



**Bloqueios Atmosféricos sobre os Oceanos Pacífico Sudeste e
Atlântico Sul: Características Sinótico-Dinâmicas e Termodinâmicas**
Atmospheric Blockings in the Southeastern Pacific and
South Atlantic Oceans: Synoptic- Dynamics and Thermodynamic Characteristics

Monica Cristina Damião Mendes; Maria Regina da Silva Aragão & Magaly de Fatima Correia

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas,
Rua Aprígio Veloso 882, Bairro Universitário, 58.429-900, Campina Grande, Paraíba, Brasil

E-mails: mcdmendes@gmail.com; silva_aragao@yahoo.com.br; magaly_correia@yahoo.com.br

Recebido em 20/02/2019 Aprovado em: 12/04/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_2_309_324

Resumo

Utilizando dados diários extraídos da Reanálise do *European Centre for Medium Range Weather Forecasts* (ERA-Interim), para o período de 1979 a 2015, foram identificados bloqueios atmosféricos e analisados seus aspectos sinótico-dinâmicos e termodinâmicos em dias representativos da evolução temporal dos bloqueios. No período de estudo foram encontrados 296 eventos de bloqueio, dos quais 160 localizaram-se no Pacífico Sudeste (PSE) e 136 restantes no Atlântico Sul (ATL). Dentre os 296 eventos de bloqueio, 31 ocorreram simultaneamente nos dois oceanos (PSE-ATL), um percentual de cerca de 10%. Seis desses eventos, cuja duração foi superior a 13 dias, foram classificados como bloqueios de duração máxima e analisados, sendo dois no PSE (1986 e 2002), dois no ATL (1984 e 1995) e dois no PSE-ATL (2004 e 2014). A incursão de baixa entropia em latitudes médias e ao sul do continente sul-americano foi encontrada em dias antecedentes à formação dos bloqueios. Os valores mínimos de entropia ficaram concentrados nas latitudes altas no final do bloqueio e dias posteriores. Essa incursão em latitudes médias é acompanhada também por incursão da vorticidade potencial polar em altos níveis na direção do equador, e por um gradiente norte-sul da temperatura potencial equivalente, em dias anteriores à formação dos bloqueios. Na periferia da alta de bloqueio, movimentos meridionais sul-sudoeste no setor leste, e movimentos meridionais norte-noroeste no setor oeste, dos altos aos baixos níveis da troposfera, intensificam a circulação da alta de bloqueio, favorecendo uma condição barotrópica equivalente na região bloqueada.

Palavras-chave: Eventos de bloqueio, Entropia, Temperatura potencial equivalente

Abstract

In this work daily data extracted from the European Center for Medium Range Weather Forecasting Re-analysis (ERA-Interim) are used to identify atmospheric blockings and their associated synoptic-dynamical and thermodynamic aspects, on representative days of the temporal evolution of the blockings for the 1979 to 2015 period. In the period of study 296 blocking events were found, among which 160 in the Southeast Pacific (SEP) and the remaining 136 in the South Atlantic (SAT). Among the 296 blocking events, 31 occurred simultaneously in both oceans (SEP-SAT), a percentage of 10%, approximately. Six events, which lasted for more than thirteen days, were classified and analyzed as maxima duration blockings SEP (1986 and 2002), SAT (1984 and 1995) and SEP-SAT (2004 and 2014). The low entropy intrusion in mid-latitudes and to the south of the South American continent was seen in days preceding the blocking formation. Minima entropy values were concentrated on the Polar region at the end the blocking events, and in later days. Low entropy intrusion in mid-latitudes was accompanied by equatorward intrusions of the polar potential vorticity at high levels, and north-south equivalent potential temperature gradient in days which precede the blocking formation. In the periphery of the blocking high, a south/southwest flow on the eastern flank and a north/northwest flow on the western flank which are seen throughout the troposphere, intensify the circulation of the blocking high, favoring an equivalent barotropic condition in the blocked region.

