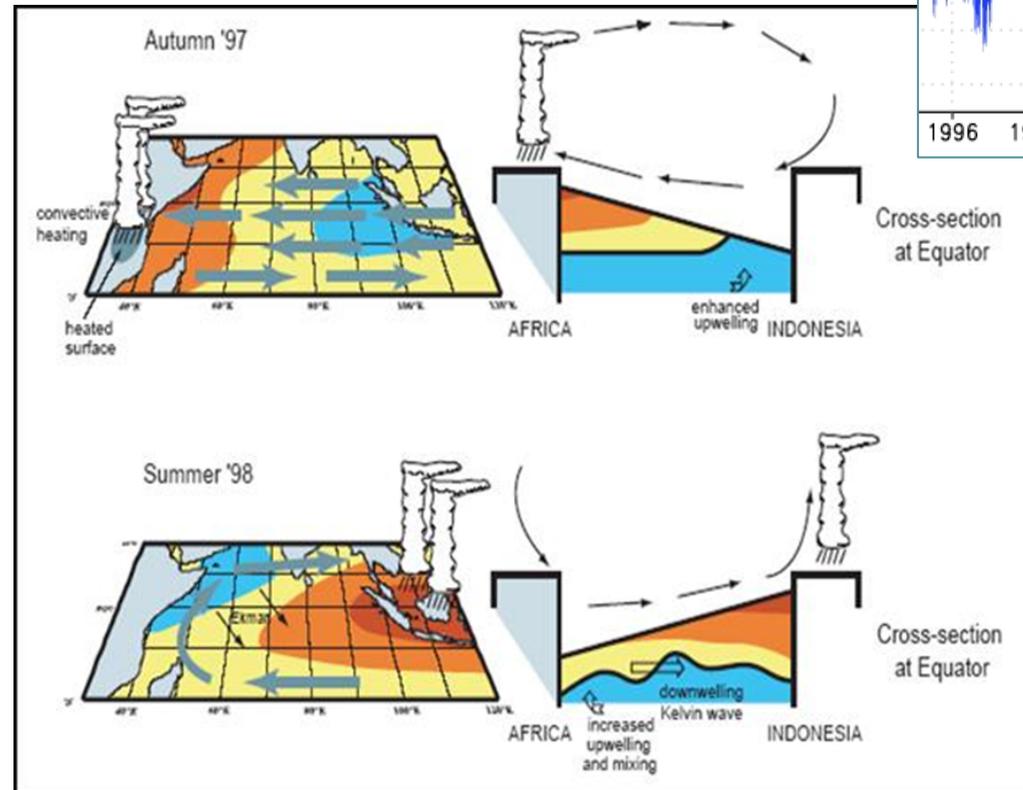
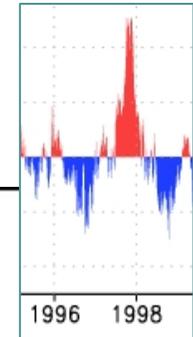
Positive phase: warm Indian Ocean water leads to weaker, drier winds and less rainfall.

FASE NEGATIVA

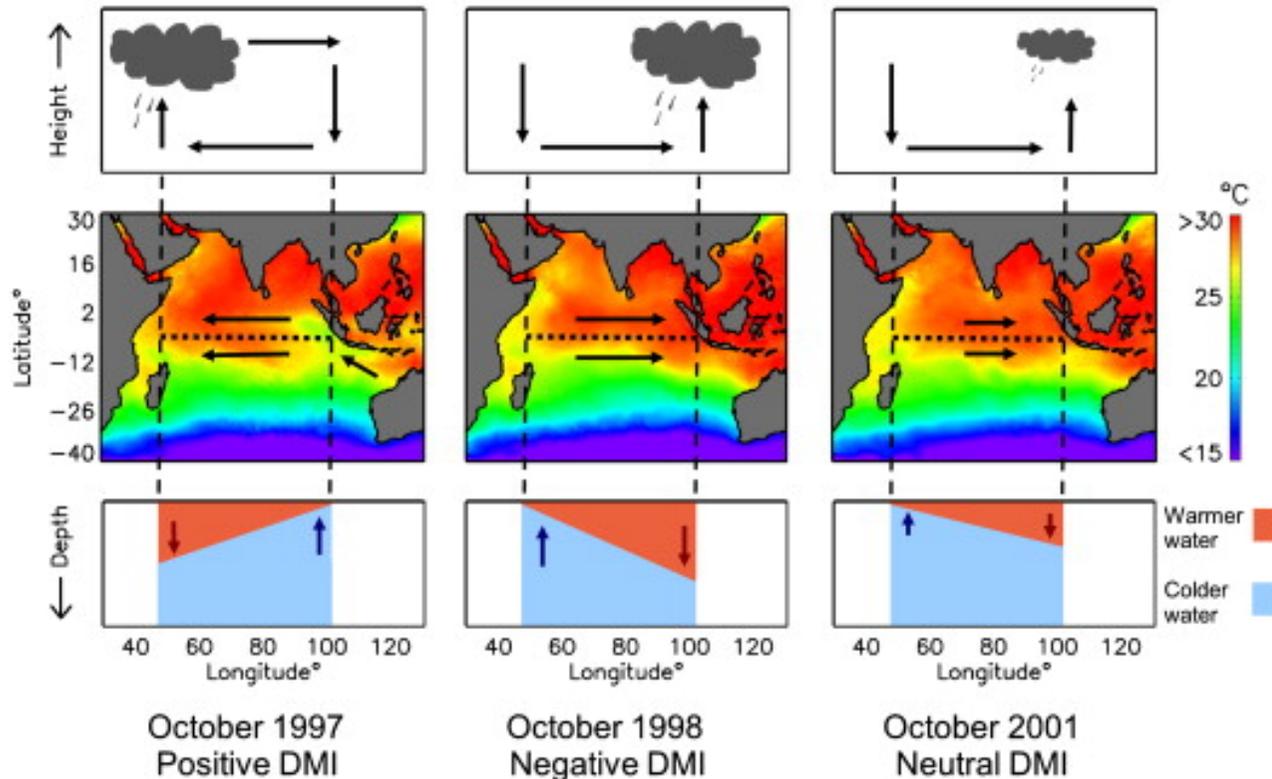
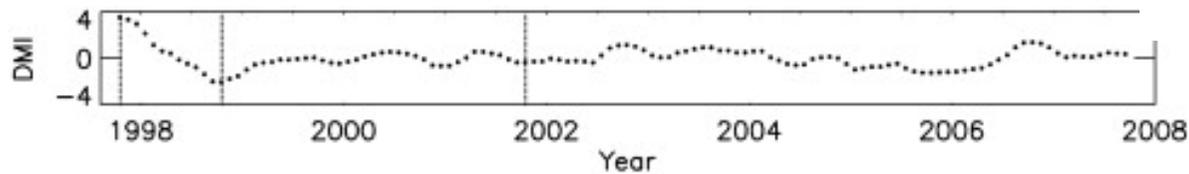
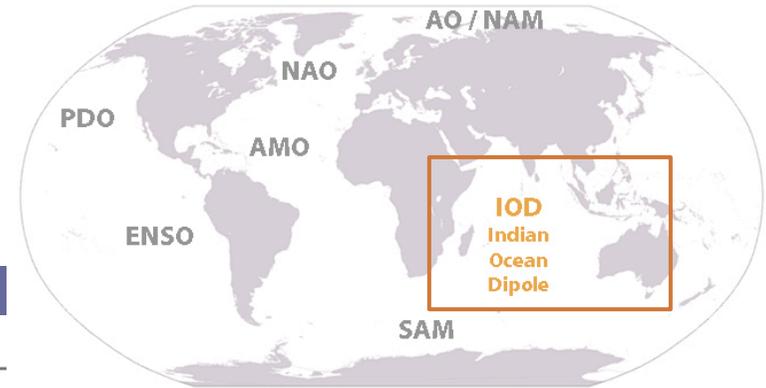


