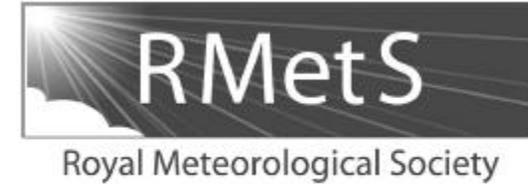


INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY  
*Int. J. Climatol.* (2016)  
Published online in Wiley Online Library  
(wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/joc.4899



---

# The effects of ENSO-types and SAM on the large-scale southern blockings

Flavio N. M. Oliveira<sup>a,b\*</sup> and Tercio Ambrizzi<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> *Department of Atmospheric Sciences, University of São Paulo, Brazil*

<sup>b</sup> *First District of Meteorology, National Institute of Meteorology, Manaus, Brazil*

1. Introduction
2. Data and methodology
  - 2.1. Objective 2D blocking index
  - 2.2. Daily SAM index
  - 2.3. Monthly ENSO index
  - 2.4. Analysis design
3. ENSO-types and SAM patterns statistic
4. The effects of ENSO-types and SAM on Southern blockings
  - 4.1. General large-scale Southern blocking statistics
  - 4.2. The effects of ENSO-neutral and SAM on blockings
  - 4.3. Changes on blocking due the effects of ENSO-types and SAM
5. Interannual variability and trends on blocking
6. Discussion and conclusions

# 1. Introdução

Eventos de bloqueio atmosférico são regimes setoriais de clima de natureza altamente não linear, relacionados a eventos climáticos extremos persistentes.

# 1. Introdução

Eventos de bloqueio atmosférico são regimes setoriais de clima de natureza altamente não linear, relacionados a eventos climáticos extremos persistentes.

Em uma visão complexa, o bloqueio pode ser descrito como ondas planetárias quase estacionárias de grande amplitude, entre a variabilidade de baixa frequência (padrões de teleconexão) no sistema climático e os mecanismos de alta frequência que modulam os distúrbios por turbilhão.

# 1. Introdução

Eventos de bloqueio atmosférico são regimes setoriais de clima de natureza altamente não linear, relacionados a eventos climáticos extremos persistentes.

Em uma visão complexa, o bloqueio pode ser descrito como ondas planetárias quase estacionárias de grande amplitude, entre a variabilidade de baixa frequência (padrões de teleconexão) no sistema climático e os mecanismos de alta frequência que modulam os distúrbios por turbilhão.

## Bloqueios do Sul:

- Pacífico Leste: Vários estudos observaram um aumento significativo no número de dias de bloqueio durante episódios canônicos do El Niño.
- Pacífico Sul, da região da Austrália à América do Sul: eventos de bloqueio associados à trens de ondas em larga escala como uma rota típica de arco.

# 1. Introdução

Eventos de bloqueio atmosférico são regimes setoriais de clima de natureza altamente não linear, relacionados a eventos climáticos extremos persistentes.

Em uma visão complexa, o bloqueio pode ser descrito como ondas planetárias quase estacionárias de grande amplitude, entre a variabilidade de baixa frequência (padrões de teleconexão) no sistema climático e os mecanismos de alta frequência que modulam os distúrbios por turbilhão.

## Bloqueios do Sul:

- Pacífico Leste: Vários estudos observaram um aumento significativo no número de dias de bloqueio durante episódios canônicos do El Niño.
- Pacífico Sul, da região da Austrália à América do Sul: eventos de bloqueio associados à trens de ondas em larga escala como uma rota típica de arco.

O Modo Anular do Sul (SAM) tem sido citado como o padrão mais importante da variabilidade climática em larga escala nos extratropicais do sul.

- forte relação linear entre El Niño-Oscilação Sul (ENSO) e SAM (L'Heureux and Thompson, 2006).
- observações que as teleconexões no Pacífico Sul dependem da combinação de fases entre ENSO e SAM (Fogt et al., 2010).
- Aumento da frequência de bloqueio do sul durante os episódios canônicos do El Niño e La Niña associados à fases do SAM em porções do Pacífico (Oliveira et al., 2014).

# 1. Introdução

Eventos de bloqueio atmosférico são regimes setoriais de clima de natureza altamente não linear, relacionados a eventos climáticos extremos persistentes.

Em uma visão complexa, o bloqueio pode ser descrito como ondas planetárias quase estacionárias de grande amplitude, entre a variabilidade de baixa frequência (padrões de teleconexão) no sistema climático e os mecanismos de alta frequência que modulam os distúrbios por turbilhão.

## Bloqueios do Sul:

- Pacífico Leste: Vários estudos observaram um aumento significativo no número de dias de bloqueio durante episódios canônicos do El Niño.
- Pacífico Sul, da região da Austrália à América do Sul: eventos de bloqueio associados à trens de ondas em larga escala como uma rota típica de arco.

O Modo Anular do Sul (SAM) tem sido citado como o padrão mais importante da variabilidade climática em larga escala nos extratropicais do sul.

- forte relação linear entre El Niño-Oscilação Sul (ENSO) e SAM (L'Heureux and Thompson, 2006).
- observações que as teleconexões no Pacífico Sul dependem da combinação de fases entre ENSO e SAM (Fogt et al., 2010).
- Aumento da frequência de bloqueio do sul durante os episódios canônicos do El Niño e La Niña associados às fases do SAM em porções do Pacífico (Oliveira et al., 2014).

Vários estudos já foram publicados, embora algumas relações não sejam bem documentadas.

- falta de referências relacionadas às atividades de bloqueio do sul durante outro tipo de ENSO, o ENSO Modoki.

# 1. Introdução

Eventos de bloqueio atmosférico são regimes setoriais de clima de natureza altamente não linear, relacionados a eventos climáticos extremos persistentes.

Em uma visão complexa, o bloqueio pode ser descrito como ondas planetárias quase estacionárias de grande amplitude, entre a variabilidade de baixa frequência (padrões de teleconexão) no sistema climático e os mecanismos de alta frequência que modulam os distúrbios por turbilhão.

## Bloqueios do Sul:

- Pacífico Leste: Vários estudos observaram um aumento significativo no número de dias de bloqueio durante episódios canônicos do El Niño.
- Pacífico Sul, da região da Austrália à América do Sul: eventos de bloqueio associados à trens de ondas em larga escala como uma rota típica de arco.

O Modo Anular do Sul (SAM) tem sido citado como o padrão mais importante da variabilidade climática em larga escala nos extratropicais do sul.

- forte relação linear entre El Niño-Oscilação Sul (ENSO) e SAM (L'Heureux and Thompson, 2006).
- observações que as teleconexões no Pacífico Sul dependem da combinação de fases entre ENSO e SAM (Fogt et al., 2010).
- Aumento da frequência de bloqueio do sul durante os episódios canônicos do El Niño e La Niña associados às fases do SAM em porções do Pacífico (Oliveira et al., 2014).

Vários estudos já foram publicados, embora algumas relações não sejam bem documentadas.

- falta de referências relacionadas às atividades de bloqueio do sul durante outro tipo de ENSO, o ENSO Modoki.

