

VOLUME 10

JOURNAL OF CLIMATE

AUGUST 1997

El Niño, La Niña, and the Nonlinearity of Their Teleconnections

MARTIN P. HOERLING

CIRES/CDC, University of Colorado, Boulder, Colorado

ARUN KUMAR

NOAA/NCEP, Washington, D.C.

MIN ZHONG

CIRES/CDC, University of Colorado, Boulder, Colorado

(Manuscript received 10 June 1996, in final form 16 October 1996)

1. Introduction
2. Datasets and methods
 - a) Analysis and observations
 - b) Atmospheric general circulation model experiments
 - c) Barotropic model
3. Observed teleconnection patterns during El Niño e La Niña
4. Sensitivity of na AGCM to El Niño and La Niña
5. Barotropic model analysis of the AGCM extratropical response
6. Summary and concluding remarks

1. Introdução

A visão predominante do clima atmosférico global associado ao El Niño-Oscilação Sul é de uma resposta linear.

- com anomalias durante o El Niño (quente), sendo a inversa daquelas durante o La Niña (fase fria).
- Evidências de análises tropicais: resposta à temperatura e precipitação em regiões tropicais tende a dois estados inversos com respeito à oscilação sul (SO).

Tais resultados têm sido utilizados para justificar a prática de retratar anomalias climáticas globais associadas ao SO como a diferença entre eventos quentes e frios

1. Introdução

A visão predominante do clima atmosférico global associado ao El Niño-Oscilação Sul é de uma resposta linear.

- com anomalias durante o El Niño (quente), sendo a inversa daquelas durante o La Niña (fase fria).
- Evidências de análises tropicais: resposta à temperatura e precipitação em regiões tropicais tende a dois estados inversos com respeito à oscilação sul (SO).

Implícito nesta prática é a suposição de que a parte linear da resposta climática domina, embora a componente não linear da resposta global não tenha sido explorada.

Tais resultados têm sido utilizados para justificar a prática de retratar anomalias climáticas globais associadas ao SO como a diferença entre eventos quentes e frios

1. Introdução

A visão predominante do clima atmosférico global associado ao El Niño-Oscilação Sul é de uma resposta linear.

- com anomalias durante o El Niño (quente), sendo a inversa daquelas durante o La Niña (fase fria).
- Evidências de análises tropicais: resposta à temperatura e precipitação em regiões tropicais tende a dois estados inversos com respeito à oscilação sul (SO).

Implícito nesta prática é a suposição de que a parte linear da resposta climática domina, embora a componente não linear da resposta global não tenha sido explorada.

Tais resultados têm sido utilizados para justificar a prática de retratar anomalias climáticas globais associadas ao SO como a diferença entre eventos quentes e frios

Até mesmo a resposta tropical pode não ser linear para anomalias iguais e opostas de SST, implícita no controle termodinâmico em convecção profunda.

Devido às assimetrias zonais da climatologia, até pequenos desvios da temperatura da superfície do mar pode excitar grandes desvios de precipitação na periferia da região da piscina quente do Pacífico ocidental:

- Anomalias positivas: induzir a convecção na língua fria do Pacífico equatorial leste.
- Anomalias negativas: de SST na região da língua fria não têm efeito sobre as condições normalmente secas.

Levando a uma não linearidade apreciável entre os efeitos de El Niño e La Niña nas chuvas tropicais.

1. Introdução

A visão predominante do clima atmosférico global associado ao El Niño-Oscilação Sul é de uma resposta linear.

- com anomalias durante o El Niño (quente), sendo a inversa daquelas durante o La Niña (fase fria).
- Evidências de análises tropicais: resposta à temperatura e precipitação em regiões tropicais tende a dois estados inversos com respeito à oscilação sul (SO).

Implícito nesta prática é a suposição de que a parte linear da resposta climática domina, embora a componente não linear da resposta global não tenha sido explorada.

Até mesmo a resposta tropical pode não ser linear para anomalias iguais e opostas de SST, implícita no controle termodinâmico em convecção profunda.

Devido às assimetrias zonais da climatologia, até pequenos desvios da temperatura da superfície do mar pode excitar grandes desvios de precipitação na periferia da região da piscina quente do Pacífico ocidental:

- Anomalias positivas: induzir a convecção na língua fria do Pacífico equatorial leste.
- Anomalias negativas: de SST na região da língua fria não têm efeito sobre as condições normalmente secas.

Levando a uma não linearidade apreciável entre os efeitos de El Niño e La Niña nas chuvas tropicais.

Tais resultados têm sido utilizados para justificar a prática de retratar anomalias climáticas globais associadas ao SO como a diferença entre eventos quentes e frios

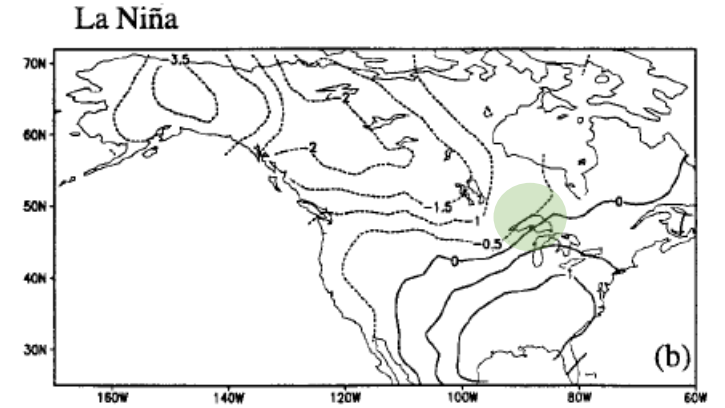
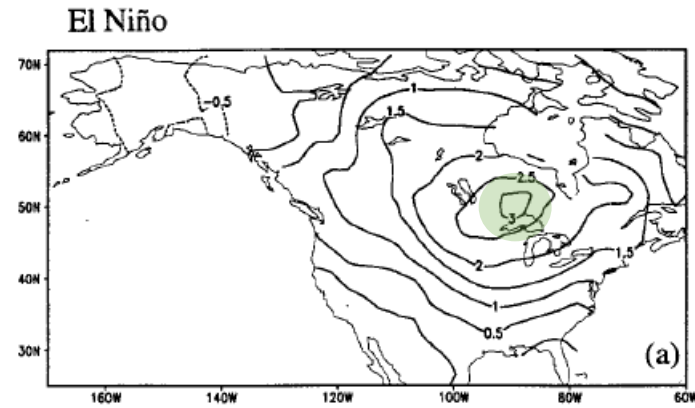
Questão: se tal relação não linear inerente entre SST e convecção profunda também pode levar a diferenças inerentes às regiões extratropicais à respostas a fases opostas do forçamento tropical SST.

Estudos empíricos que examinaram as diferenças nas anomalias médias de extremos do SO forneceram algumas evidências de não linearidade no sinal na América do Norte.

- Convecção vs. SST (Dole et al., 1994)
- Precipitação e temperatura (Sittel, 1994)

1. Introdução

A anomalia máxima de temperatura quente durante El Niño está localizada no sul do Canadá, mas ela reside na linha de anomalia de temperatura zero do composto La Niña.



1. Introdução

A anomalia máxima de temperatura quente durante El Niño está localizada no sul do Canadá, mas ela reside na linha de anomalia de temperatura zero do composto La Niña.

A diferença dos dois mapas estima a componente linear da resposta do ENSO em relação às anomalias tropicais SST do Pacífico central.

O somatório dos dois mapas estima o componente não linear

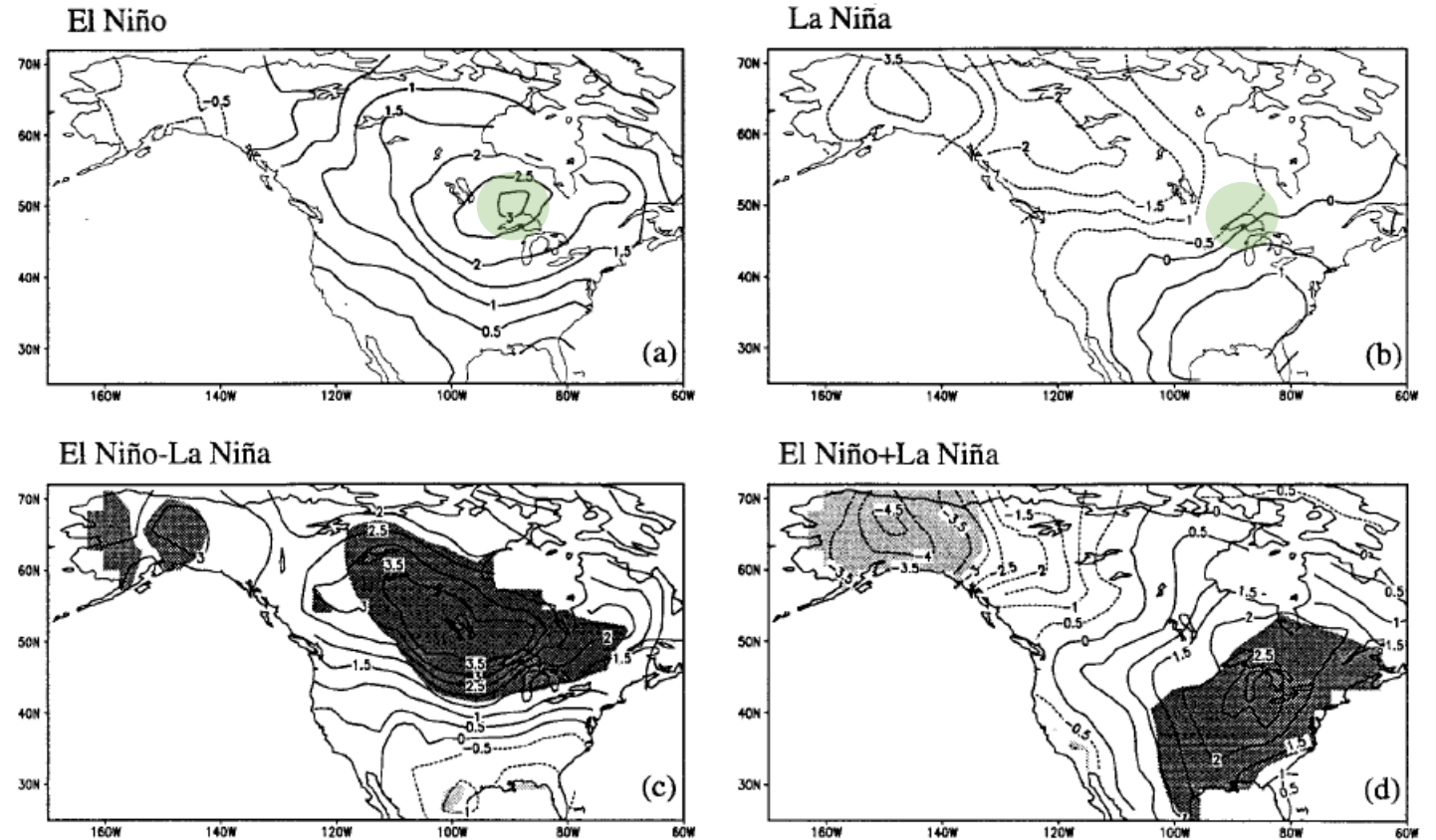


FIG. 1. Composites of the seasonally averaged DJF observed surface temperature anomalies for (a) El Niño and (b) La Niña states of the tropical Pacific sea surface temperatures. See Table 1 (section 2) for the years included in the composites. (c) Linear component of the surface temperature anomalies as estimated by the difference (a) minus (b). (d) Nonlinear component of the surface temperature anomalies, as estimated by the sum (a) plus (b). Contour interval is 0.5°C. Dark (light) shading indicates local statistical significance of positive (negative) values at the 95% confidence level.

Componente linear.

Componente não-linear.

1. Introdução

A anomalia máxima de temperatura quente durante El Niño está localizada no sul do Canadá, mas ela reside na linha de anomalia de temperatura zero do composto La Niña.

A diferença dos dois mapas estima a componente linear da resposta do ENSO em relação às anomalias tropicais SST do Pacífico central.

O somatório dos dois mapas estima o componente não linear

A não linearidade vista na Fig. 1 é uma propriedade intrínseca do sistema atmosférico quando forçada com anomalias SST tropicais iguais e opostas?

Apenas os resultados empíricos não são evidências suficientes para essa não linearidade, devido a vários fatores (amostragem, não-linearidade da OS, distribuição de energia, etc).

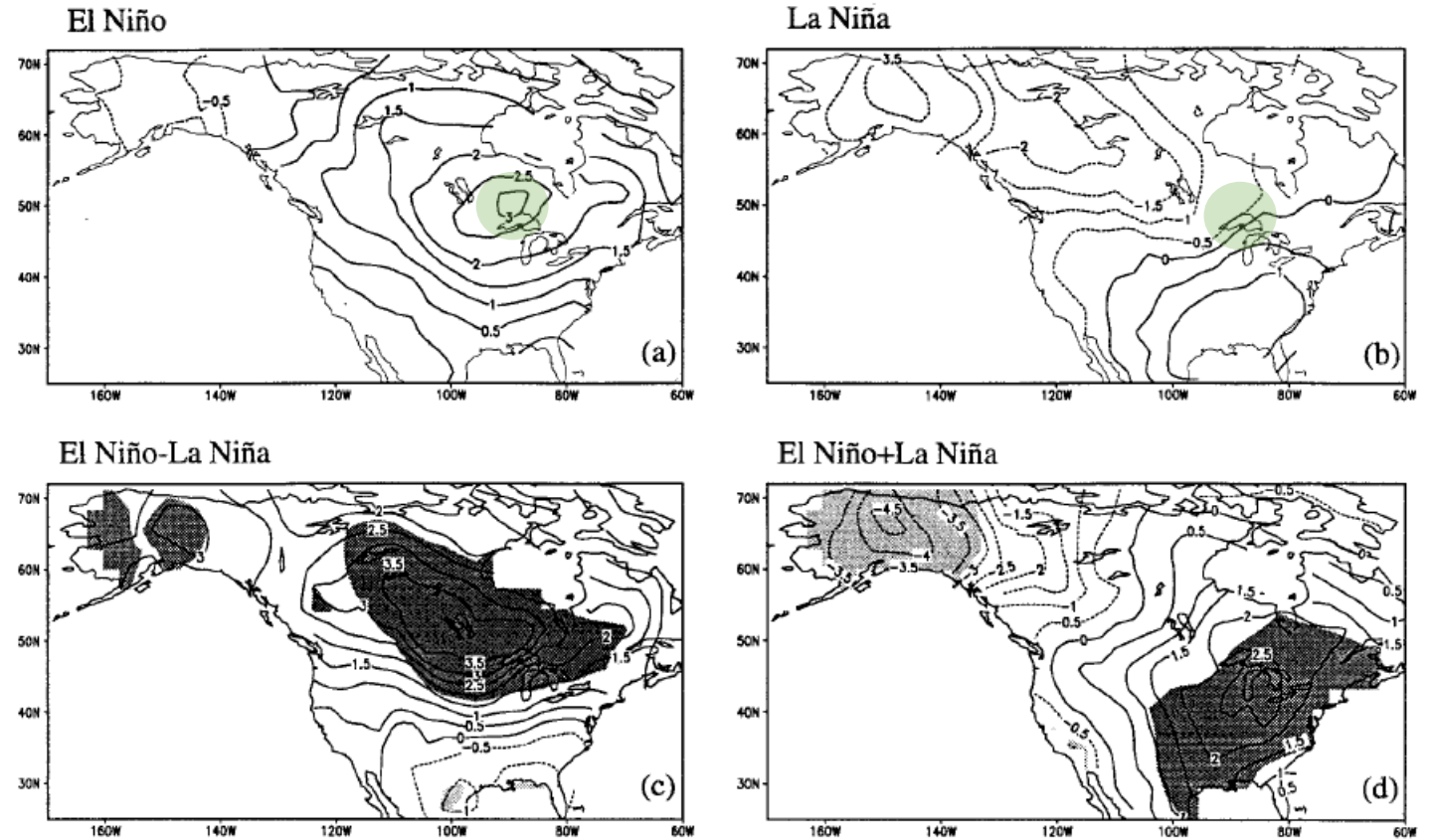


FIG. 1. Composites of the seasonally averaged DJF observed surface temperature anomalies for (a) El Niño and (b) La Niña states of the tropical Pacific sea surface temperatures. See Table 1 (section 2) for the years included in the composites. (c) Linear component of the surface temperature anomalies as estimated by the difference (a) minus (b). (d) Nonlinear component of the surface temperature anomalies, as estimated by the sum (a) plus (b). Contour interval is 0.5°C . Dark (light) shading indicates local statistical significance of positive (negative) values at the 95% confidence level.