Negative phase: cool Indian Ocean water drives moist warm air and brings normal rainfall.

1997 – Fase positiva
1998 – Fase Negativa



IOD



- ❖ Ventos superficiais anômalos relacionados com variações de SST: intensificação / enfraquecimento dos alísios;

- ❖ Associado com *secas na Austrália e chuvas excessivas na África*;

- ❖ Representa apenas *~10% da variância total*;

- ❖ Poucos estudos.

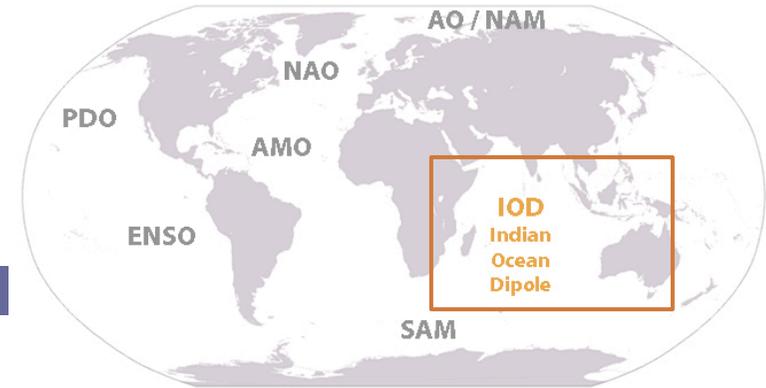
FASE POSITIVA

FASE

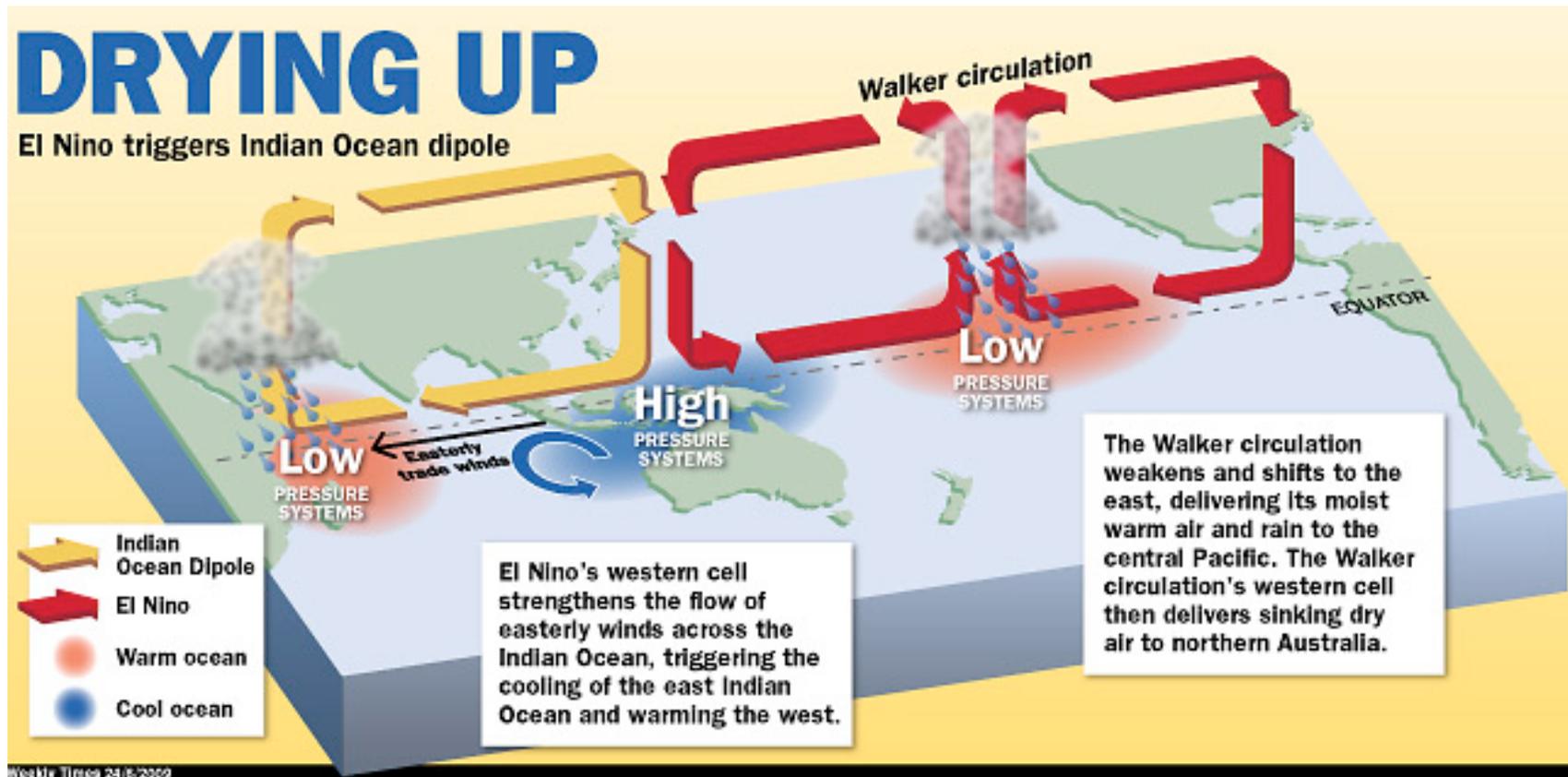
FASE NEUTRA

NEUTRAL

ENSO vs. IOD



❖ *O fenômeno do El Niño funciona com um “gatilho” para o IOD.*