Como esses dois tipos de ENSO apresentam grandes diferenças nos padrões de distribuição e gradiente das anomalias da SST, as teleconexões são diferentes e a resposta da atmosfera nos bloqueios entre elas também pode ser diferente.

# 1. Introdução

Eventos de bloqueio atmosférico são regimes setoriais de clima de natureza altamente não linear, relacionados a eventos climáticos extremos persistentes.

Em uma visão complexa, o bloqueio pode ser descrito como ondas planetárias quase estacionárias de grande amplitude, entre a variabilidade de baixa frequência (padrões de teleconexão) no sistema climático e os mecanismos de alta frequência que modulam os distúrbios por turbilhão.

## Bloqueios do Sul:

- Pacífico Leste: Vários estudos observaram um aumento significativo no número de dias de bloqueio durante episódios canônicos do El Niño.
- Pacífico Sul, da região da Austrália à América do Sul: eventos de bloqueio associados à trens de ondas em larga escala como uma rota típica de arco.

O Modo Anular do Sul (SAM) tem sido citado como o padrão mais importante da variabilidade climática em larga escala nos extratropicais do sul.

- forte relação linear entre El Niño-Oscilação Sul (ENSO) e SAM (L'Heureux and Thompson, 2006).
- observações que as teleconexões no Pacífico Sul dependem da combinação de fases entre ENSO e SAM (Fogt et al., 2010).
- Aumento da frequência de bloqueio do sul durante os episódios canônicos do El Niño e La Niña associados às fases do SAM em porções do Pacífico (Oliveira et al., 2014).

Vários estudos já foram publicados, embora algumas relações não sejam bem documentadas.

- falta de referências relacionadas às atividades de bloqueio do sul durante outro tipo de ENSO, o ENSO Modoki.

Como esses dois tipos de ENSO apresentam grandes diferenças nos padrões de distribuição e gradiente das anomalias da SST, as teleconexões são diferentes e a resposta da atmosfera nos bloqueios entre elas também pode ser diferente.

O principal objetivo deste artigo é fornecer uma análise observacional sobre os efeitos combinados dos tipos ENSO e padrões de SAM nas atividades de bloqueio do sul.

# 2. Dados e metodologia

## 2.1 Índice de bloqueio 2D objetivo

- 32 anos de dados diários médios da altura geopotencial de 500 hPa (1979 – 2000) – NCEP CFSR.
- Índice de bloqueio: adaptado de Tibaldi *et al.* (1994) com mais detalhamento espaço-temporal (Oliveira *et al.*, 2014)
  - Aplicado a uma estrutura geográfica de uma (1D) e duas dimensões (2D).
  - Dois gradientes de altura geopotenciais, denominados Gradiente de Altura Geopotencial Norte e Sul computados para cada longitude ( $\lambda$ ) e para cada dia. (Condição de bloqueio:  $N > 0$  e  $S < -10$ )

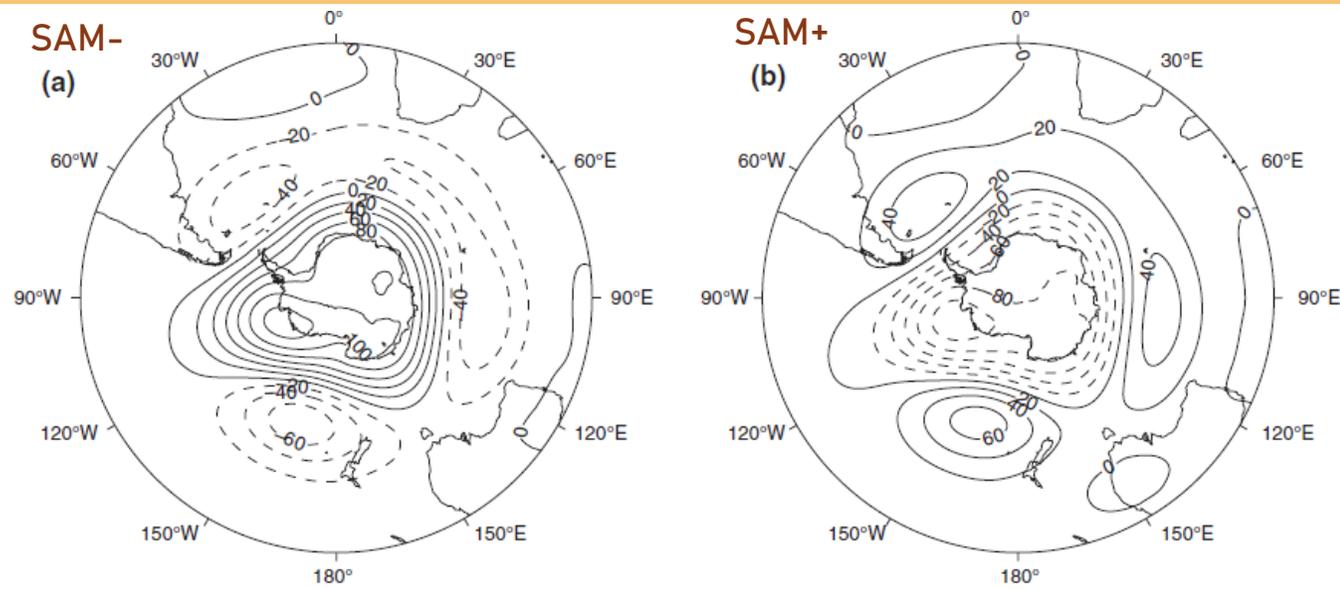
# 2. Dados e metodologia

## 2.1 Índice de bloqueio 2D objetivo

- 32 anos de dados diários médios da altura geopotencial de 500 hPa (1979 – 2000) – NCEP CFSR.
- Índice de bloqueio: adaptado de Tibaldi *et al.* (1994) com mais detalhamento espaço-temporal (Oliveira *et al.*, 2014)
  - Aplicado a uma estrutura geográfica de uma (1D) e duas dimensões (2D).
  - Dois gradientes de altura geopotenciais, denominados Gradiente de Altura Geopotencial Norte e Sul computados para cada longitude ( $\lambda$ ) e para cada dia. (Condição de bloqueio:  $N > 0$  e  $S < -10$ )