Componente linear.

Componente não-linear.

1. Introdução

A visão predominante do clima atmosférico global associado ao El Niño-Oscilação Sul é de uma resposta linear.

- com anomalias durante o El Niño (quente), sendo a inversa daquelas durante o La Niña (fase fria).
- Evidências de análises tropicais: resposta à temperatura e precipitação em regiões tropicais a dois estados inversos com respeito à oscilação sul (SO).

Implícito nesta prática é a suposição de que a parte linear da resposta climática domina, embora a componente não linear da resposta global não tenha sido explorada.

Até mesmo a resposta tropical pode não ser linear para anomalias iguais e opostas de SST, implícita no controle termodinâmico em convecção profunda.

Devido às assimetrias zonais da climatologia, até pequenos desvios da temperatura da superfície do mar pode excitar grandes desvios de precipitação na periferia da região da piscina quente do Pacífico ocidental:

- Anomalias positivas: induzir a convecção na língua fria do Pacífico equatorial leste.
- Anomalias negativas: de SST na região da língua fria não têm efeito sobre as condições normalmente secas.

Levando a uma não linearidade apreciável entre os efeitos de El Niño e La Niña nas chuvas tropicais.

Tais resultados têm sido utilizados para justificar a prática de retratar anomalias climáticas globais associadas ao SO como a diferença entre eventos quentes e frios

Questão: se tal relação não linear inerente entre SST e convecção profunda também pode levar a diferenças inerentes às regiões extratropicais à respostas a fases opostas do forçamento tropical SST.

Estudos empíricos que examinaram as diferenças nas anomalias médias de extremos do SO forneceram algumas evidências de não linearidade no sinal na América do Norte.

- Convecção vs. SST (Dole et al., 1994)
- Precipitação e temperatura (Sittel, 1994)

Este estudo explora uma base física e dinâmica para as sugestões observacionais emergentes de assimetrias na resposta climática norte-americana a fases extremas da oscilação do sul.

2. Dados e métodos

a) Análise das observações:

Temperatura da superfície do oceano em global.

- Invernos durante 1950 – 1996.
- Combinação de dois bancos de dados (medidas locais e dados de satélites – interpolação da média mensal).

A seleção de eventos quentes é baseada na análise da região de ocorrência do Niño-4 e oeste da região do Niño-3. Caracterizado pela sensibilidade à convecção e forçantes de teleconexão atmosférica.

Selecionados (índice padrão das anomalias):

- 9 invernos com os maiores índices positivos.
- 9 invernos com os menores índices negativos.

Criação da composição para examinar os padrões climáticos do Hemisfério Norte.

Para formar uma composição com dados de precipitação, outra série de anomalias foi criada escolhendo os 5 eventos mais fortes (quente e frio) para o período de dados disponíveis: 1974 – 1996.

2. Dados e métodos

a) Análise das observações:

Temperatura da superfície do oceano em global.

- Invernos durante 1950 – 1996.
- Combinação de dois bancos de dados (medidas locais e dados de satélites – interpolação da média mensal).

A seleção de eventos quentes é baseada na análise da região de ocorrência do Niño-4 e oeste da região do Niño-3. Caracterizado pela sensibilidade à convecção e forçantes de teleconexão atmosférica.

Selecionados (índice padrão das anomalias):

- 9 invernos com os maiores índices positivos.
- 9 invernos com os menores índices negativos.

Criação da composição para examinar os padrões climáticos do Hemisfério Norte.

Para formar uma composição com dados de precipitação, outra série de anomalias foi criada escolhendo os 5 eventos mais fortes (quente e frio) para o período de dados disponíveis: 1974 – 1996.

b) Experimentos com o modelo atmosférico geral de circulação

Experimentos de anomalias idealizadas foram feitas usando componentes do NCEP.

Utilizou-se a composição dos dados do El Niño baseado nas médias dos períodos: 1957-58, 1965-66, 1972-73, 1987-88 e 1991-92.

Um conjunto paralelo de dados/simulações é recriado com as anomalias da SST invertida em sinal, criando as condições de contorno frias.

2. Dados e métodos

a) Análise das observações:

Temperatura da superfície do oceano em global.

- Invernos durante 1950 – 1996.
- Combinação de dois bancos de dados (medidas locais e dados de satélites – interpolação da média mensal).

A seleção de eventos quentes é baseada na análise da região de ocorrência do Niño-4 e oeste da região do Niño-3. Caracterizado pela sensibilidade à convecção e forçantes de teleconexão atmosférica.

Selecionados (índice padrão das anomalias):

- 9 invernos com os maiores índices positivos.
- 9 invernos com os menores índices negativos.

Criação da composição para examinar os padrões climáticos do Hemisfério Norte.

Para formar uma composição com dados de precipitação, outra série de anomalias foi criado escolhendo os 5 eventos mais fortes (quente e frio) para o período de dados disponíveis: 1974 – 1996.

b) Experimentos com o modelo atmosférico geral de circulação

Experimentos de anomalias idealizadas foram feitas usando componentes do NCEP.

Utilizou-se a composição dos dados do El Niño baseado nas médias dos períodos: 1957-58, 1965-66, 1972-73, 1987-88 e 1991-92.

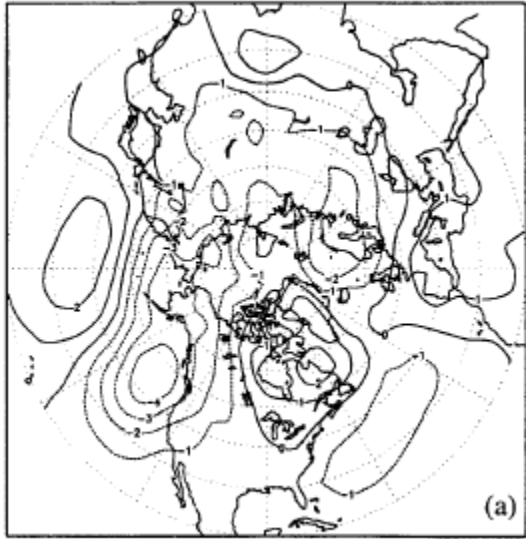
Um conjunto paralelo de dados/simulações é recriado com as anomalias da SST invertida em sinal, criando as condições de contorno frias.

c) Modelo barotrópico

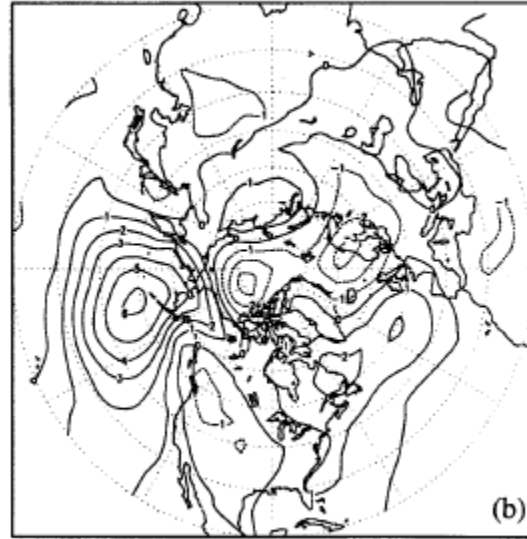
Modelo para interpretar as respostas do GCM aos sinais de El Niño e La Niña.

3. Padrões de teleconexão durante o El Niño e La Niña

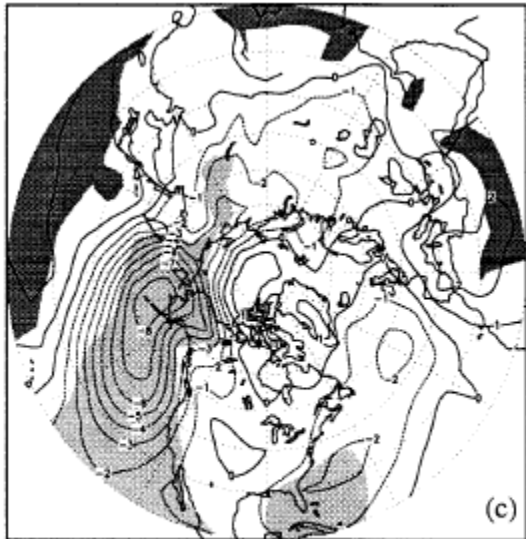
El Niño



La Niña



El Niño-La Niña



El Niño+La Niña

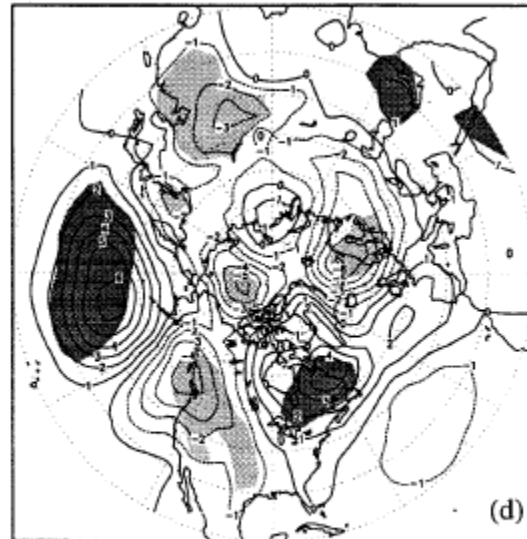
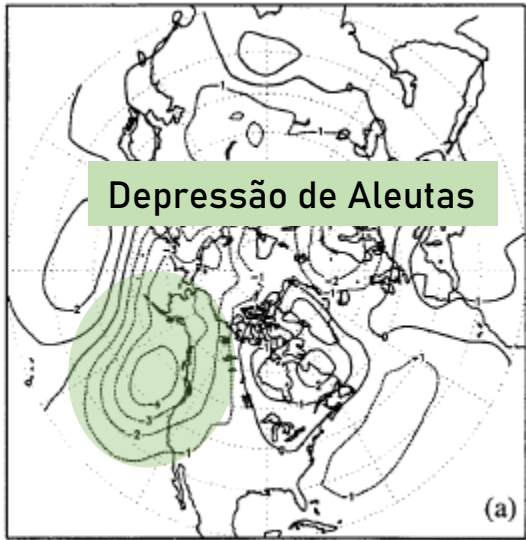


FIG. 2. Same as in Fig. 1 except for the observed mean sea level pressure. Contour interval is 1 mb. Polar stereographic projection extends to 20°N.

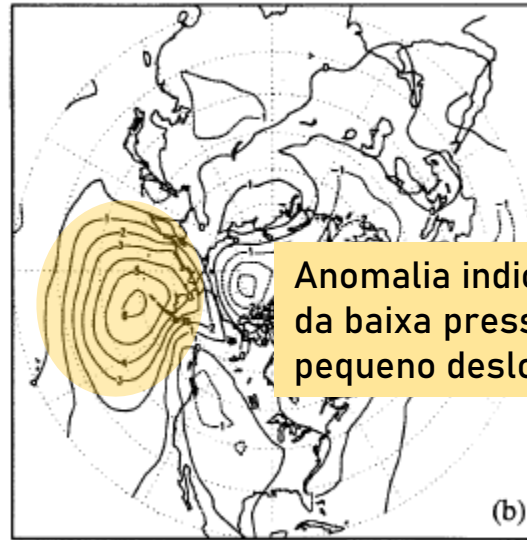
Altura da pressão do mar.

3. Padrões de teleconexão durante o El Niño e La Niña

El Niño



La Niña



El Niño-La Niña



El Niño+La Niña

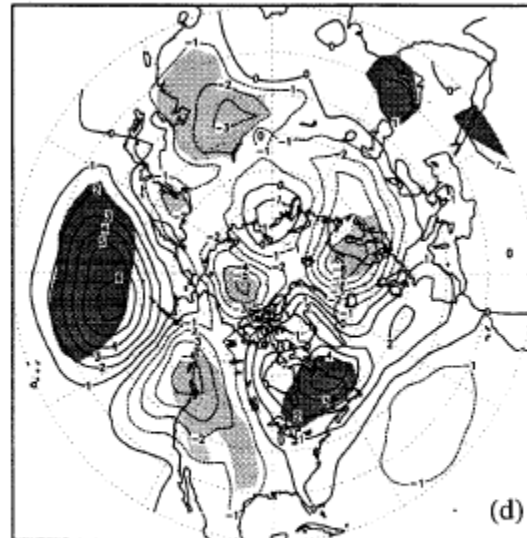
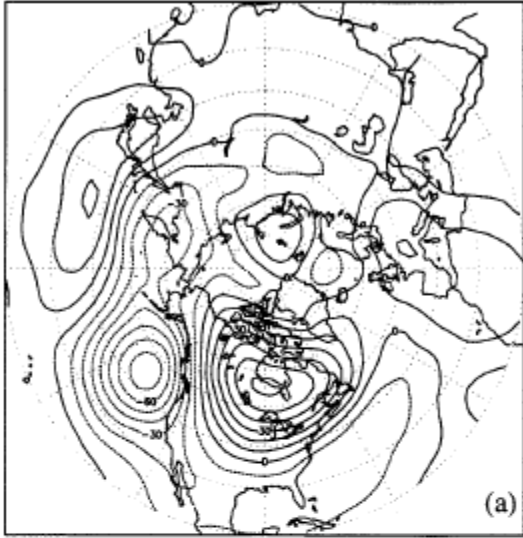


FIG. 2. Same as in Fig. 1 except for the observed mean sea level pressure. Contour interval is 1 mb. Polar stereographic projection extends to 20°N.