Resumindo...

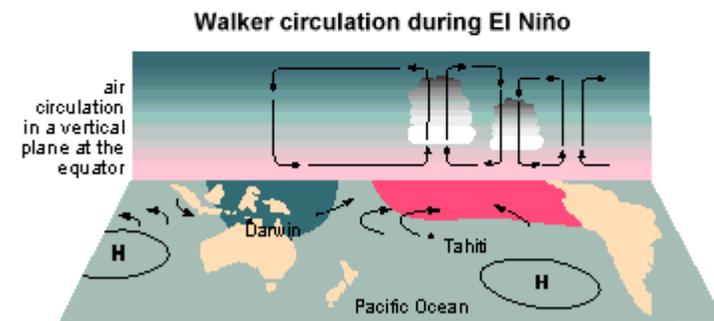
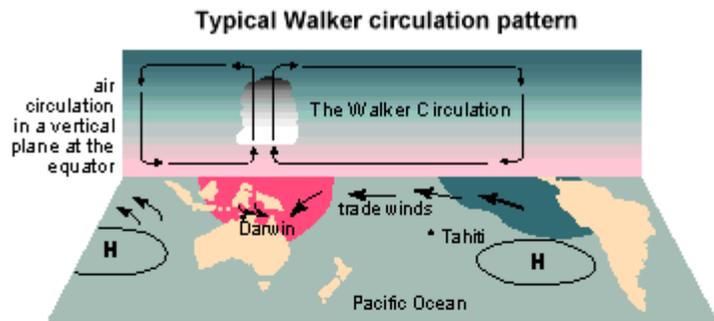


Resumindo

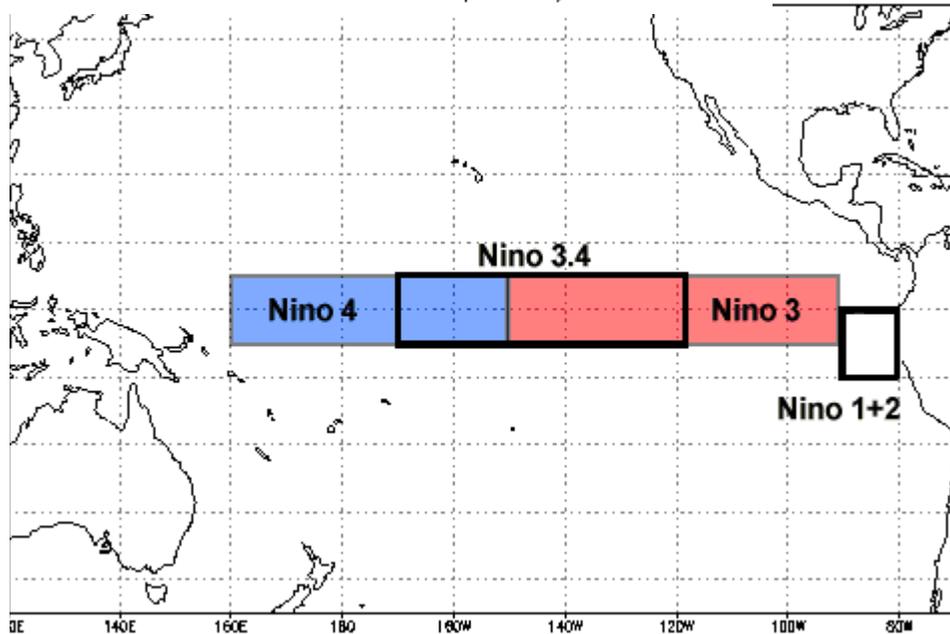
- Tipos de Oscilações e teleconexões;
- Principais Oscilações e Modos de variabilidade: escalas principais, padrões nos oceanos e na atmosfera;
- Oscilação decadal do Pacífico (PDO);
- Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO);
- El Niño-Oscilação Sul (ENSO);
- Oscilação do Atlântico Norte (NAO);
- Oscilação Artica (AO/NAM) e Oscilação Antártica (AAO/SAM);
- Dipolo do Oceano Índico (IOD).