## 2.2 Índice diário do SAM

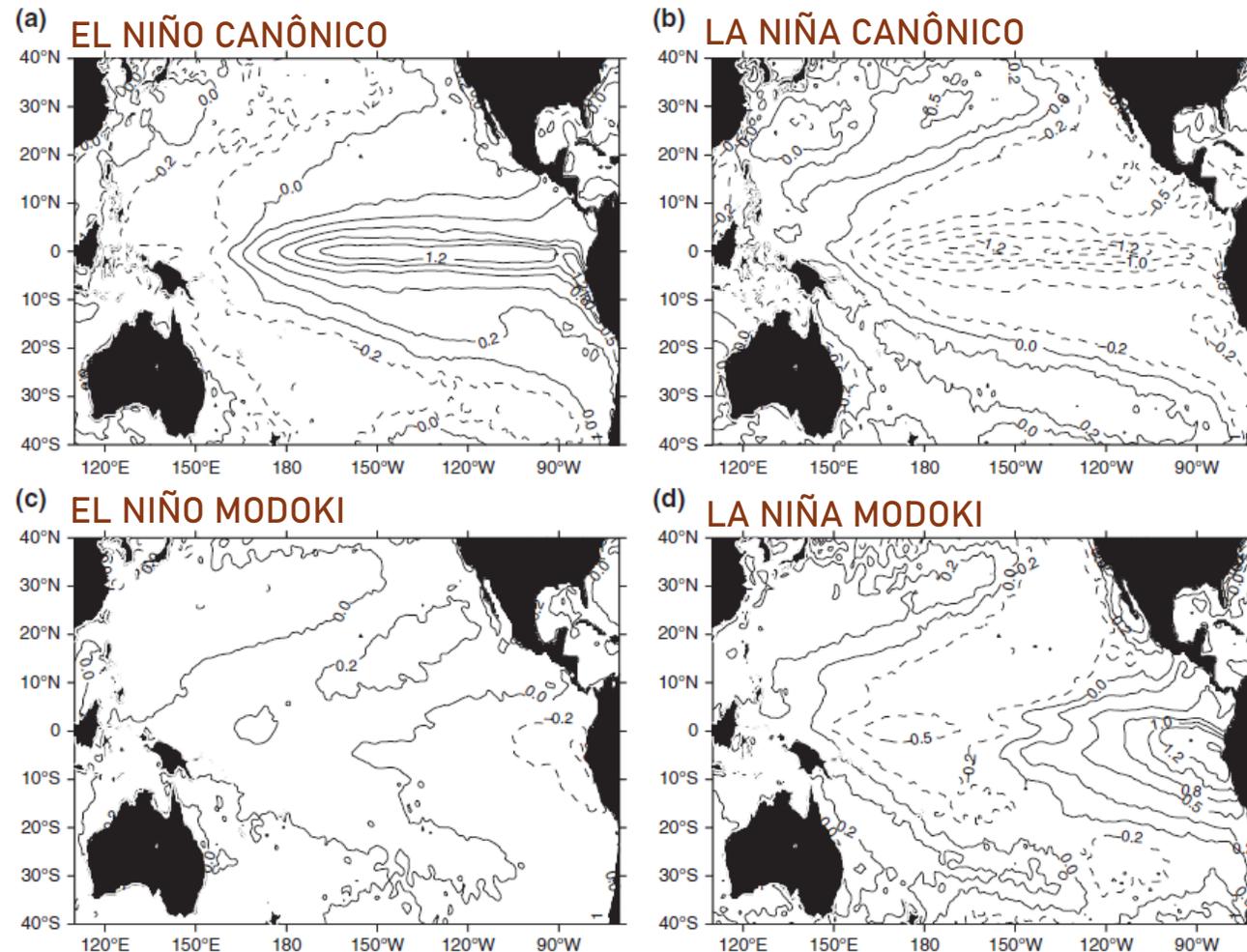
- 32 anos de dados diários médios da altura geopotencial de 700 hPa (1979 – 2000) – NCEP CFSR.
- Índice construído com base na Análise de Componentes Principais (EOF) – remoção do ciclo anual.
- Após o reconhecimento espacial das anomalias em EOF-1:
  - SAM-, coeficiente de tempo negativo está abaixo do desvio padrão de 0,5.
  - SAM+, coeficiente de tempo positivo está acima do desvio padrão de 0,5.
  - SAMw, valores dentro do limite. SAM fraco.



# 2. Dados e metodologia

## 2.3 Índice mensal ENSO

- Anomalias mensais de TSM derivadas do NCEP CFSR.
- Índice também foi construído com base no EOF.
- Os anos ENSO foram determinados usando um critério semelhante baseado no Índice Oceânico de Niño (Índice ONI) do NOAA Climate Prediction Center (CPC).



## 2. Dados e metodologia

### 2.3 Índice mensal ENSO

- Anomalias mensais de TSM derivadas do NCEP CFSR.
- Índice também foi construído com base no EOF.
- Os anos ENSO foram determinados usando um critério semelhante baseado no Índice Oceânico de Niño (Índice ONI) do NOAA Climate Prediction Center (CPC).

### 2.4 Projeto de análise

- Investigação os efeitos combinados da interação entre os tipos ENSO e padrões de SAM nos bloqueios do sul durante as estações quente do sul (de setembro a fevereiro) e fria do sul (de março a agosto).

### 3. Estatística de tipos ENSO e padrões de SAM

Objetivo: separar diferentes anomalias de SST no Pacífico equatorial para aprofundar a discussão sobre seus efeitos quando combinados com episódios de SAM.

Table 3. Statistical properties of all independent ENSO episodes in month quantities for southern warm and southern cool seasons.

ENSO-type	Warm season	Cool season	Annual
Canonical El Niño	56	35	91
Canonical La Niña	52	36	88
El Niño Modoki	41	<b>46</b>	87
La Niña Modoki	27	24	51
ENSO-neutral	<b>43</b>	<b>59</b>	102

All quantities that exceed the median location are shown in bold. Units: month.

- A distribuição sazonal mostra que a frequência de pico tanto do El Niño quanto do La Niña canônicos ocorre na estação quente, quando esse tipo ENSO normalmente atinge a maturidade.

### 3. Estatística de tipos ENSO e padrões de SAM

Objetivo: separar diferentes anomalias de SST no Pacífico equatorial para aprofundar a discussão sobre seus efeitos quando combinados com episódios de SAM.

Table 3. Statistical properties of all independent ENSO episodes in month quantities for southern warm and southern cool seasons.

ENSO-type	Warm season	Cool season	Annual
Canonical El Niño	<b>56</b>	35	91
Canonical La Niña	<b>52</b>	36	88
El Niño Modoki	41	<b>46</b>	87
La Niña Modoki	27	24	51
ENSO-neutral	<b>43</b>	<b>59</b>	102

All quantities that exceed the median location are shown in bold. Units: month.

- A distribuição sazonal mostra que a frequência de pico tanto do El Niño quanto do La Niña canônicos ocorre na estação quente, quando esse tipo ENSO normalmente atinge a maturidade.
- Diferentemente, o ENSO Modoki apresenta uma distribuição sazonal bem equilibrada.

### 3. Estatística de tipos ENSO e padrões de SAM

Objetivo: separar diferentes anomalias de SST no Pacífico equatorial para aprofundar a discussão sobre seus efeitos quando combinados com episódios de SAM.

Table 3. Statistical properties of all independent ENSO episodes in month quantities for southern warm and southern cool seasons.

ENSO-type	Warm season	Cool season	Annual
Canonical El Niño	<b>56</b>	35	91
Canonical La Niña	<b>52</b>	36	88
El Niño Modoki	41	<b>46</b>	87
La Niña Modoki	27	24	51
ENSO-neutral	<b>43</b>	<b>59</b>	102

All quantities that exceed the median location are shown in bold. Units: month.

- A distribuição sazonal mostra que a frequência de pico tanto do El Niño quanto do La Niña canônicos ocorre na estação quente, quando esse tipo ENSO normalmente atinge a maturidade.
- Diferentemente, o ENSO Modoki apresenta uma distribuição sazonal bem equilibrada.
- Por outro lado, os episódios neutros do ENSO são mais frequentes na estação fria.