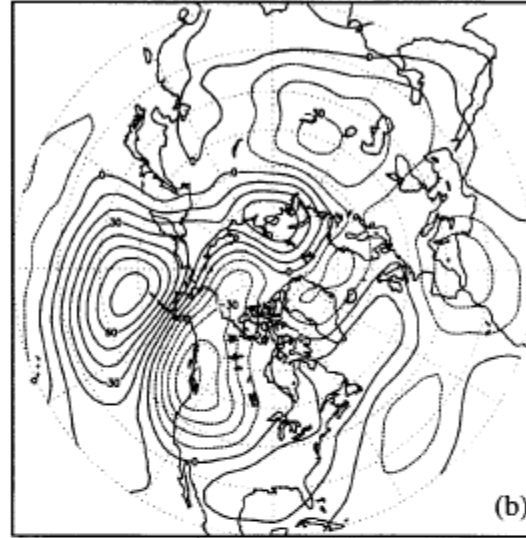
Altura da pressão do mar.

3. Padrões de teleconexão durante o El Niño e La Niña

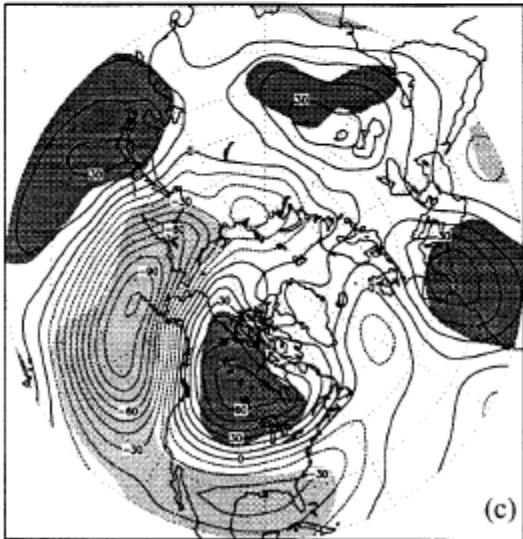
El Niño



La Niña



El Niño-La Niña



El Niño+La Niña

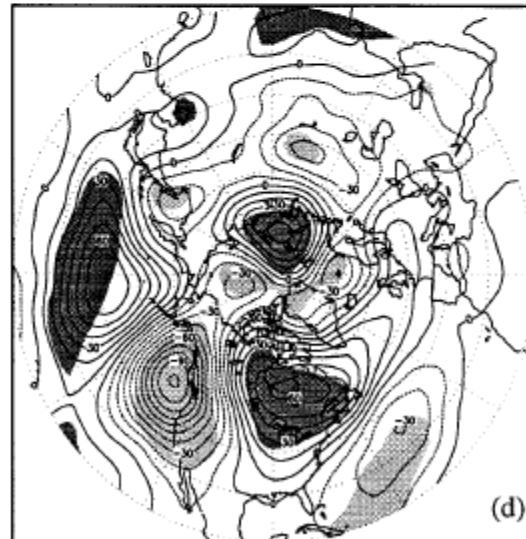
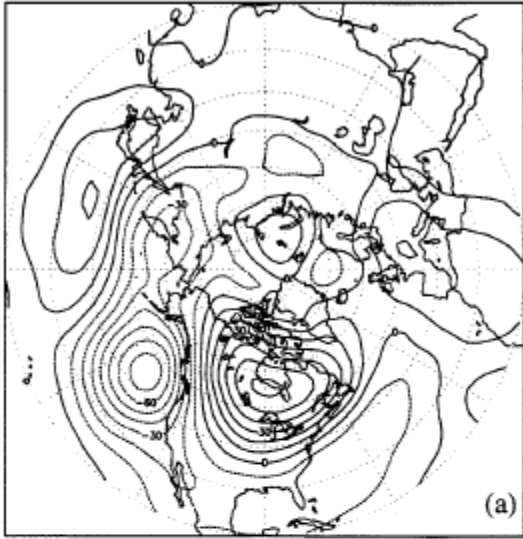


FIG. 3. Same as in Fig. 1 except for the observed eddy 500-mb heights. Eddy refers to the departure of the height from its zonal mean value and indicates the stationary wave behavior. Contour interval is 10 m. Polar stereographic projection extends to 20°N.

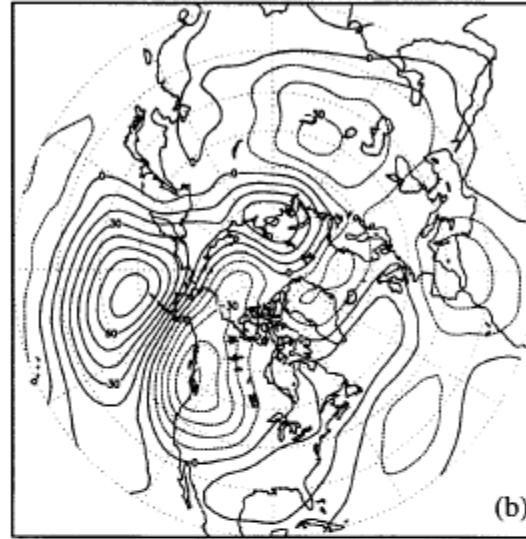
500 mb

3. Padrões de teleconexão durante o El Niño e La Niña

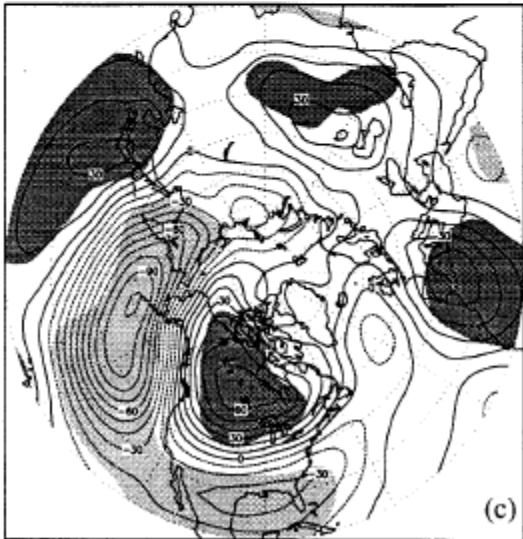
El Niño



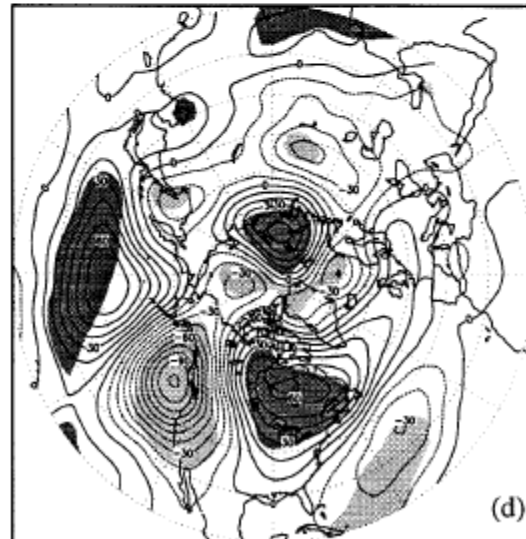
La Niña



El Niño-La Niña

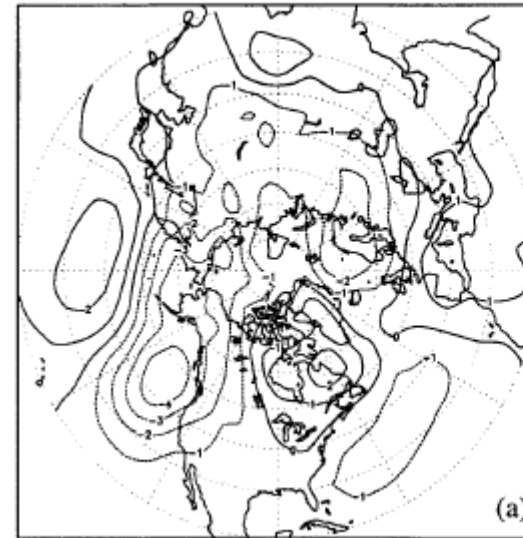


El Niño+La Niña

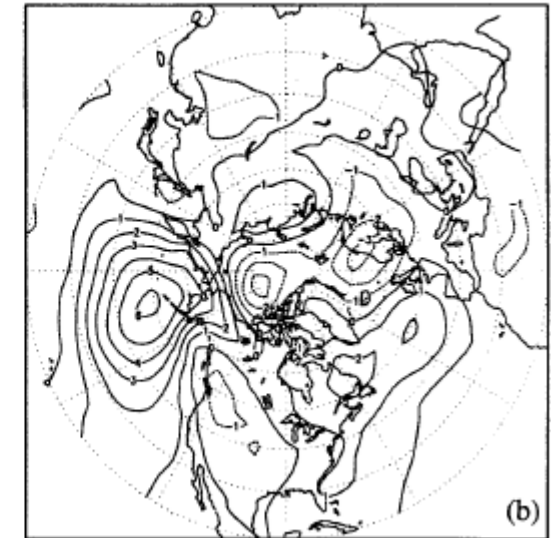


As anomalias na altura em 500 mb espelham às que acontecem na altura da pressão do mar, indicando a estrutura barotrópica da reposta extratropical.

El Niño



La Niña



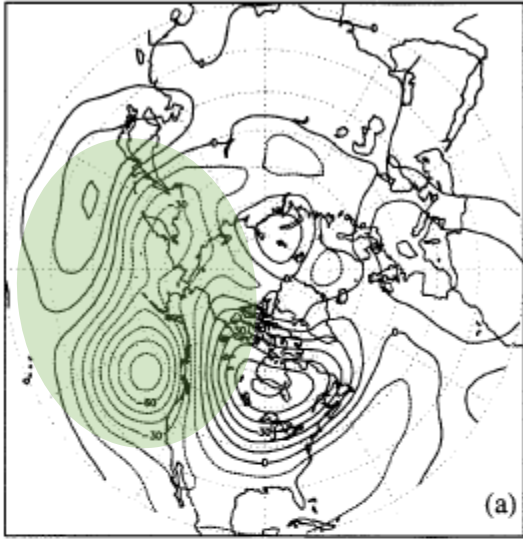
Altura da pressão do mar.

FIG. 3. Same as in Fig. 1 except for the observed eddy 500-mb heights. Eddy refers to the departure of the height from its zonal mean value and indicates the stationary wave behavior. Contour interval is 10 m. Polar stereographic projection extends to 20°N.

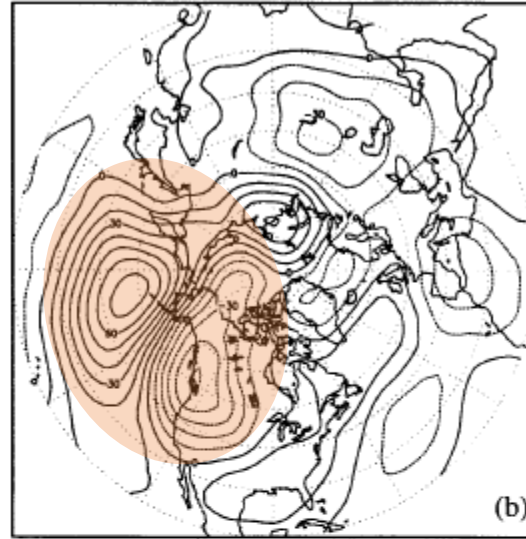
500 mb

3. Padrões de teleconexão durante o El Niño e La Niña

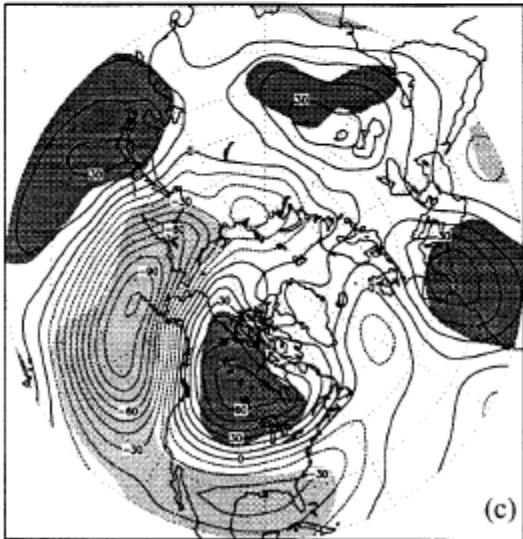
El Niño



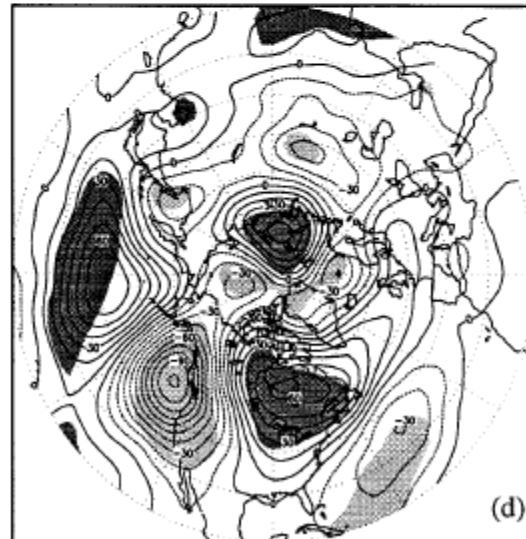
La Niña



El Niño-La Niña



El Niño+La Niña



Sobre a região de influência da PNA, as composições de El Niño apresentam fortes centros de ação na teleconexão Hemisfério Tropical-Norte.

Em contraste, as anomalias do La Niña estão quase na mesma fase, e os centros de ação estão projetados sobre os modos de teleconexão PNA.

A não linearidade das teleconexões nas latitudes médias associadas aos extremos da OS são fortemente relacionadas ao deslocamento de fase das ondas estacionárias das anomalias.

Ao se fazer a correlação entre as anomalias de El Niño e La Niña, o resultado é de $-0,2$. Ao se deslocar o padrão La Niña 35° em direção leste, a correlação aumenta para $-0,9$.

FIG. 3. Same as in Fig. 1 except for the observed eddy 500-mb heights. Eddy refers to the departure of the height from its zonal mean value and indicates the stationary wave behavior. Contour interval is 10 m. Polar stereographic projection extends to 20°N .