Classification of IOD/ENSO years

	Negative IOD	Neutral	Positive IOD
El Niño	1930	1877, 1888, 1899, 1905, 1911, 1914, 1918, 1925, 1940, 1941, 1965, 1972, 1986, 1987	1896, 1902, 1957, 1963, 1982, 1991, 1997
Neutral	1915, 1958, 1968, 1974, 1980, 1985, 1989, 1992	1880, 1881, 1882, 1883, 1884, 1895, 1898, 1900, 1901, 1904, 1907, 1908, 1912, 1920, 1921, 1927, 1929, 1931, 1932, 1934, 1936, 1937, 1939, 1943, 1947, 1948, 1951, 1952, 1953, 1959, 1960, 1962, 1966, 1967, 1969, 1971, 1976, 1977, 1979, 1983, 1990, 1993, 1995, 2001, 2002, 2003, 2005, 2006	1885, 1887, 1891, 1894, 1913, 1919, 1923, 1926, 1935, 1944, 1945, 1946, 1961, 1994, 2004
La Niña	1906, 1909, 1916, 1917, 1933, 1942, 1975	1878, 1879, 1886, 1889, 1890, 1892, 1893, 1897, 1903, 1910, 1922, 1924, 1928, 1938, 1949, 1950, 1954, 1955, 1956, 1964, 1970, 1973, 1978, 1981, 1984, 1988, 1996, 1998, 2000	1999

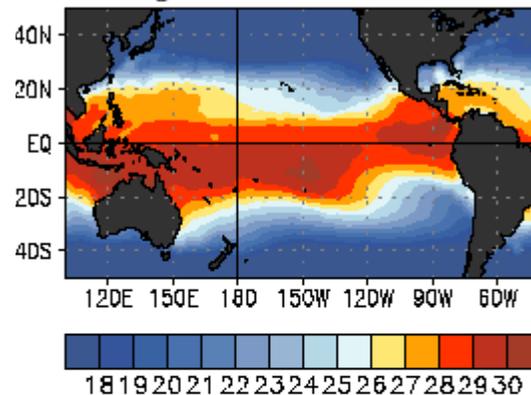


■ warmer sea
 ■ cooler sea
 (H) typical summer positions of high pressure systems
 → surface winds

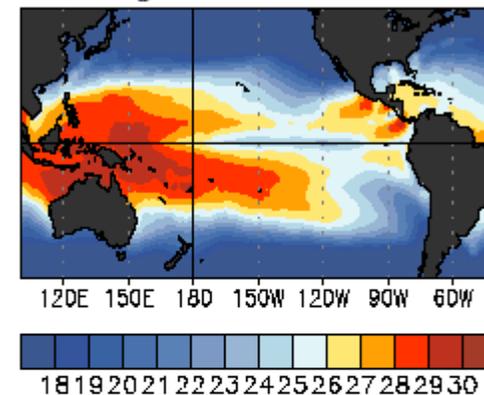


OCEAN TEMPERATURES (°C)

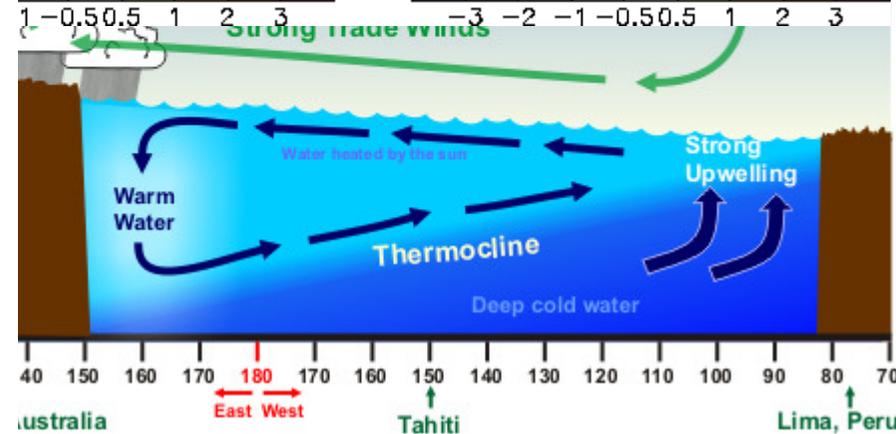
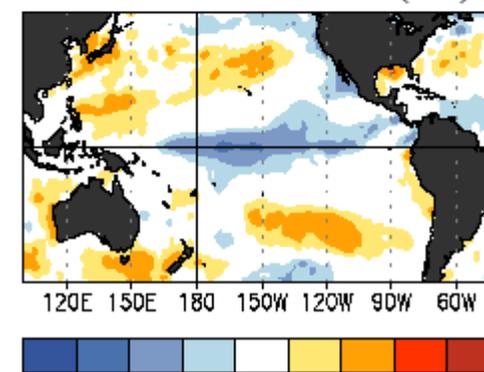
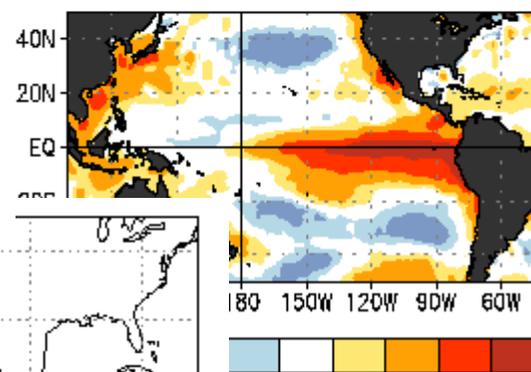
EL NIÑO Jan-Mar 1998