# 3. Estatística de tipos ENSO e padrões de SAM

Objetivo: separar diferentes anomalias de SST no Pacífico equatorial para aprofundar a discussão sobre seus efeitos quando combinados com episódios de SAM.

- Ao examinar as propriedades do SAM, o número total de dias de SAM+ aumenta quando o sinal ENSO aparece. Exceções a esta 'regra' ocorrem durante os episódios canônicos do El Niño.

Table 4. Seasonal statistics for the total number of SAM episodes, the total number of days of SAM and the median lifetime of SAM episodes, in order, during the southern warm and southern cool seasons.

Statistical properties of the Southern Annular Mode												
Warm season												
ENSO-type	SAMw			SAM-			SAM+					
ENSO-neutral	75	429	4.0	43	507	7.0	47	343		6.0		
Canonical El Niño	99	601	4.0	66	691	6.0	54	<b>379</b>	○	5.0		
El Niño Modoki	76	432	4.0	39	<b>362</b>	○	5.0	48	<b>426</b>	●	6.0	
Canonical La Niña	107	569	4.0	44	<b>386</b>	○	5.0	74	<b>605</b>	●	6.0	
La Niña Modoki	62	296	4.0	29	<b>245</b>	○	6.0	33	<b>271</b>	●	4.0	
Total	419	2327		221	2191		256	2024				
Cool season												
ENSO-neutral	113	614	4.0	65	604	5.0	67	566		6.0		
Canonical El Niño	69	<b>423</b>	●	6.0	31	<b>272</b>	○	6.0	48	370	6.0	
El Niño Modoki	83	458	4.0	41	<b>408</b>	○	6.0	64	<b>524</b>	●	5.5	
Canonical La Niña	65	340	4.0	31	<b>276</b>	○	6.0	51	<b>475</b>	●	8.0	
La Niña Modoki	55	<b>280</b>	●	4.0	24	<b>124</b>	○	4.0	41	<b>320</b>	●	5.0
Total	385	2115		192	1684		271	2255				

●, Number of days of SAM-phase 'increase' at  $p < 0.05$ ; ○, number of days of SAM-phase 'decrease' at  $p < 0.05$ ; values in bold represent significant differences at  $p < 0.05$  significance level between a particular SAM-phase that occurs during a particular ENSO-type and that same observed during the ENSO-neutral. Black (white) balls represent a significant increase (decrease) at  $p < 0.05$  in the number of days of a particular SAM-phase in relation to ENSO-neutral episodes.

# 4. Os efeitos dos tipos ENSO e SAM nos bloqueios do sul

Objetivo: análise das estruturas de bloqueios.

A partir de número de ocorrências de bloqueios:

- 91% de todas as detecções de padrões de bloqueio no Pacífico Sul ocorrem na estação fria.
- As estruturas de bloqueio em larga escala no hemisfério sul podem ser consideradas um fenômeno de estação fria (número total de dias de bloqueio na estação fria é três vezes maior que durante a estação quente).