500 mb

3. Padrões de teleconexão durante o El Niño e La Niña

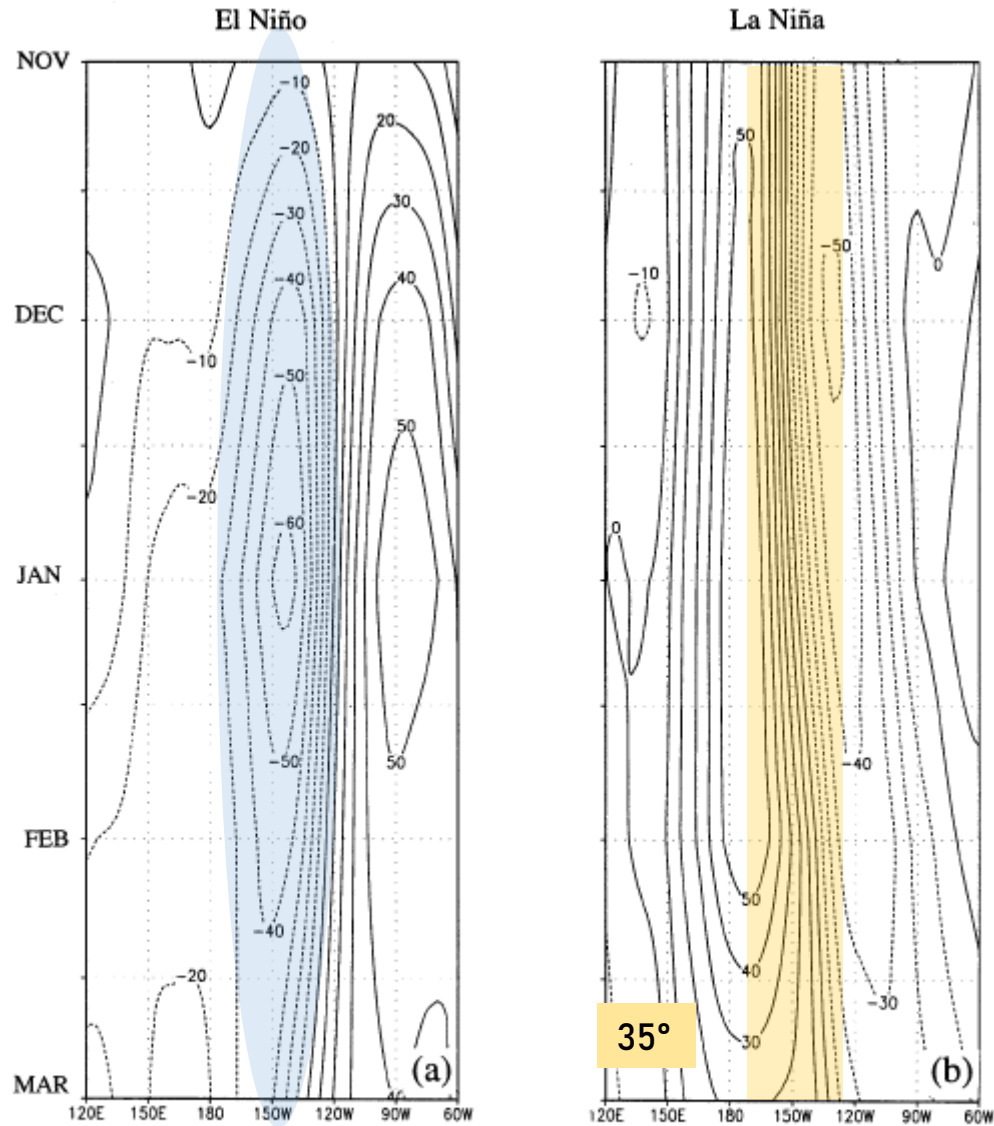


FIG. 4. Time-longitude sections of observed eddy 500-mb height anomalies composited with respect to (a) El Niño and (b) La Niña SST states. The heights are averages for the 45°–60°N latitude band, and the cross sections sample the Pacific–North American sector. Time varies from November of year 0 (top) to March of year +1 (bottom) of the composite SST event. The contours are smoothed using a 1–2–1 temporal filter. Contour interval is 10 m, and negative values are dashed.

A não linearidade das teleconexões nas latitudes médias associadas aos extremos da OS são fortemente relacionadas ao deslocamento de fase das ondas estacionárias das anomalias.

Ao se fazer a correlação entre as anomalias de El Niño e La Niña, o resultado é de -0,2.

Ao se deslocar o padrão La Niña 35° em direção leste, a correlação aumenta para -0,9.

- Centro de ações frias à oeste da célula de aquecimento com a mesma amplitude
- Diferença e fase ao longo dos meses que pode causar diferenças na própria forçante atmosférica. Indicando respostas na precipitação.

3. Padrões de teleconexão durante o El Niño e La Niña

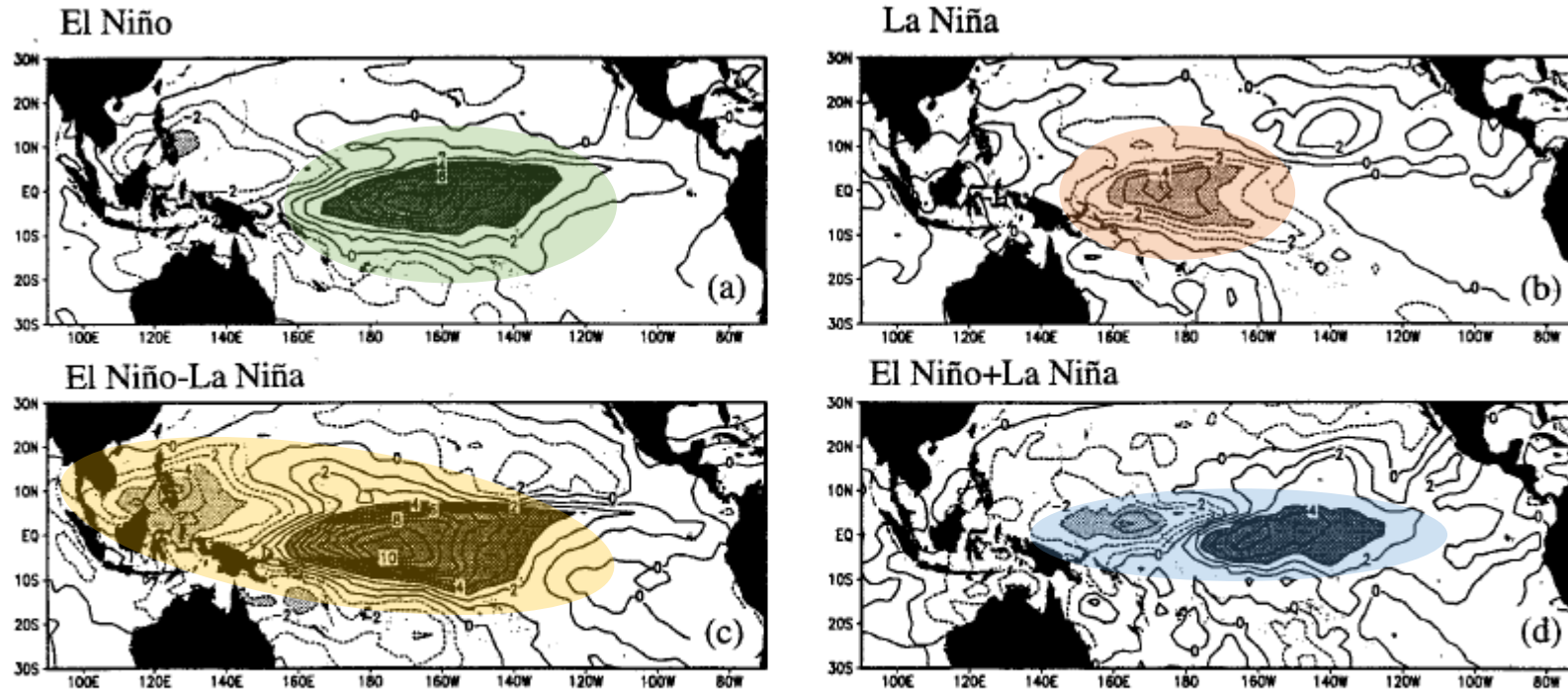


FIG. 5. Same as Fig. 1 except for rainfall anomalies. Rainfall estimates are derived from analysis of outgoing longwave radiation data for 1974–96, and conversion to rainfall units is based on the Arkin and Meisner (1984) empirical regression formula. Contour interval is 1 mm day⁻¹. Positive (negative) rainfall anomalies greater (less) than 3 mm day⁻¹ are shaded dark (light). Mercator projection displays the tropical Pacific region 30°N–30°S.

O centro de convecção profunda aprimorada fica a leste da linha da data durante El Niño, e anomalias positivas de chuva se estendem ao longo do equador até a costa sul-americana.

Em contraste, o centro de convecção durante o La Niña fica à oeste, e precipitação negativa estende até 140W°.

Padrão dipolo na componente linear com fase centrada em 120°E. Simetria distorcida por um dos centros estar posicionada um pouco ao sul da linha do equador.

Padrão dipolo na componente não linear com centros no equador.

A diferença observada entre os padrões de chuva compostos é fisicamente consistente com o fato de que anomalias positivas de SST podem iniciar uma convecção profunda dentro do núcleo do leste do Pacífico.

4. Sensibilidade de um GCM ao El Niño e La Niña.

Sistema climático com as anomalias associadas ao El Niño e La Niña sob a mesma evolução, porém com fases reversas.

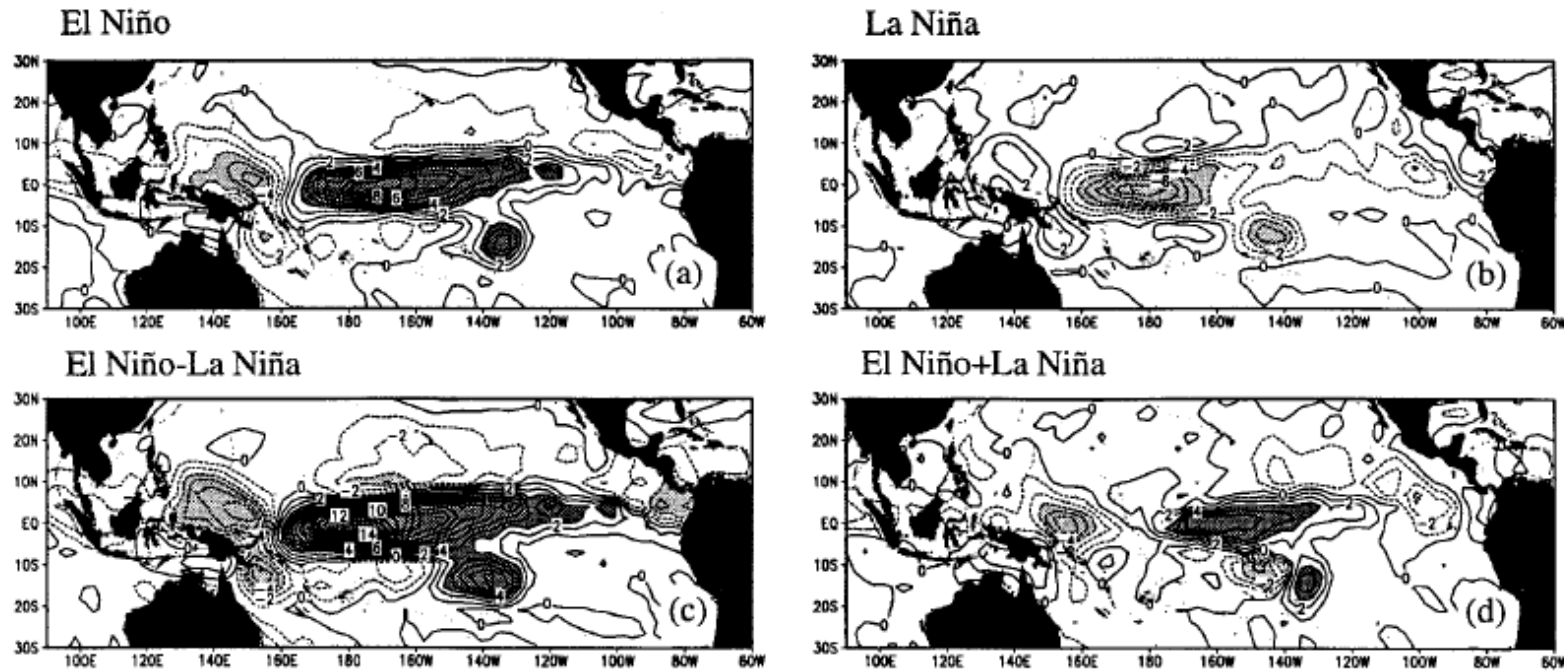
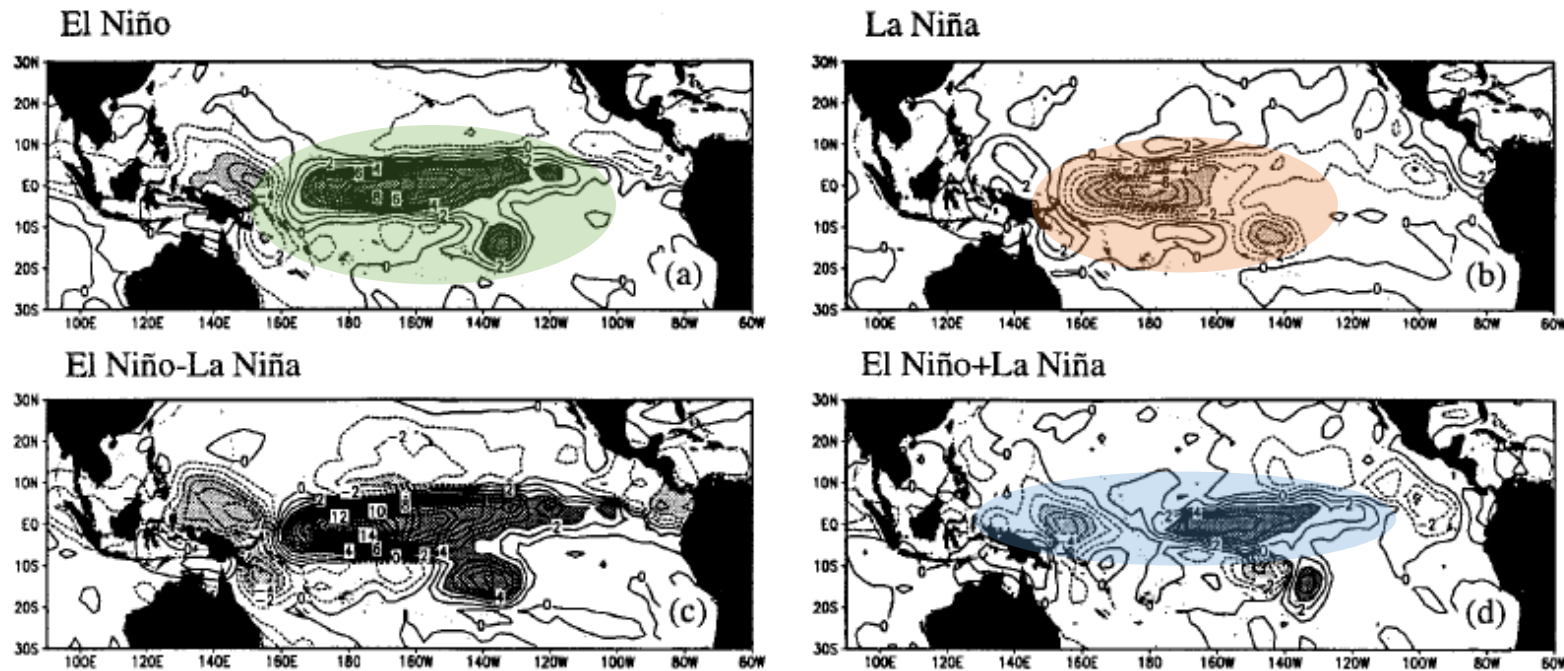


FIG. 8. Ensemble atmospheric general circulation model DJF rainfall response to (a) El Niño and (b) La Niña composite states of the tropical Pacific sea surface temperatures. The El Niño and La Niña sea surface temperature anomalies used in these simulations are exactly equal and opposite. (c) Linear component of the simulated rainfall response, as estimated by the difference (a) – (b). (d) Nonlinear component of the simulated rainfall response, as estimated by the sum (a) + (b). Contour interval is 1 mm day⁻¹. Positive (negative) rainfall anomalies greater (less) than 3 mm day⁻¹ are shaded dark (light). Mercator projection displays the tropical Pacific region 30°N–30°S.