LA NIÑA Jan-Mar 1989



OCEAN TEMPERATURE DEPARTURES (°C)



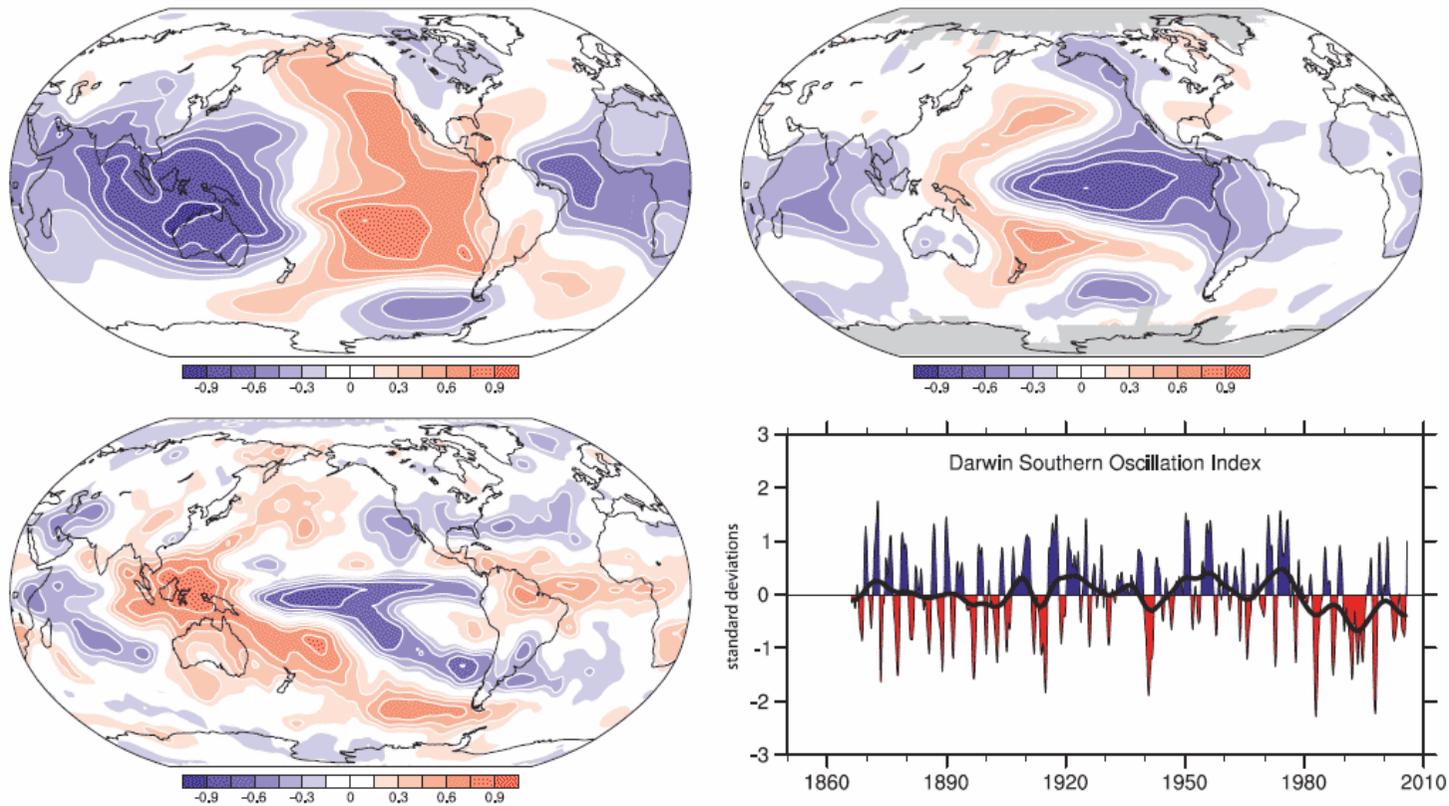