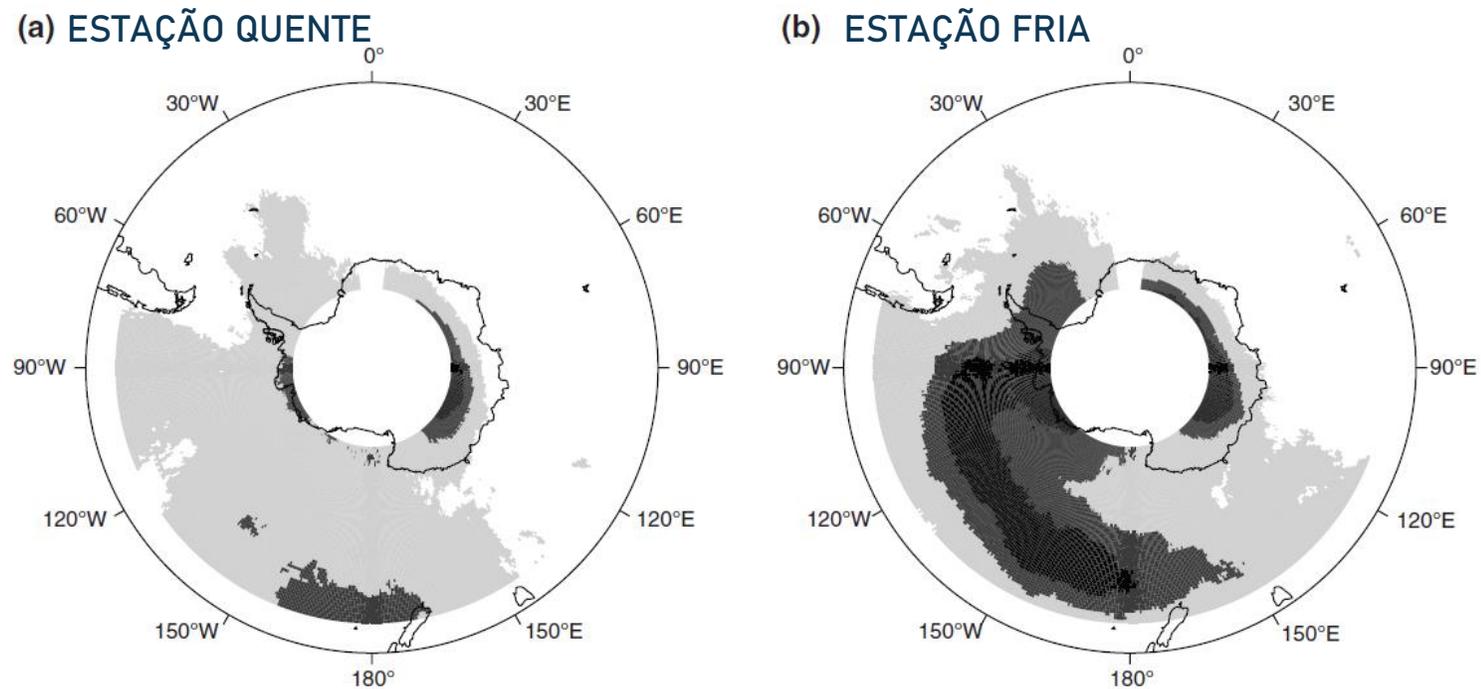


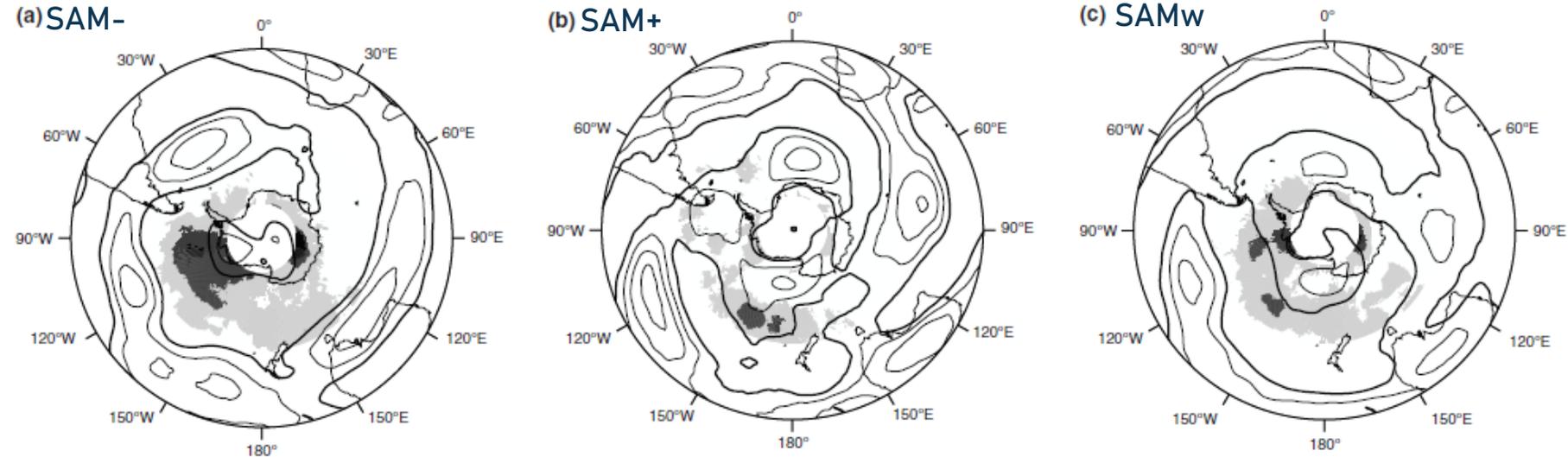
Figure 5. Seasonal BI frequencies in the 2D version of the index between 45° and 75°S during the (a) southern warm and the (b) southern cool seasons. BI frequencies  $\geq 25$ th and  $< 50$ th percentiles of the  $2D_{\text{fmax}}$  are shown as light gray areas. BI frequencies  $\geq 50$ th and  $< 75$ th percentiles are shown as dark gray areas. BI frequencies  $\geq 75$ th percentiles are shown as black areas. The BI frequencies less than 0.6% (outliers) were not shown.

# 4. Os efeitos dos tipos ENSO e SAM nos bloqueios do sul

Objetivo: análise das estruturas de bloqueios, descrever a distribuição espaço-temporal dos padrões de bloqueio.

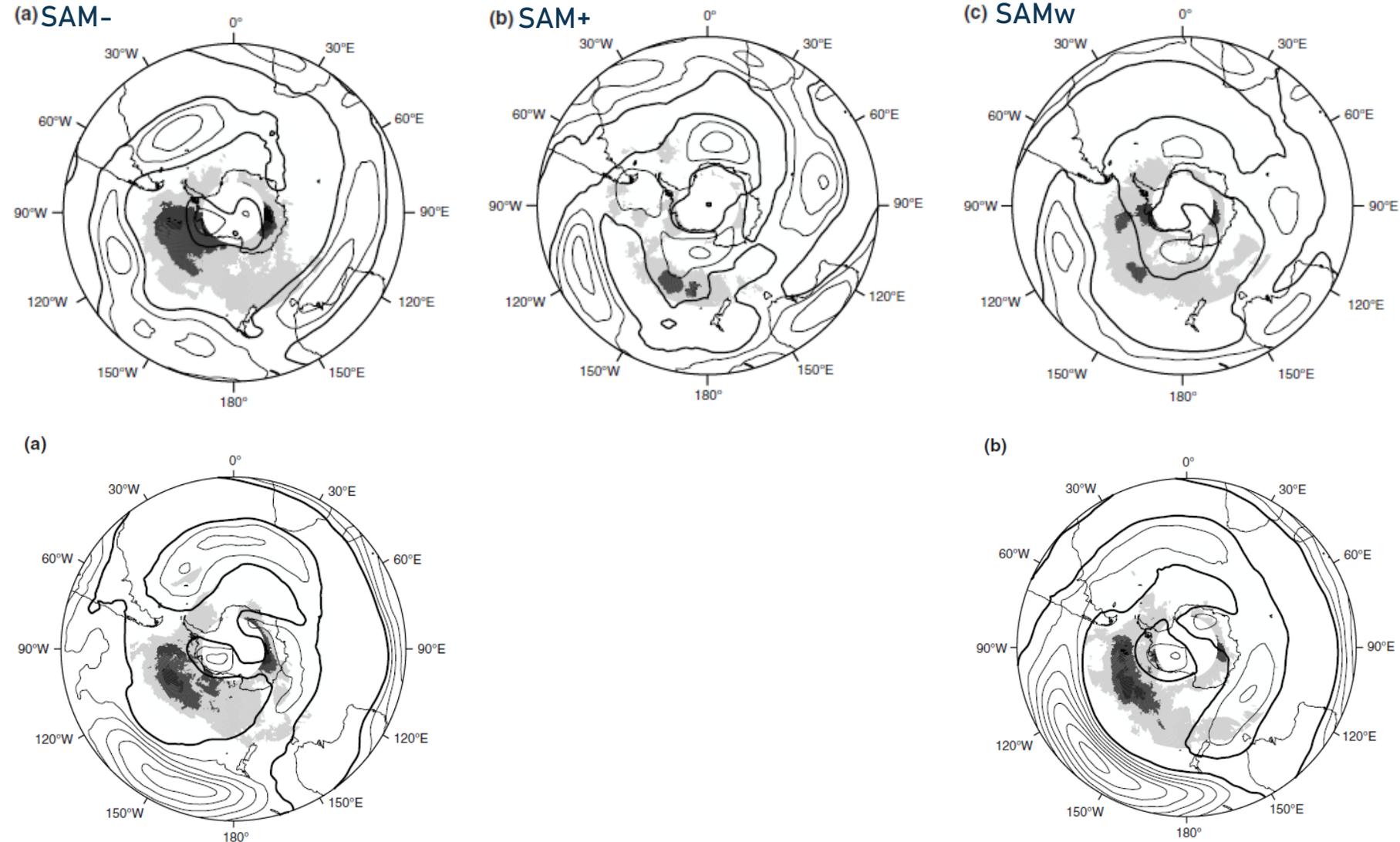
Para investigar os locais de bloqueio preferidos e seus mecanismos físicos associados, avaliou-se inicialmente o ENSO-neutro:

- Jato subtropical circula ao redor do globo, o local preferido para bloqueios ocorre no sudeste do Pacífico.
- O jato polar de SAM+ suprime os bloqueios sobre o Sudeste do Pacífico e favorece sobre as latitudes médias.
- Estado intermediário com áreas de bloqueio próximo às áreas de preferencia dos outros SAMs.