4. Sensibilidade de um GCM ao El Niño e La Niña.



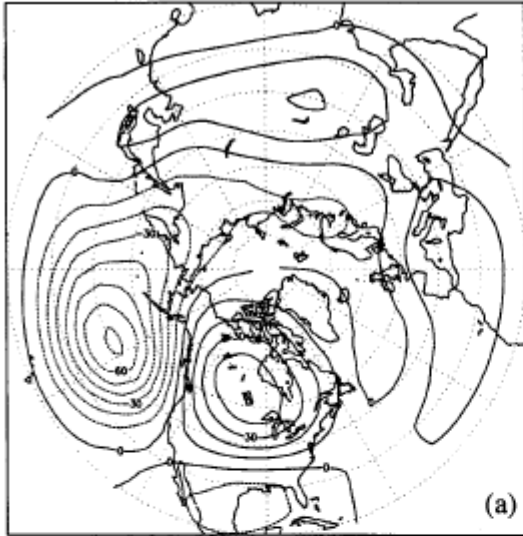
Assim como nas observações, as simulações apresentam forte semelhança com as estimativas das chuvas observadas, incluindo o deslocamento de anomalias positivas (negativas) a leste (oeste) da linha de data durante El Niño (La Niña).

A componente resultante não-linear também consistem em um padrão dipolo centrada equatorialmente.

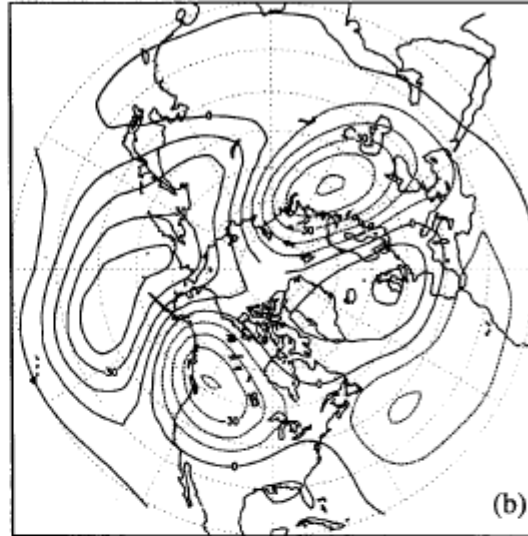
FIG. 8. Ensemble atmospheric general circulation model DJF rainfall response to (a) El Niño and (b) La Niña composite states of the tropical Pacific sea surface temperatures. The El Niño and La Niña sea surface temperature anomalies used in these simulations are exactly equal and opposite. (c) Linear component of the simulated rainfall response, as estimated by the difference (a) – (b). (d) Nonlinear component of the simulated rainfall response, as estimated by the sum (a) + (b). Contour interval is 1 mm day^{-1} . Positive (negative) rainfall anomalies greater (less) than 3 mm day^{-1} are shaded dark (light). Mercator projection displays the tropical Pacific region 30°N – 30°S .

4. Sensibilidade de um GCM ao El Niño e La Niña.

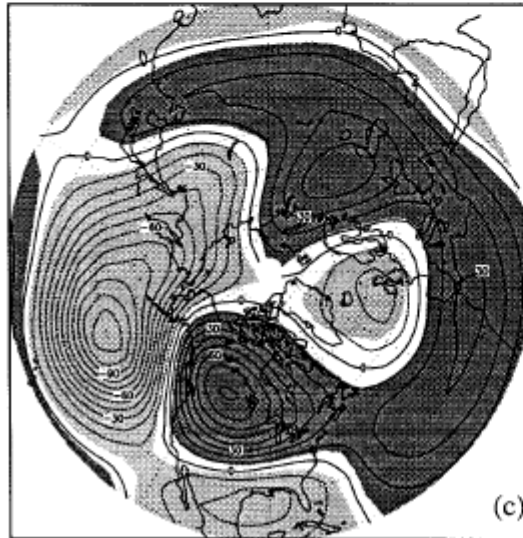
El Niño



La Niña



El Niño-La Niña



El Niño+La Niña

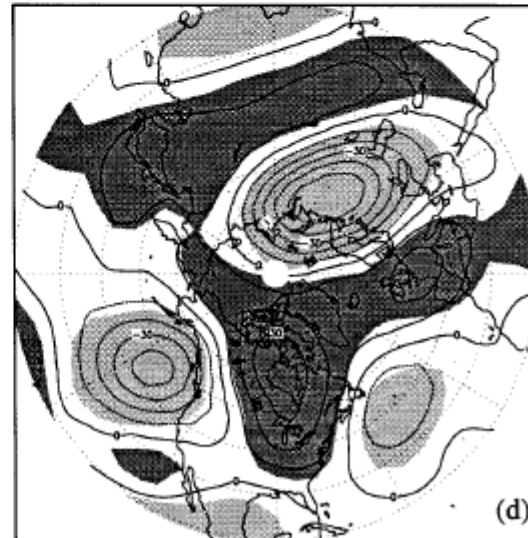
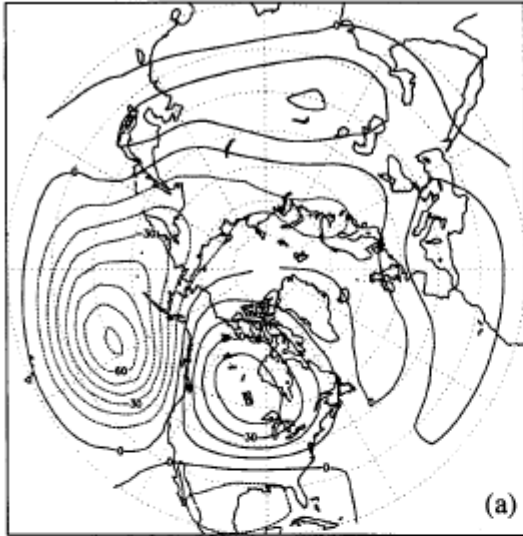


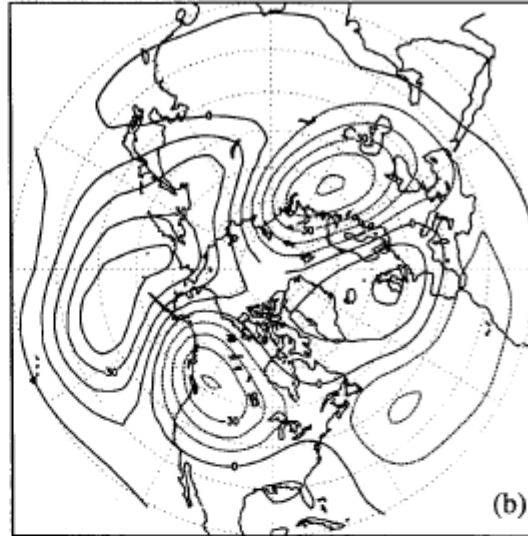
FIG. 10. Same as Fig. 8 except for the simulated eddy 500-mb height anomalies. Contour interval is 10 m. Dark (light) shading indicates local statistical significance of positive (negative) values at the 95% confidence level. Polar stereographic projection extends to 20°N.

4. Sensibilidade de um GCM ao El Niño e La Niña.

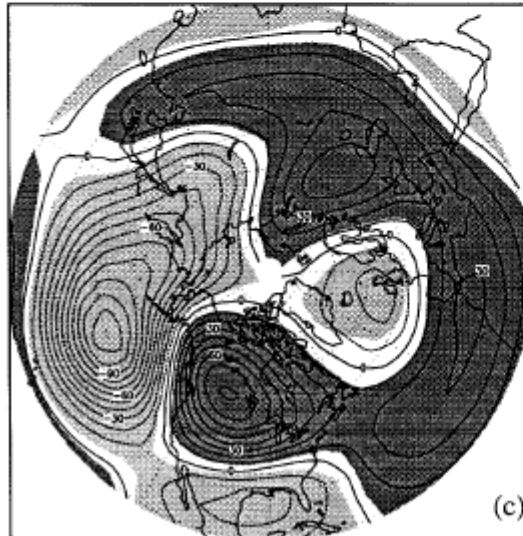
El Niño



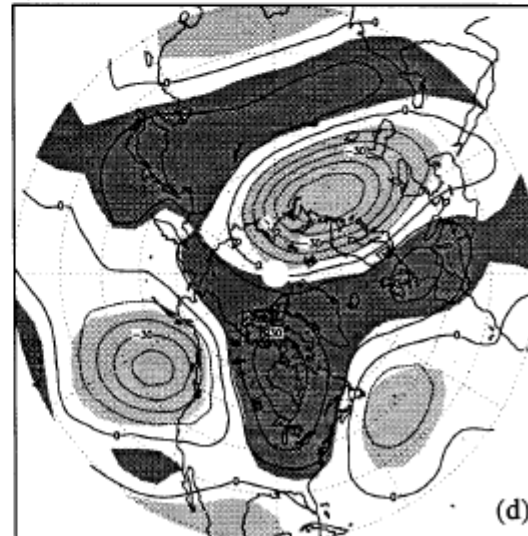
La Niña



El Niño-La Niña



El Niño+La Niña



Existe uma não linearidade considerável na resposta da circulação extratropical simulada (Fig. 10d), embora na região do PNA essa seja apenas metade da amplitude do componente linear (Fig. 10c).

FIG. 10. Same as Fig. 8 except for the simulated eddy 500-mb height anomalies. Contour interval is 10 m. Dark (light) shading indicates local statistical significance of positive (negative) values at the 95% confidence level. Polar stereographic projection extends to 20°N.

4. Sensibilidade de um GCM ao El Niño e La Niña.

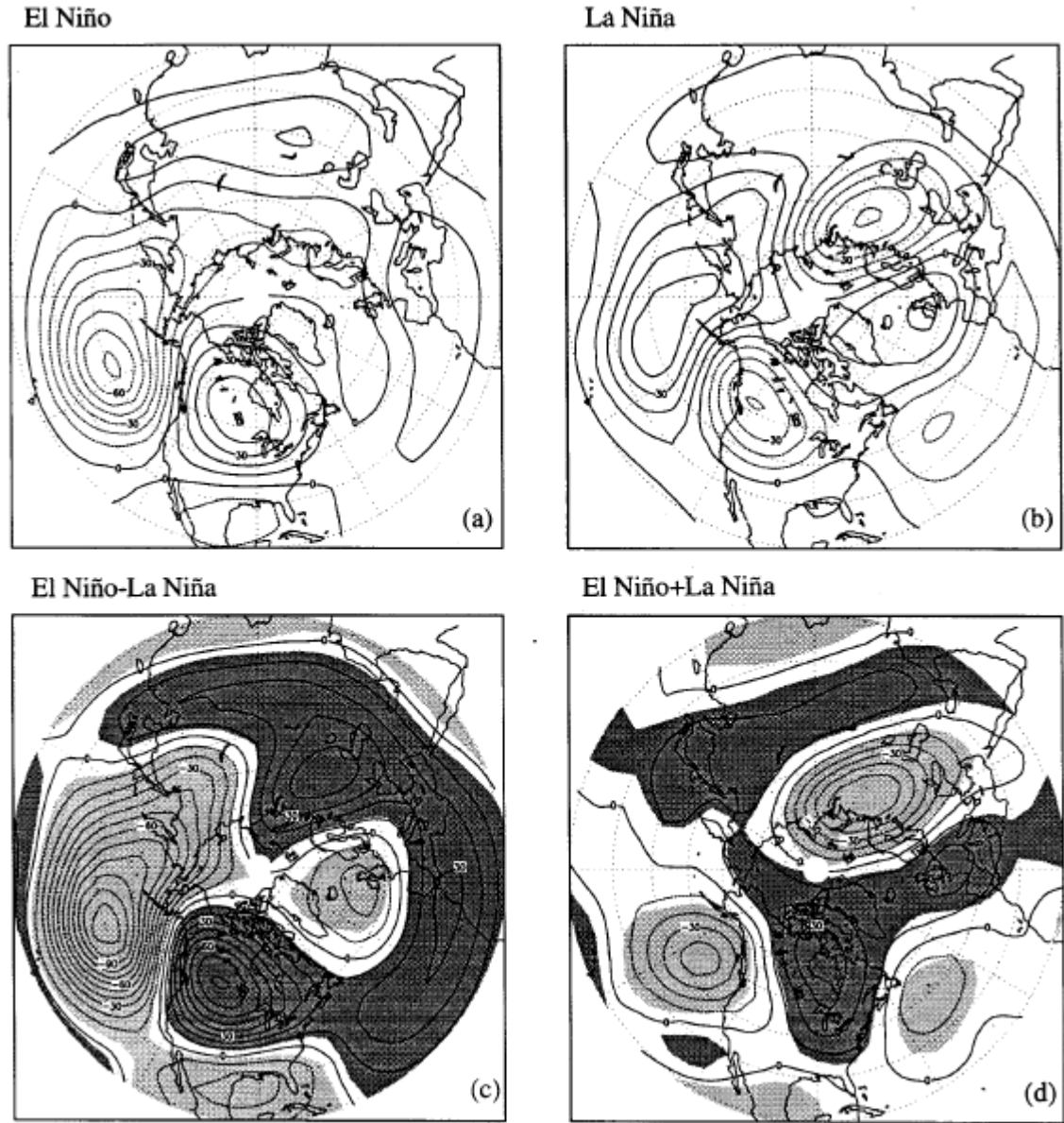


FIG. 10. Same as Fig. 8 except for the simulated eddy 500-mb height anomalies. Contour interval is 10 m. Dark (light) shading indicates local statistical significance of positive (negative) values at the 95% confidence level. Polar stereographic projection extends to 20°N.