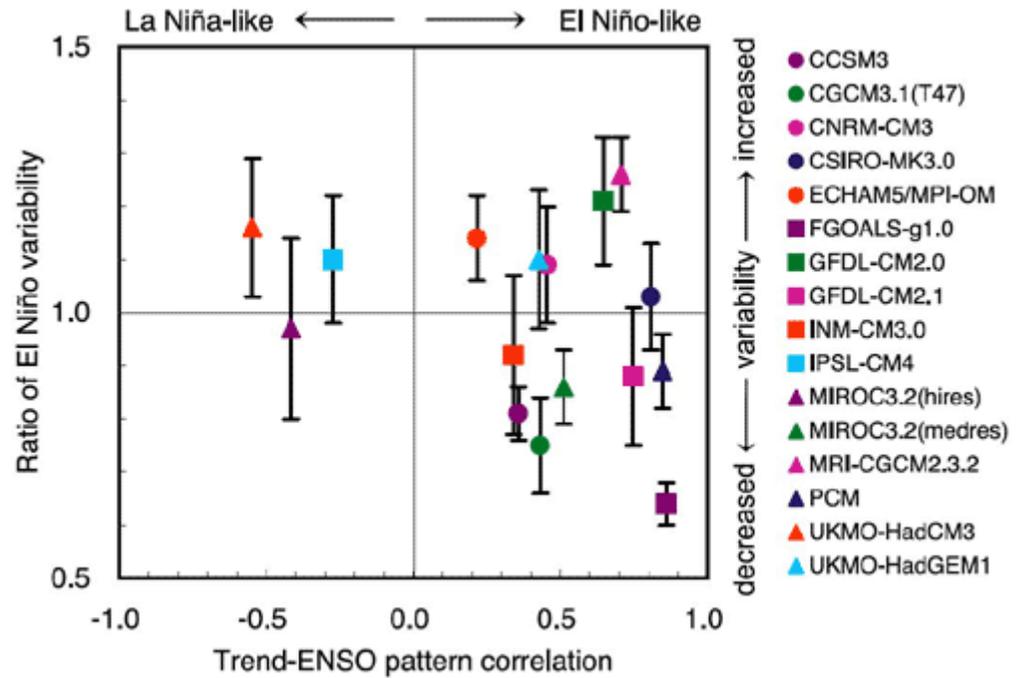
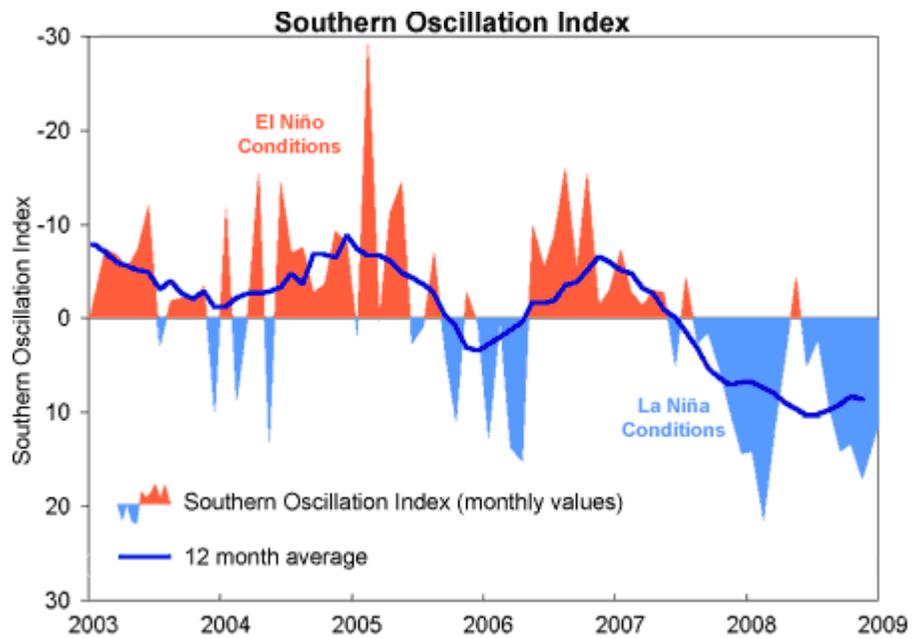
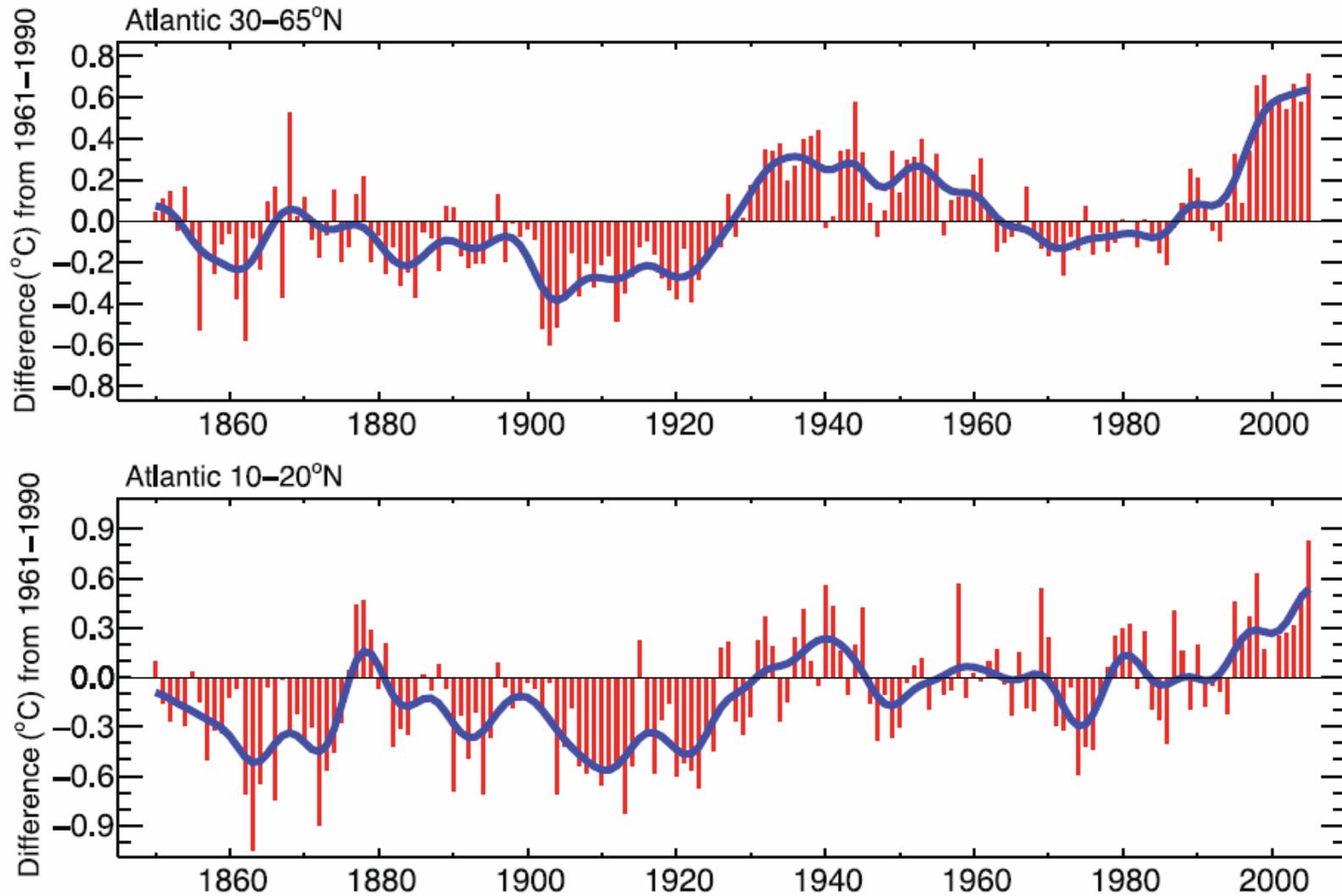