Keywords: Blocking events, Entropy, Equivalent potential temperature



1 Introdução

A presença de anomalias positivas persistentes da altura geopotencial em 500 hPa, em torno de 60° de latitude, em ambos os hemisférios, é uma das principais características associadas à atuação dos bloqueios atmosféricos, em uma determinada área. Em situações de anomalias positivas persistentes da altura geopotencial em 500 hPa, são observadas, numa extensão mínima longitudinal de 40° graus (Rex, 1950a, 1950b), mudanças acentuadas no escoamento zonal (Sinclair, 1996; Pezza *et al.*, 2009) e a bifurcação do jato na região bloqueada (Marques, 1996; Mendes *et al.*, 2005). Muitos estudos identificaram os eventos de bloqueio a partir de anomalias positivas persistentes do geopotencial (Dole, 1978; Shukla & Mo, 1983; Knox & Hay, 1985; Dole, 1986b; Mendes *et al.*, 2005; Mendes, 2007), enquanto que sua formação e manutenção foram associadas à presença e configuração dos jatos (Trenberth & Mo, 1985; Yuan, 2004), à interação e atividade das ondas curtas e longas (Simmons *et al.*, 1983; Nakamura & Wallace, 1990; Trenberth, 1991; Marques, 1996; Marques & Rao, 1999; Renwinck & Revell, 1999; Nascimento & Ambrizzi, 2002), à energia convertida de sistemas transientes (Dole, 1986a; Nakamura *et al.*, 1997; Marques & Rao, 2000) e à quebra de ondas de Rossby (Pelly & Hoskins, 2003; Berrisford *et al.*, 2007; Barnes *et al.*, 2012; Barnes *et al.*, 2014).

A duração média dos bloqueios no Hemisfério Sul varia entre 6 e 10 dias, sendo de 9,5 dias no Pacífico, de 8,5 dias no Atlântico e de 8 dias no Índico (Van Loon, 1956). Casarin (1983), analisando bloqueios sobre o Hemisfério Sul no período entre 1975 e 1979, notou que bloqueios mais persistentes concentraram-se no Oceano Pacífico, com duração média de 11,3 dias, enquanto que sobre a América do Sul os bloqueios duraram, em média, 7,9 dias. O bloqueio mais longo encontrado por Casarin ocorreu no Oceano Pacífico, com 26 dias de duração.

Analisando um bloqueio de longa duração, ocorrido sobre o Pacífico Sudeste (PSE), Marques (1996) destacou a importância da presença dos jatos Subtropical e Polar e dos distúrbios transientes na sua geração e manutenção. O evento teve uma dura-

ção de 17 dias (29 de julho a 14 de agosto de 1986), sendo encontrados desvios positivos de precipitação entre as latitudes de 24°S e 39°S, e desvios negativos entre 40°S e 53°S. Utilizando uma série de dados e uma metodologia de detecção de bloqueios distinta, Mendes (2007) encontrou uma duração maior, de 23 dias, para esse mesmo evento. Mendes (2007), analisando outro bloqueio de longa duração sobre o PSE, no período de 13 a 30 de agosto de 1988, assinalou que sua formação e manutenção ocorreram devido à presença dos jatos, à amplificação das ondas 1 e 3 e ao enfraquecimento das ondas 4 e 5. Esses autores enfocaram a escala planetária e a escala sinótica nesses estudos, associando a presença da alta de bloqueio com os padrões de circulação nos baixos e altos níveis da troposfera.