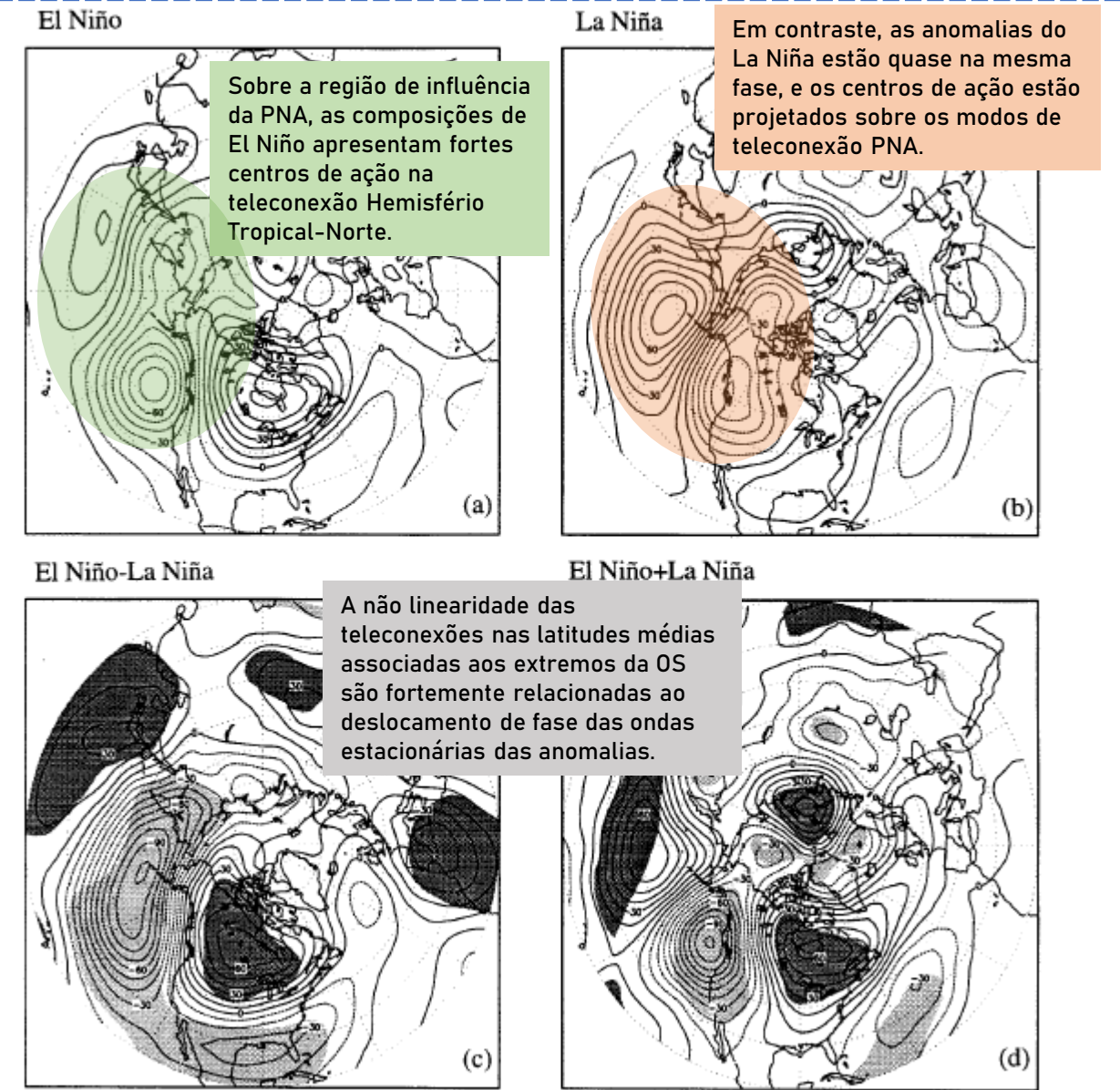


FIG. 3. Same as in Fig. 1 except for the observed eddy 500-mb heights. Eddy refers to the departure of the height from its zonal mean value and indicates the stationary wave behavior. Contour interval is 10 m. Polar stereographic projection extends to 20°N.

500 mb

OBSERVADO

4. Sensibilidade de um GCM ao El Niño e La Niña.

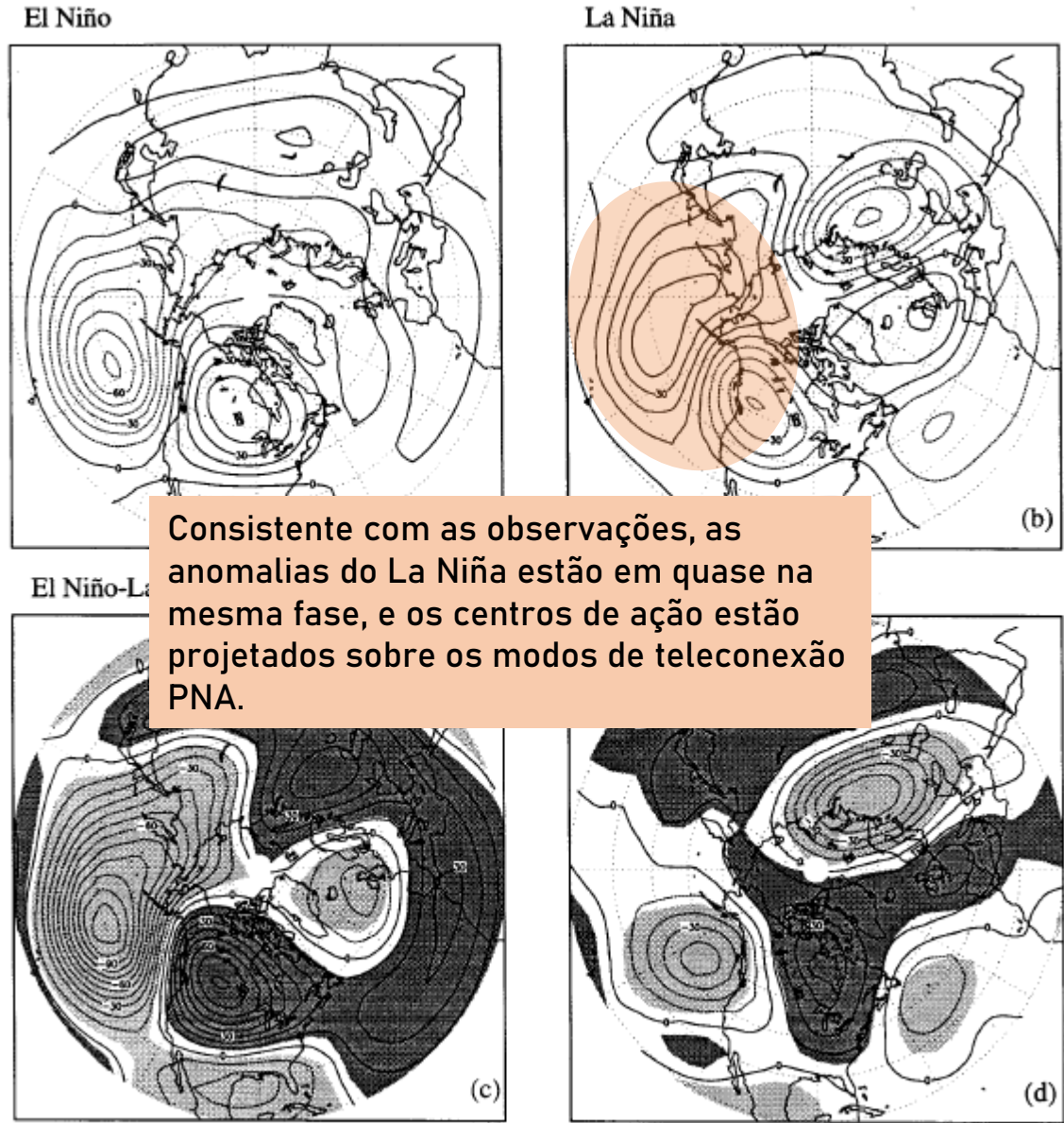


FIG. 10. Same as Fig. 8 except for the simulated eddy 500-mb height anomalies. Contour interval is 10 m. Dark (light) shading indicates local statistical significance of positive (negative) values at the 95% confidence level. Polar stereographic projection extends to 20°N.

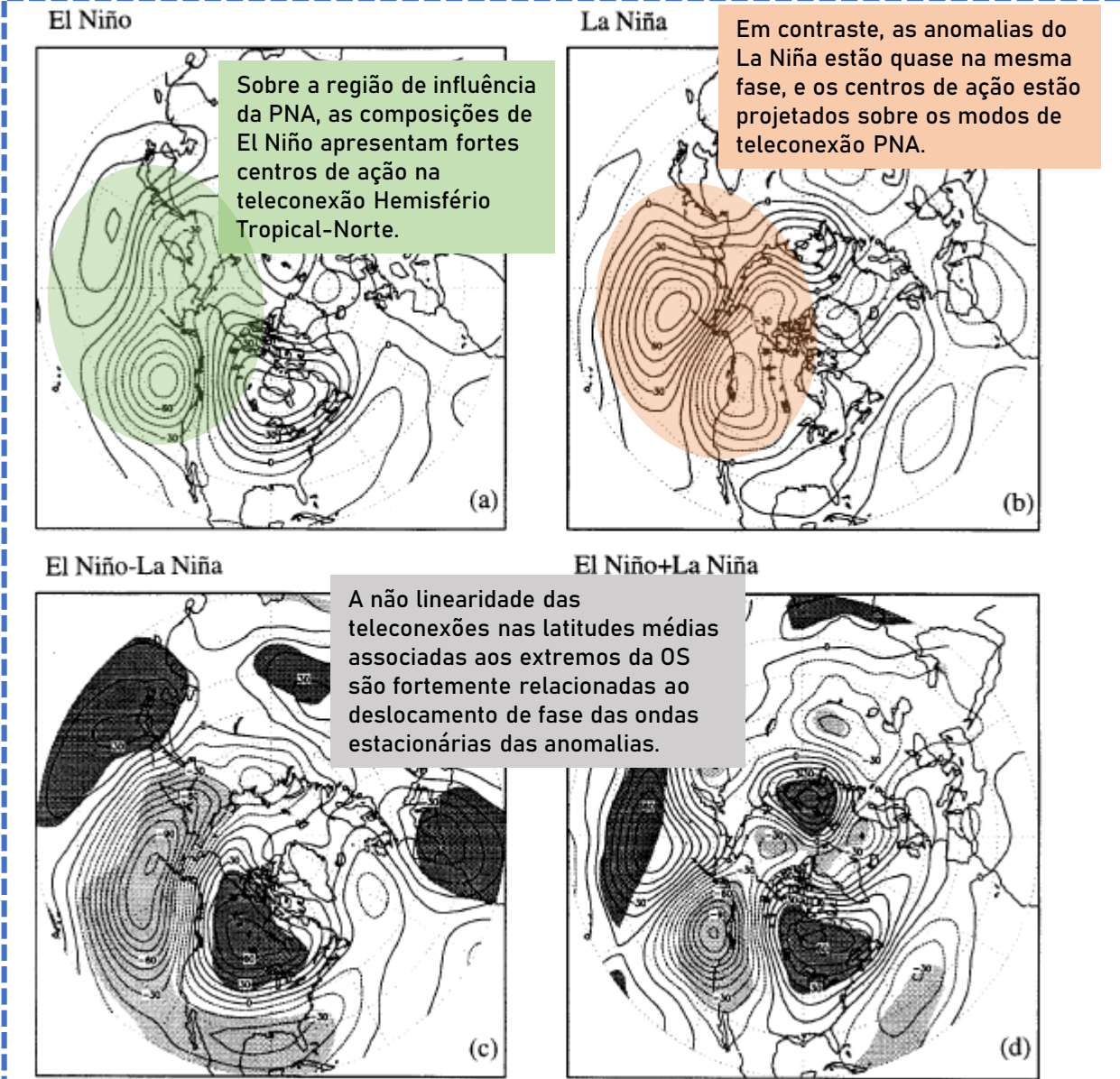


FIG. 3. Same as in Fig. 1 except for the observed eddy 500-mb heights. Eddy refers to the departure of the height from its zonal mean value and indicates the stationary wave behavior. Contour interval is 10 m. Polar stereographic projection extends to 20°N.