Figure 3.27. Correlations with the SOI, based on normalised Tahiti minus Darwin sea level pressures, for annual (May to April) means for sea level pressure (top left) and surface temperature (top right) for 1958 to 2004, and GPCP precipitation for 1979 to 2003 (bottom left), updated from Trenberth and Caron (2000). The Darwin-based SOI, in normalized units of standard deviation, from 1866 to 2005 (Können et al., 1998; lower right) features monthly values with an 11-point low-pass filter, which effectively removes fluctuations with periods of less than eight months (Trenberth, 1984). The smooth black curve shows decadal variations (see Appendix 3.A). Red values indicate positive sea level pressure anomalies at Darwin and thus El Niño conditions.

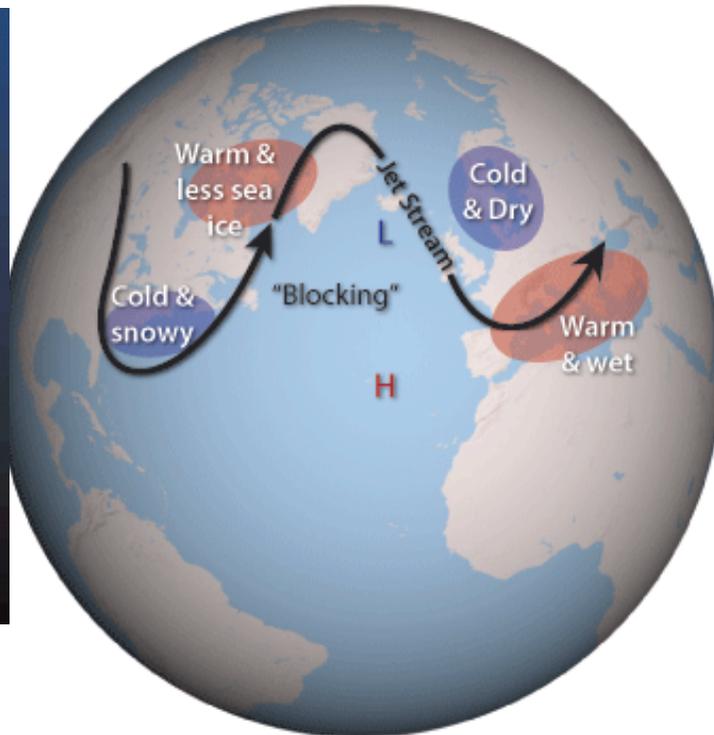
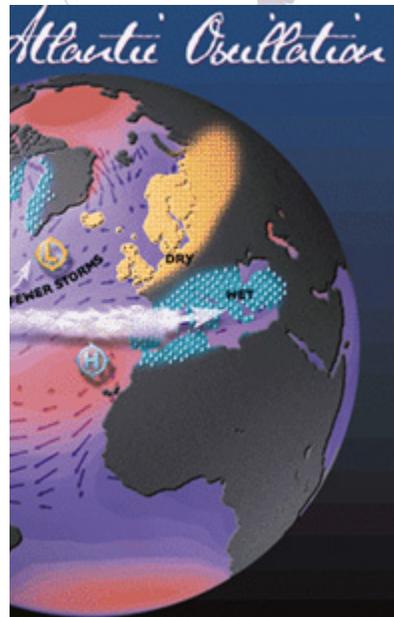
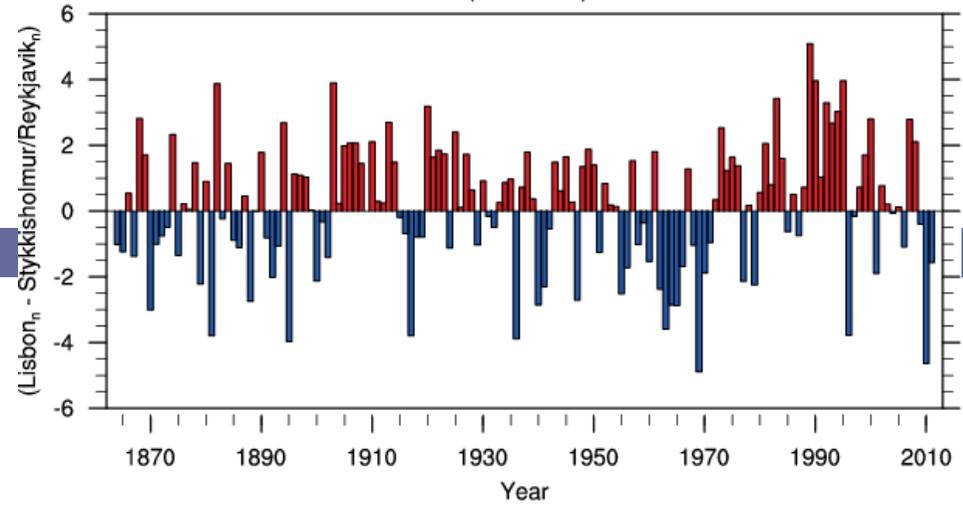