# 4. Os efeitos dos tipos ENSO e SAM nos bloqueios do sul

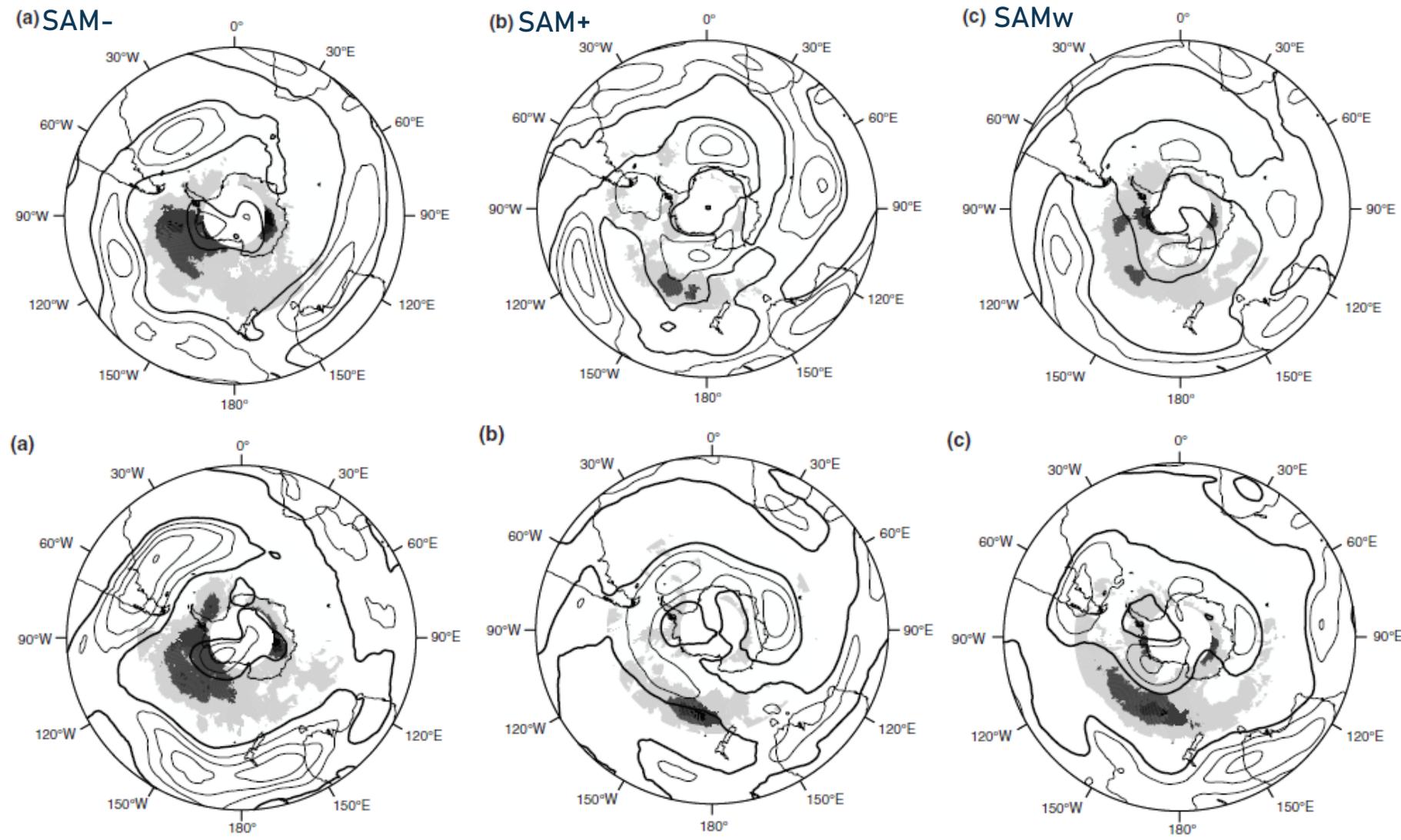
Objetivo: análise das estruturas de bloqueios, descrever a distribuição espaço-temporal dos padrões de bloqueio, mudanças de bloqueio devido à combinação dos efeitos.



+ EL NIÑO CANÔNICO

# 4. Os efeitos dos tipos ENSO e SAM nos bloqueios do sul

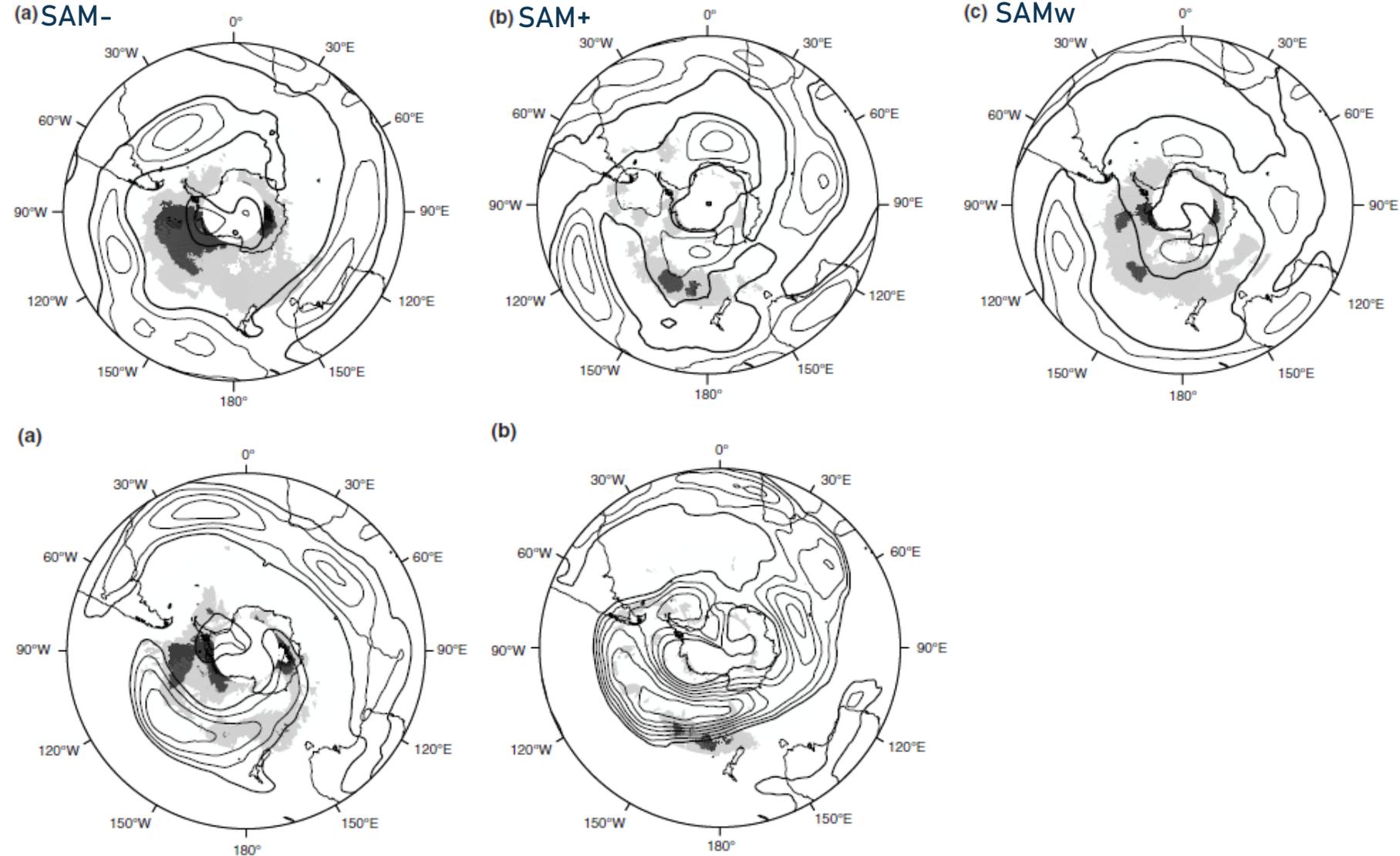
Objetivo: análise das estruturas de bloqueios, descrever a distribuição espaço-temporal dos padrões de bloqueio, mudanças de bloqueio devido à combinação dos efeitos.