500 mb

OBSERVADO

4. Sensibilidade de um GCM ao El Niño e La Niña.

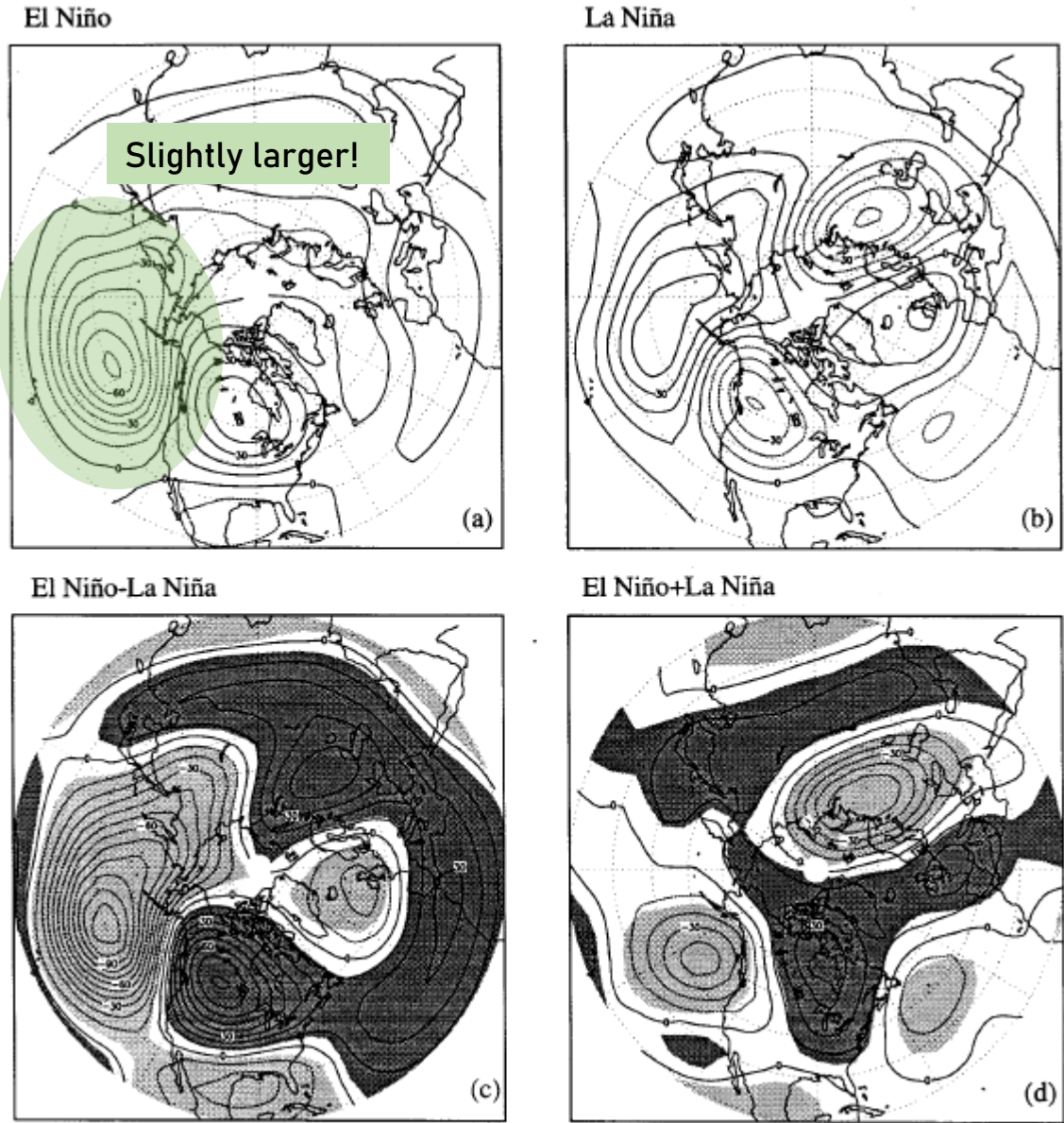


FIG. 10. Same as Fig. 8 except for the simulated eddy 500-mb height anomalies. Contour interval is 10 m. Dark (light) shading indicates local statistical significance of positive (negative) values at the 95% confidence level. Polar stereographic projection extends to 20°N.

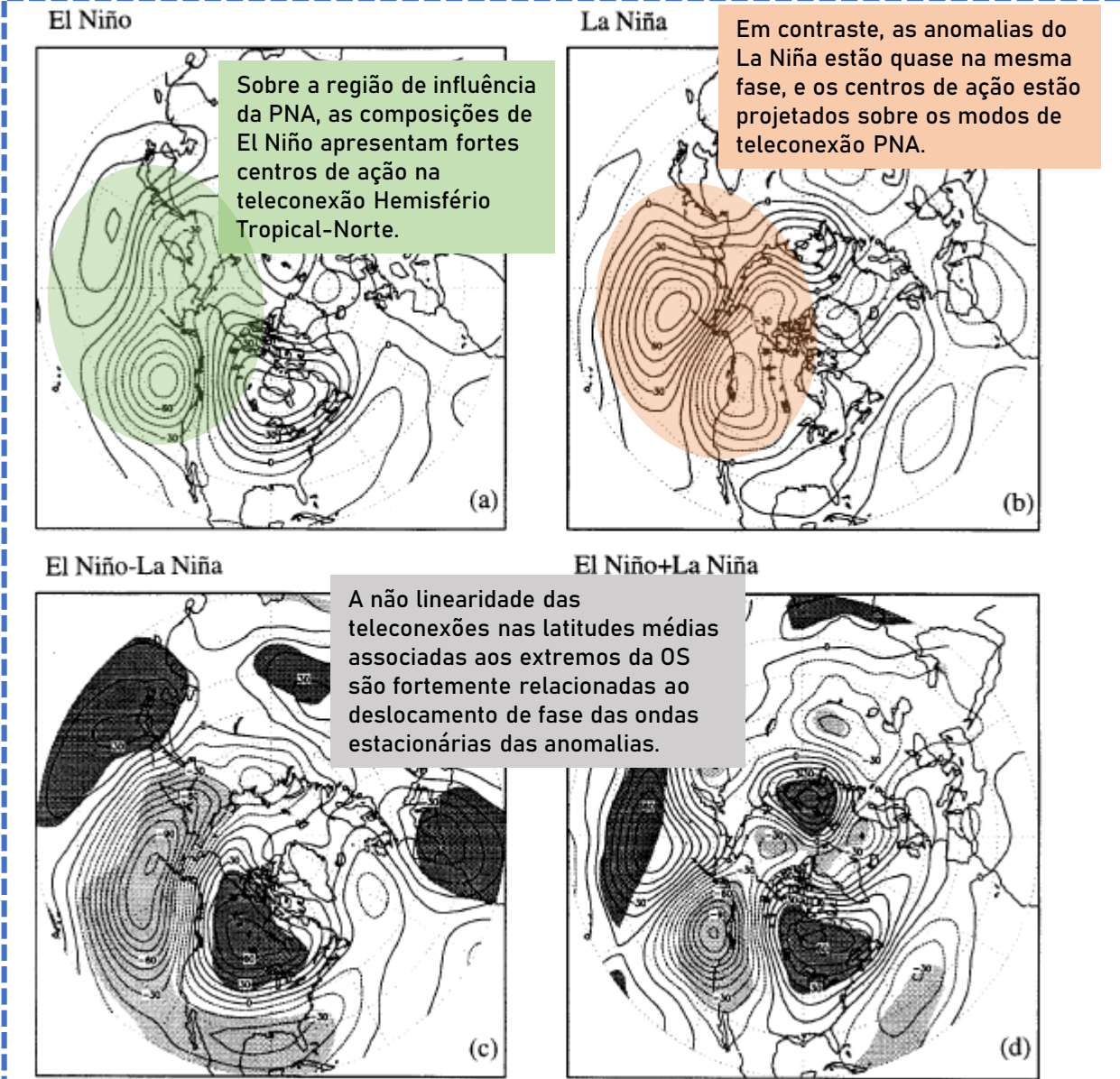
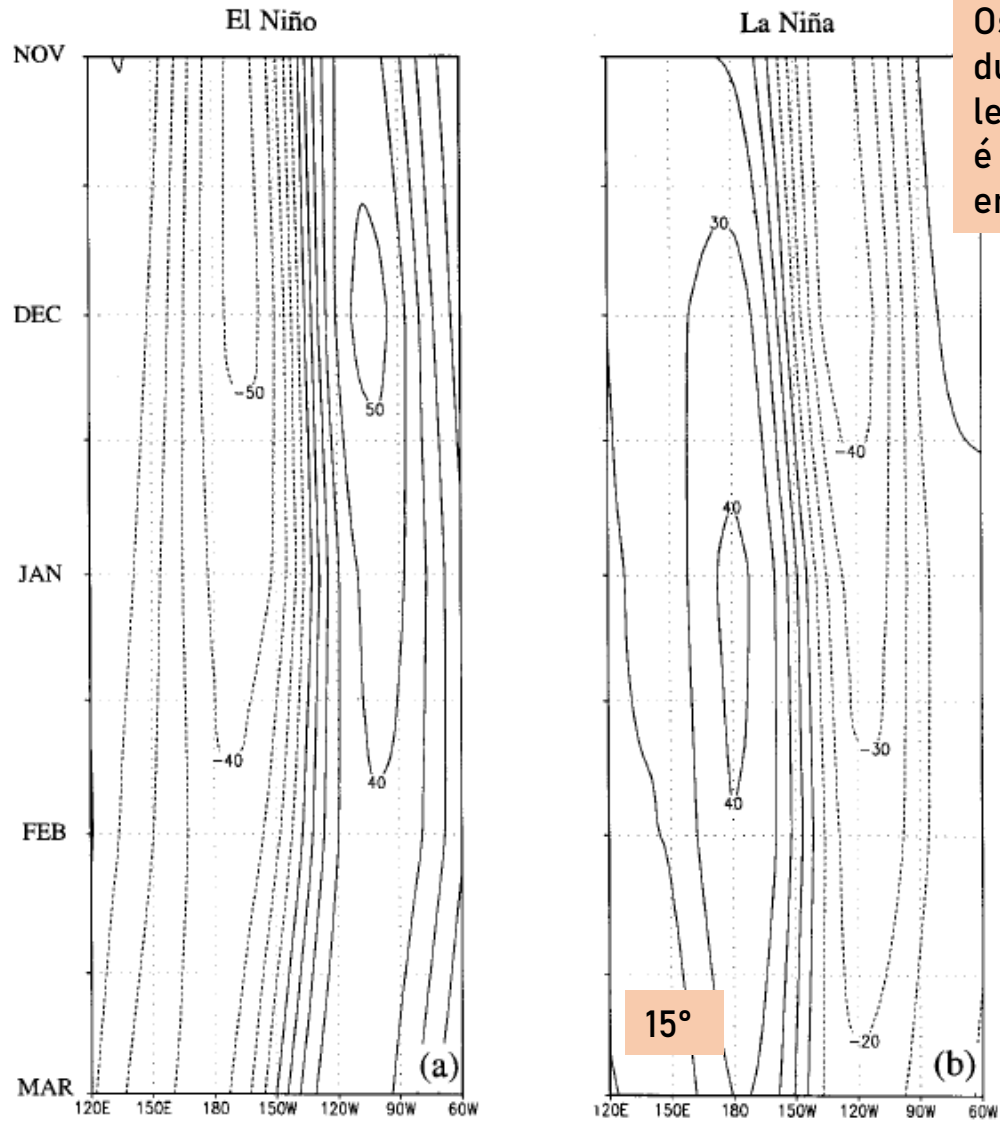


FIG. 3. Same as in Fig. 1 except for the observed eddy 500-mb heights. Eddy refers to the departure of the height from its zonal mean value and indicates the stationary wave behavior. Contour interval is 10 m. Polar stereographic projection extends to 20°N.

500 mb

OBSERVADO

4. Sensibilidade de um GCM ao El Niño e La Niña.



Os centros de anomalia de latitude média durante El Niño estão posicionados a 15° leste de suas contrapartes de La Niña. Isso é um pouco menor que a mudança de fase entre os compósitos observados.

FIG. 11. Same as Fig. 4 except for the time-longitude section for the simulated eddy 500-mb height anomalies.

4. Sensibilidade de um GCM ao El Niño e La Niña.

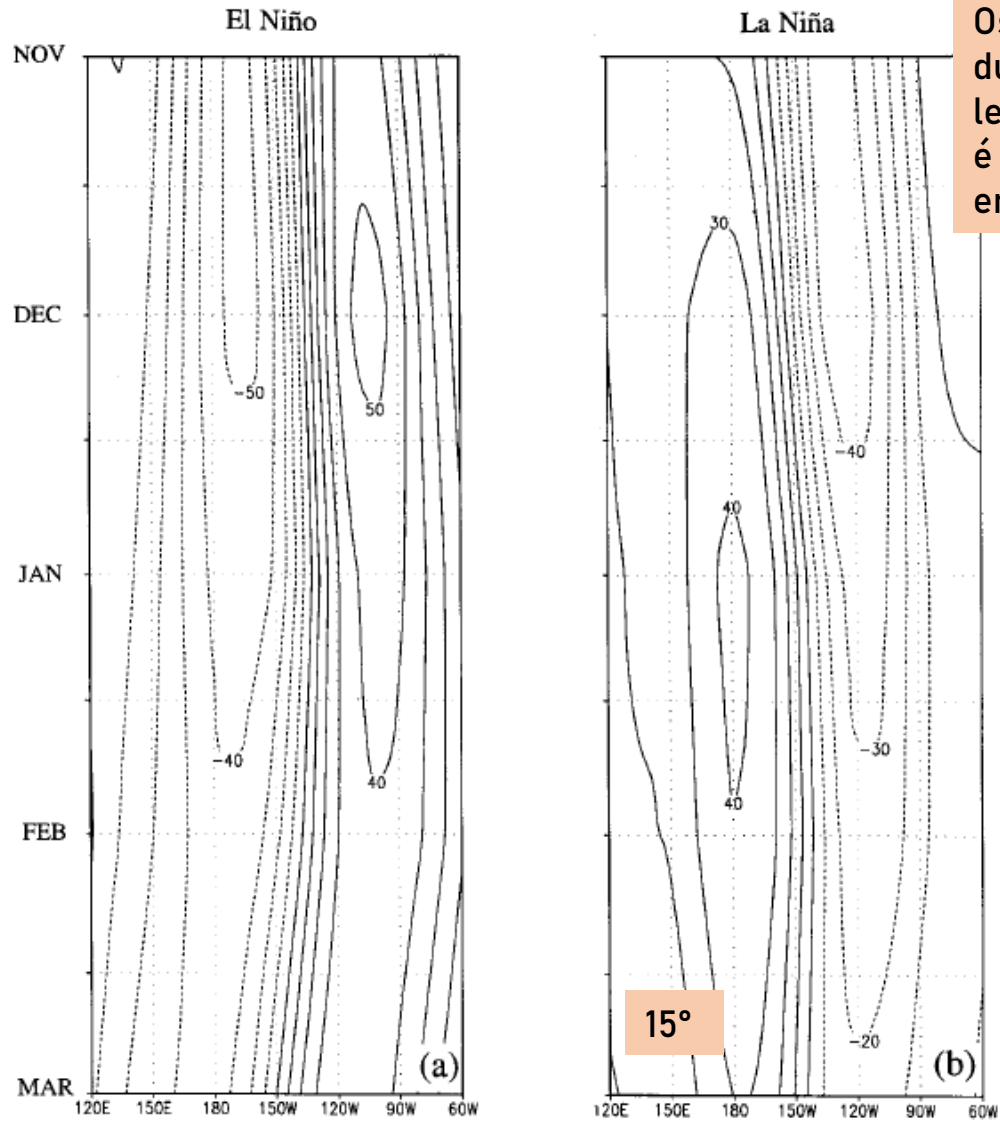


FIG. 11. Same as Fig. 4 except for the time–longitude section for the simulated eddy 500-mb height anomalies.

Os centros de anomalia de latitude média durante El Niño estão posicionados a 15° leste de suas contrapartes de La Niña. Isso é um pouco menor que a mudança de fase entre os compósitos observados.