AMO

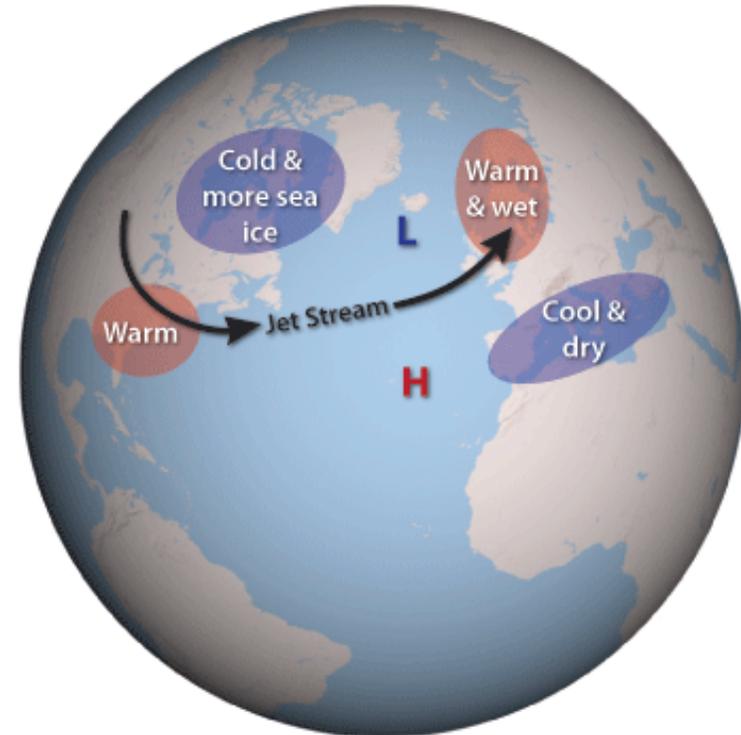


NAO

NAO Index (Dec-Mar) 1864-2011

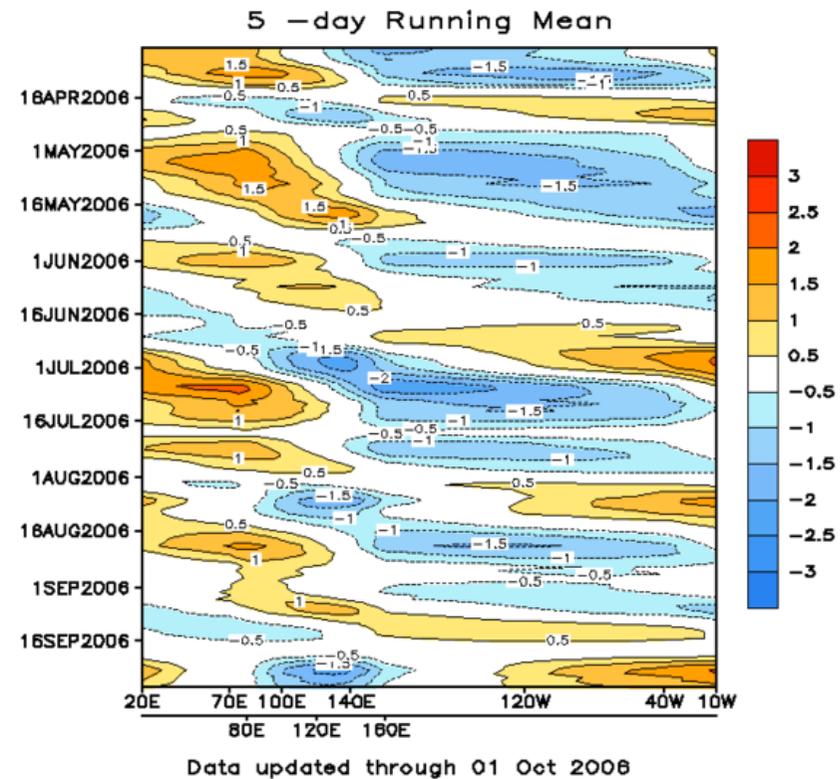


NAO Negative Mode



NAO Positive Mode

Oscilação Madden–Julian (MJO)



A F
me:
sho
to b
orie
rep

MJO