+ EL NIÑO MODOKI

# 4. Os efeitos dos tipos ENSO e SAM nos bloqueios do sul

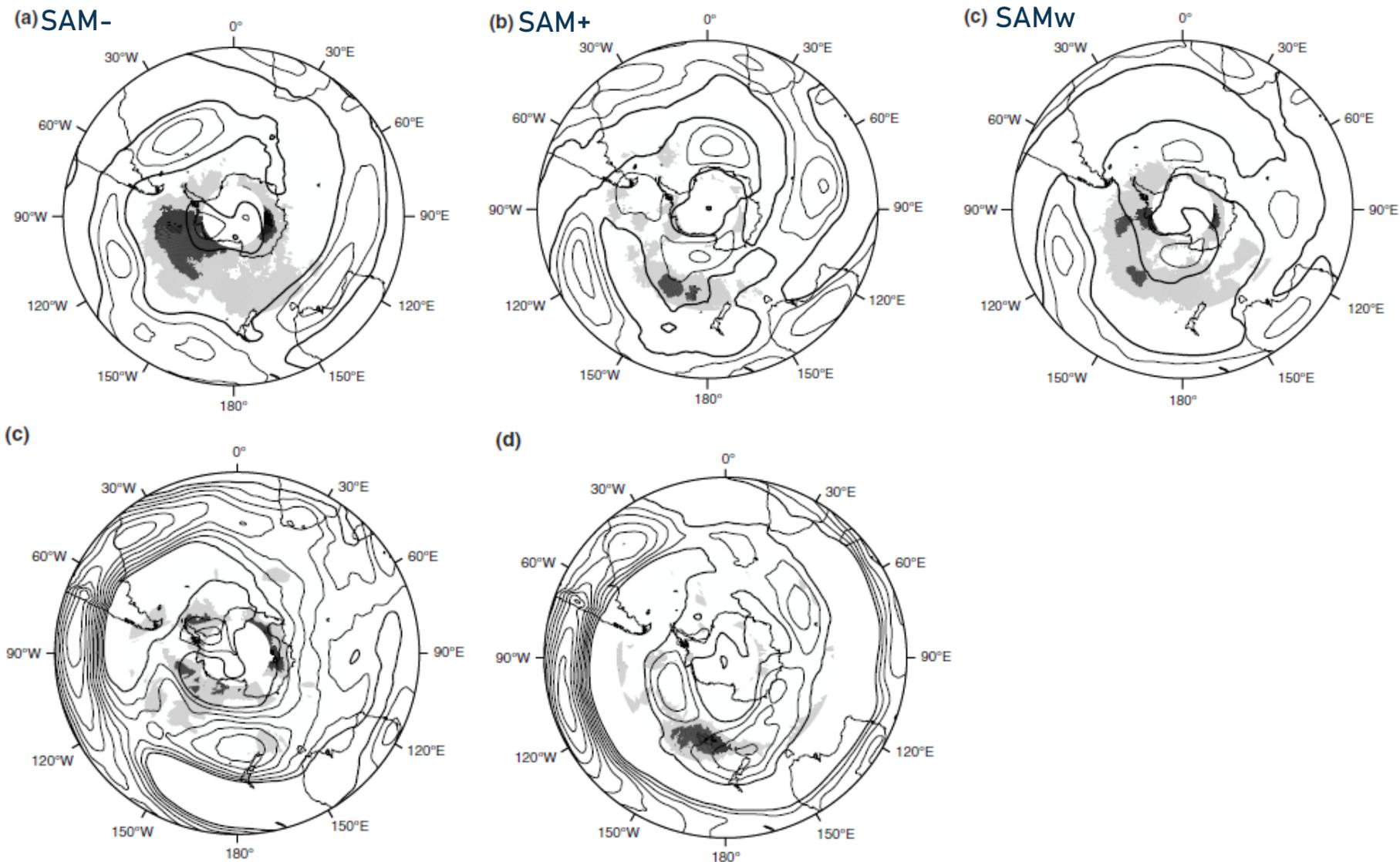
Objetivo: análise das estruturas de bloqueios, descrever a distribuição espaço-temporal dos padrões de bloqueio, mudanças de bloqueio devido à combinação dos efeitos.



+ LA NIÑA MODOKI

# 4. Os efeitos dos tipos ENSO e SAM nos bloqueios do sul

Objetivo: análise das estruturas de bloqueios, descrever a distribuição espaço-temporal dos padrões de bloqueio, mudanças de bloqueio devido à combinação dos efeitos.



+ LA NIÑA CANÔNICO

# 4. Os efeitos dos tipos ENSO e SAM nos bloqueios do sul

Objetivo: análise das estruturas de bloqueios, descrever a distribuição espaço-temporal dos padrões de bloqueio, mudanças de bloqueio devido à combinação dos efeitos.

Table 6. Significant changes in the number of days of blocking over the SW and SE Pacific sectors according to each ENSO-type in the southern warm and southern cool seasons.

Types of ENSO	Phases of ENSO	SW Pacific		SE Pacific		Southern Hemisphere	
		Warm season	Cool season	Warm season	Cool season	Warm season	Cool season
Canonical Modoki	El Niño	●	○	●	○	●	○
Canonical Modoki	La Niña	○	○	○	○	○	○

●, Number of days of blocking 'increase' at  $p < 0.05$ ; ○, number of days of blocking 'decrease' at  $p < 0.05$ ; black (white) balls represent that the number of days of blocking increases (decreases) at  $p < 0.05$  in relation to ENSO-neutral episodes.

• mudanças significativas nos bloqueios relacionados aos tipos ENSO parecem associadas ao aumento (diminuição) do número de dias de bloqueio no Pacífico Sul quando o tipo ENSO era El Niño (La Niña).

# 4. Os efeitos dos tipos ENSO e SAM nos bloqueios do sul

Objetivo: análise das estruturas de bloqueios, descrever a distribuição espaço-temporal dos padrões de bloqueio, mudanças de bloqueio devido à combinação dos efeitos.

Table 6. Significant changes in the number of days of blocking over the SW and SE Pacific sectors according to each ENSO-type in the southern warm and southern cool seasons.