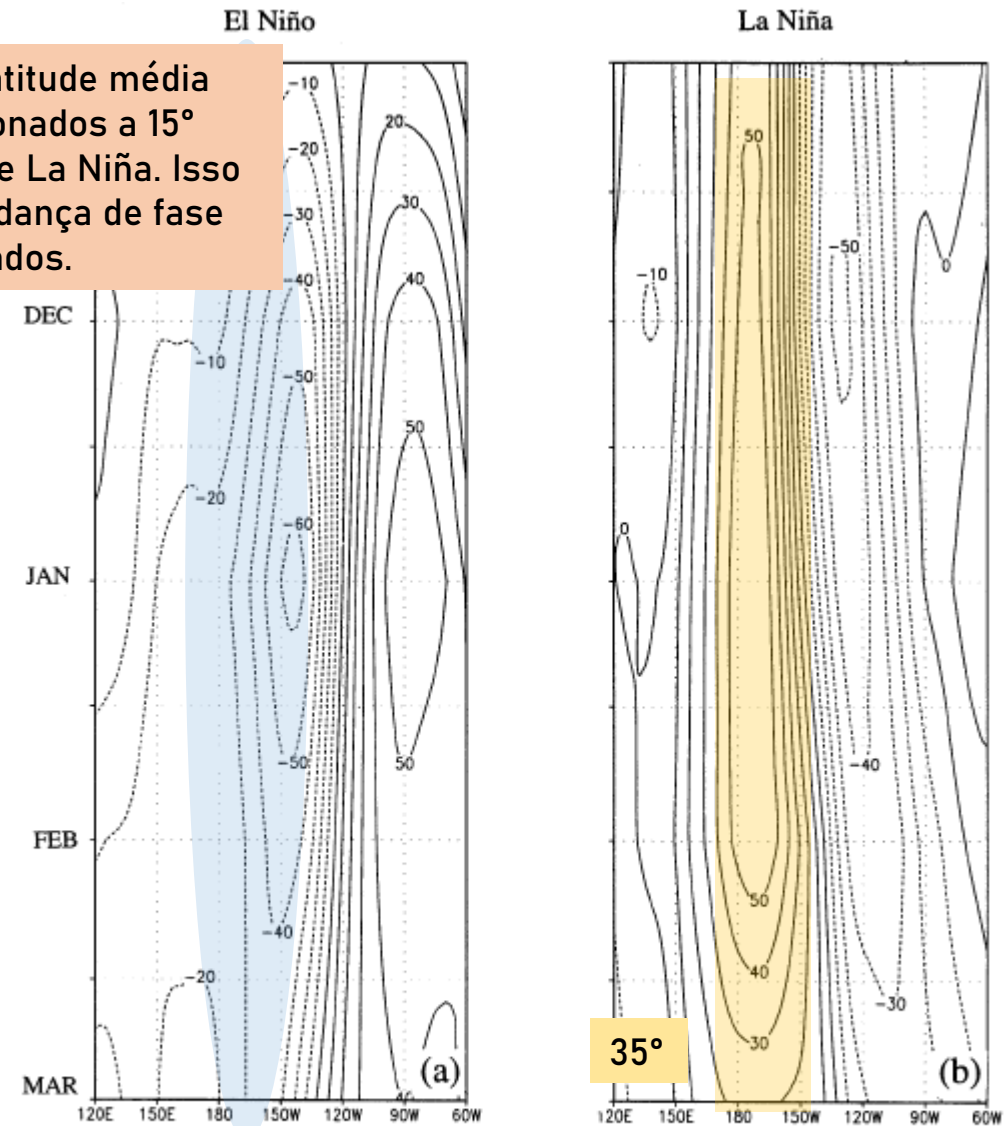


FIG. 4. Time–longitude sections of observed eddy 500-mb height anomalies composited with respect to (a) El Niño and (b) La Niña SST states. The heights are averages for the 45°–60°N latitude band, and the cross sections sample the Pacific–North American sector. Time varies from November of year 0 (top) to March of year +1 (bottom) of the composite SST event. The contours are smoothed using a 1–2–1 temporal filter. Contour interval is 10 m, and negative values are dashed.

4. Sensibilidade de um GCM ao El Niño e La Niña.

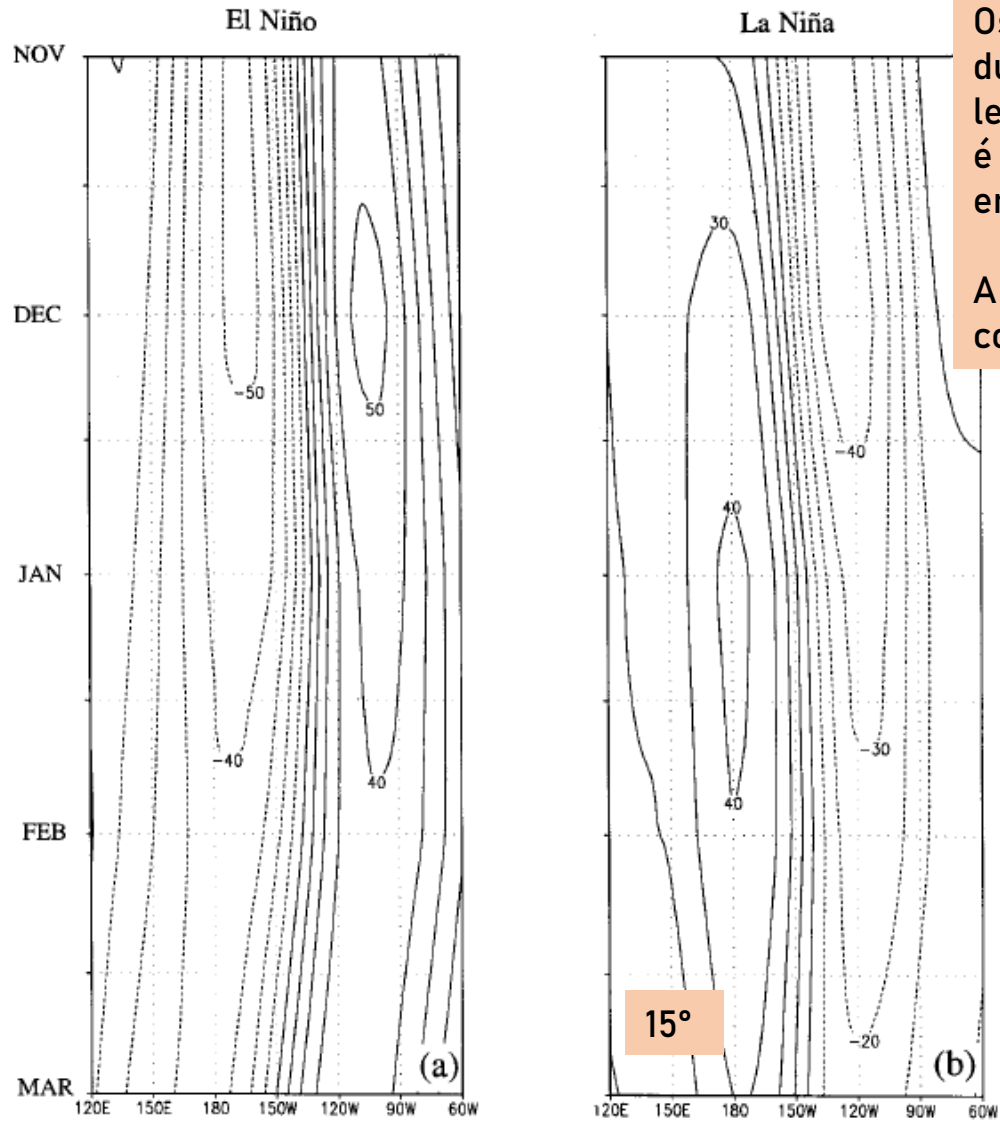


FIG. 11. Same as Fig. 4 except for the time-longitude section for the simulated eddy 500-mb height anomalies.

Os centros de anomalia de latitude média durante El Niño estão posicionados a 15° leste de suas contrapartes de La Niña. Isso é um pouco menor que a mudança de fase entre os compósitos observados.

A resposta não linear do GCM pode contribuir com as das teleconexões.

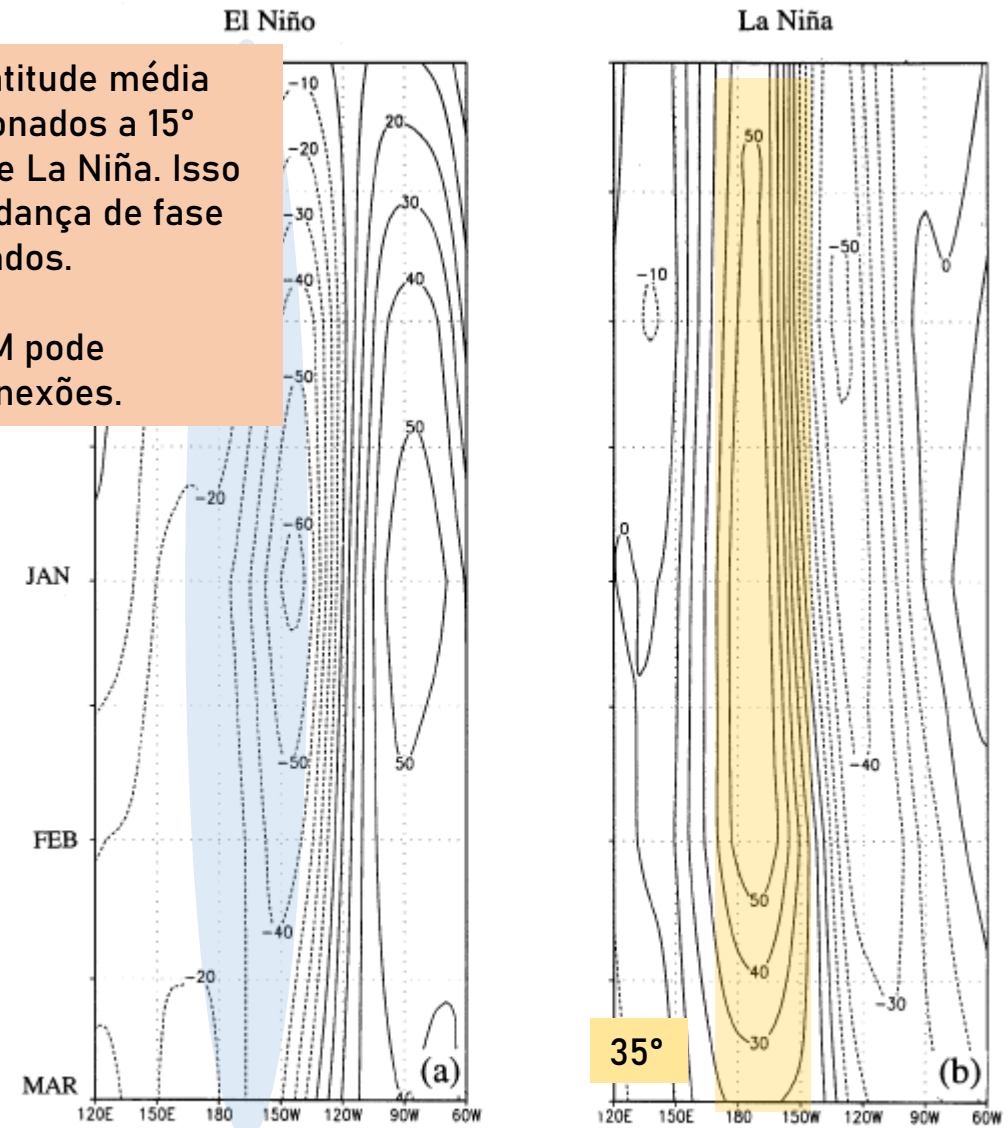


FIG. 4. Time-longitude sections of observed eddy 500-mb height anomalies composited with respect to (a) El Niño and (b) La Niña SST states. The heights are averages for the 45°–60°N latitude band, and the cross sections sample the Pacific–North American sector. Time varies from November of year 0 (top) to March of year +1 (bottom) of the composite SST event. The contours are smoothed using a 1–2–1 temporal filter. Contour interval is 10 m, and negative values are dashed.

5. Análise do modelo barotrópico às respostas extratropicais

O ponto chave aqui é que, ao considerar o efeito direto da forçante tropical sozinha, as diferenças nos padrões espaciais dessa forçante entre eventos frios e quentes são adequadas para conduzir diferentes padrões de teleconexão.

Embora esses experimentos barotrópicos não excluam um papel para outras fontes dinâmicas da resposta extratropical, eles oferecem evidências de que a relação não-linear SST-precipitação de latitudes tropicais por si só pode ser importante para induzir diferentes fases das respostas de teleconexão.

6. Conclusão e pontos chaves

O estudo investiga não linearidades dos sistemas atmosféricos às forçantes do SST do Pacífico. Em particular se esse comportamento pode ser uma explicação plausível para a evidência emergente no HN.

O clima hemisférico não varia linearmente em relação aos extremos da oscilação El Niño-Sul.

Uma característica notável das anomalias de circulação na troposfera superior durante o inverno do HN é uma mudança de fase nos padrões de teleconexão na região Pacífico-América do Norte entre os compósitos El Niño e La Niña, com indicação de que as duas ondas os trens têm diferentes regiões de origem tropical.

O conjunto das simulações, realizado separadamente para estados SST quentes e frios, mostrou uma resposta climática não linear que, de várias maneiras, se assemelhava às observações.

O modelo utilizado foi responsável por criar simulações com alto grau de fidelidade as componentes lineares e não lineares das teleconexões em respostas as forçantes do SST.

Outras fontes de não linearidade, incluindo mudanças no fluxo de estado básico associadas à resposta direta ao aquecimento e à sensibilidade das interações por redemoinhos transitórios, ainda precisam ser exploradas.

6. Conclusão e pontos chaves

O estudo investiga não linearidades dos sistemas atmosféricos às forçantes do SST do Pacífico. Em particular se esse comportamento pode ser uma explicação plausível para a evidência emergente no HN.

O clima hemisférico não varia linearmente em relação aos extremos da oscilação El Niño-Sul.

Uma característica notável das anomalias de circulação na troposfera superior durante o inverno do HN é uma mudança de fase nos padrões de teleconexão na região Pacífico-América do Norte entre os compósitos El Niño e La Niña, com indicação de que as duas ondas os trens têm diferentes regiões de origem tropical.

O conjunto das simulações, realizado separadamente para estados SST quentes e frios, mostrou uma resposta climática não linear que, de várias maneiras, se assemelhava às observações.

O modelo utilizado foi responsável por criar simulações com alto grau de fidelidade as componentes lineares e não lineares das teleconexões em respostas as forçantes do SST.

Outras fontes de não linearidade, incluindo mudanças no fluxo de estado básico associadas à resposta direta ao aquecimento e à sensibilidade das interações por redemoinhos transitórios, ainda precisam ser exploradas.

Assim, embora essa análise confirme uma base física para a não linearidade, a questão permanece em aberto quanto ao seu significado.