Types of ENSO	Phases of ENSO	SW Pacific		SE Pacific		Southern Hemisphere	
		Warm season	Cool season	Warm season	Cool season	Warm season	Cool season
Canonical	El Niño	■	●	●	■	●	●
Modoki	El Niño	■	●	●	■	○	●
Canonical	La Niña	■	○	■	○	●	○
Modoki	La Niña	■	○	■	○	○	○

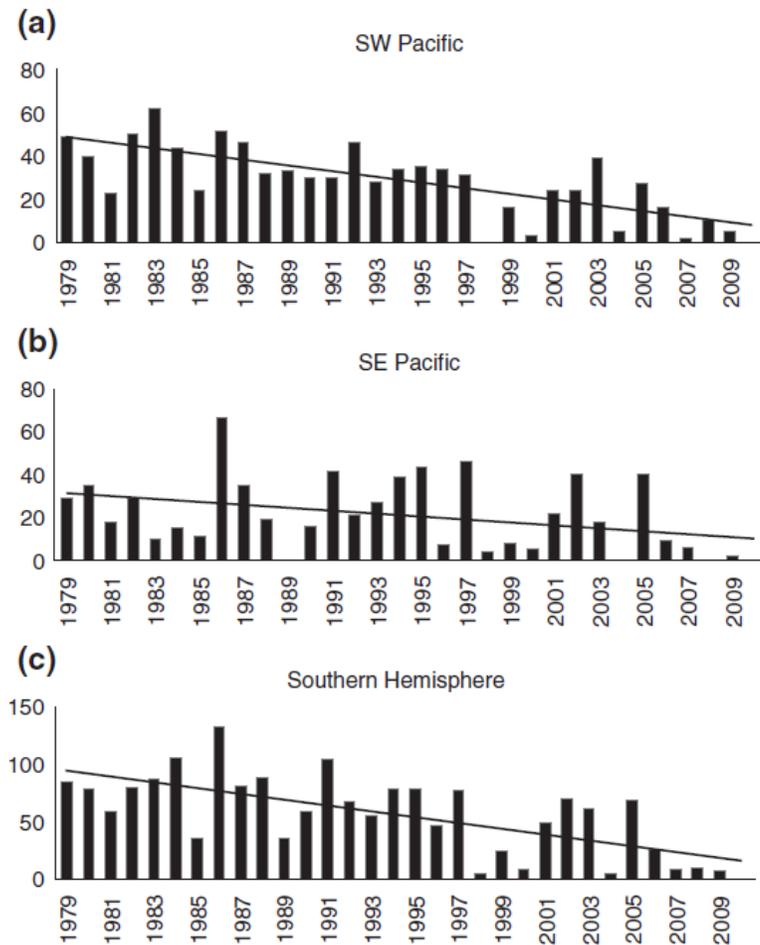
●, Number of days of blocking 'increase' at  $p < 0.05$ ; ○, number of days of blocking 'decrease' at  $p < 0.05$ ; black (white) balls represent that the number of days of blocking increases (decreases) at  $p < 0.05$  in relation to ENSO-neutral episodes.

- mudanças significativas nos bloqueios relacionados aos tipos ENSO parecem associadas ao aumento (diminuição) do número de dias de bloqueio no Pacífico Sul quando o tipo ENSO era El Niño (La Niña).
- Diferente do El Niño canônico, o Modoki está associado a um aumento significativo no número de dias de bloqueio durante a estação fria do Pacífico Sul.





# 5. Variabilidade interanual e tendências dos bloqueios



A mudança de longo prazo no número anual de dias de bloqueio mostra que houve uma forte tendência de queda no Sudoeste do Pacífico e como um todo no Hemisfério Sul. No Sudeste do Pacífico, houve uma tendência moderada de queda.

Em resumo, ambos os tipos de La Niña com combinações de SAM apresentam condições desfavoráveis para os bloqueios.

Figure 9. Interannual variability of the large-scale days of blocking over the (a) SW Pacific, (b) SE Pacific and (c) Southern Hemisphere. Linear trends are indicated as dashed lines.

# 5. Variabilidade interanual e tendências dos bloqueios

## 6. Discussão e conclusão

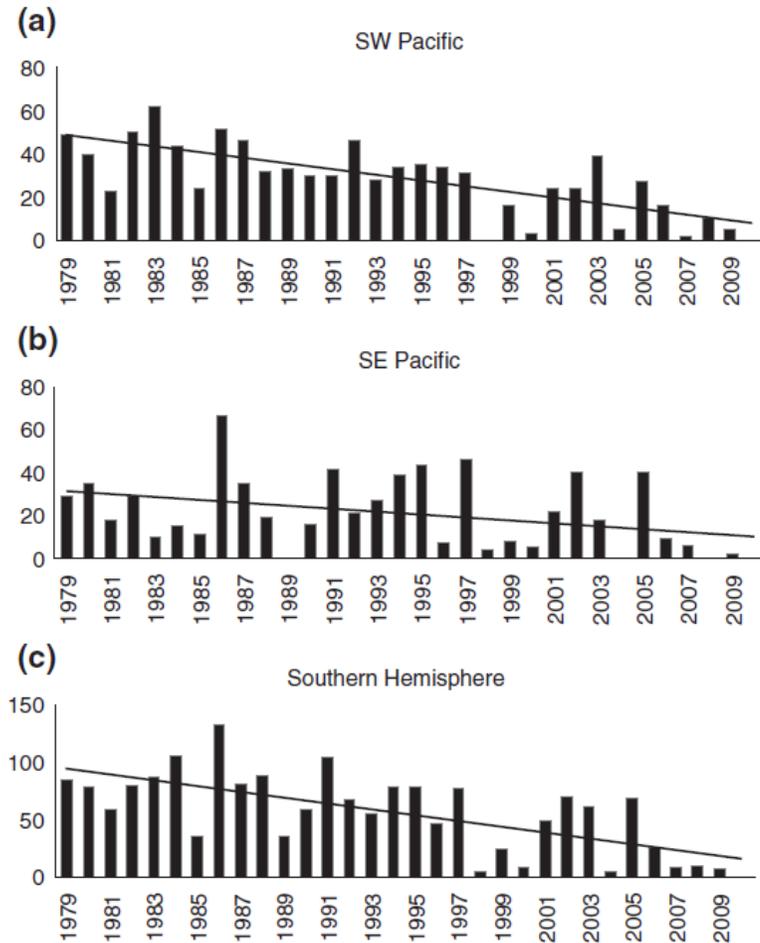


Figure 9. Interannual variability of the large-scale days of blocking over the (a) SW Pacific, (b) SE Pacific and (c) Southern Hemisphere. Linear trends are indicated as dashed lines.

A mudança de longo prazo no número anual de dias de bloqueio mostra que houve uma forte tendência de queda no Pacífico Pacífico e como um todo no Hemisfério Sul. No Sudeste do Pacífico, houve uma tendência moderada de queda.

Em resumo, ambos os tipos de La Niña com combinações de SAM apresentam condições desfavoráveis para os bloqueios.

Assim, fica claro que um padrão SAM específico não favorece necessariamente uma condição de bloqueio, sendo apenas uma manifestação local para regiões preferidas, enquanto o sinal ENSO desempenha o papel principal na variabilidade interanual e nas tendências dos bloqueios.

A análise mostra que o El Niño Modoki é o mecanismo ENSO mais favorável para eventos de bloqueio.