Um aspecto pouco explorado do tema é a associação entre os bloqueios atmosféricos e as características da temperatura potencial equivalente e da entropia. A presença de um bloqueio sobre uma determinada região, por vários dias, deixa o ar mais quente na área do centro da alta e mais úmido na periferia dessa alta, aumentando assim a variabilidade da temperatura potencial (θ) e da temperatura potencial equivalente (θ_e). Alguns trabalhos mostraram que as variações anômalas meridionais da temperatura potencial, na tropopausa, podem indicar a formação de bloqueios (Pelly & Hoskins, 2003; Pedrosa, 2014), enquanto que a análise de θ_e serve como indicativo da quantidade de vapor d'água na camada atmosférica (quanto maior o valor de θ_e maior o conteúdo de água na camada). A troca e/ou mistura de massas de ar distintas causa variações de θ_e , e favorece o aumento da entropia. Contudo, até o momento, a associação dos padrões de θ_e e da entropia com a presença de bloqueios não foi estudada, como também o uso dessas variáveis como ferramentas preditoras da formação e manutenção desse fenômeno meteorológico. Considerando esse fato, este trabalho mostra as características sinótico-dinâmicas e termodinâmicas em situações de bloqueios, analisando seis casos de bloqueio de duração máxima, identificados no período de janeiro de 1979 a dezembro de 2015. Os dados e a metodologia são apresentados na Seção 2, enquanto que os resultados e as conclusões são apresentados nas Seções 3 a 5 e 6 respectivamente.

2 Dados e Metodologia

Os bloqueios atmosféricos são estudados utilizando dados diários das variáveis meteorológicas extraídas das reanálises do European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF- ERA-Interim), nos níveis de pressão padrão a partir da superfície, para o período de 1979 a 2015. Detalhes sobre a qualidade das reanálises do ERA-Interim podem ser encontrados em Dee *et al.* (2011). Os bloqueios são detectados utilizando dados diários da altura geopotencial em 500 hPa, em pontos de grade espaçados de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ de latitude/longitude, extraídos da página eletrônica <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era-interim>.

A variabilidade atmosférica decorrente da presença dos bloqueios é analisada através das seguintes variáveis dinâmicas e termodinâmicas, para vários níveis isobáricos da atmosfera: componentes zonal e meridional do vento e movimento vertical (ômega) nos níveis de 1000 a 200 hPa; vorticidades potencial e relativa, umidade relativa e específica para os níveis de 850, 700, 500 e 200 hPa.

A detecção dos eventos de bloqueio é realizada aplicando a metodologia proposta por Tibaldi & Molteni (1990), que utiliza dois índices meridionais da altura geopotencial em 500 hPa, gerados para os dois setores delimitados na Figura 1. Esses índices são denominados gradiente meridional sul da altura geopotencial (South Geopotential Height Meridional Gradients - GHGS) e gradiente meridional norte da altura geopotencial (North Geopotential Height Meridional Gradients - GHGN) e são calculados a partir das Equações (1) e (2), para as áreas de estudo denominadas como Pacífico Sudeste (PSE) e Atlântico Sul (ATL):

$$GHGS = Z(\lambda, \phi_S) - Z(\lambda, \phi_{02}) \quad (1)$$

$$GHGN = Z(\lambda, \phi_{01}) - Z(\lambda, \phi_N) \quad (2)$$

$$\phi_N = 40^\circ S + \Delta$$

$$\phi_{01} = 55^\circ S + \Delta$$

$$\phi_{02} = 50^\circ S + \Delta$$

$$\phi_S = 65^\circ S + \Delta$$

$$\Delta = -10,0^\circ; -7,5^\circ; -5,0^\circ; -2,5^\circ; 0^\circ$$

nas quais $Z(\lambda, \phi)$ é a altura geopotencial em 500 hPa, λ é a longitude, ϕ é a latitude, nos pontos sul (S) e norte (N) e nos pontos intermediários 01 e 02. O símbolo Δ representa um contador latitudinal que pode assumir os cinco valores de delta especificados acima. Uma longitude λ é definida como tendo um bloqueio, em um determinado instante de tempo, quando os dois índices definidos acima (GHGS e GHGN) satisfazem às condições descritas abaixo em pelo menos um valor de Δ :

- a) $GHGN > 0$ e b) $GHGS < -10$ m.

Por sua vez, para que seja considerado um evento de bloqueio os seguintes critérios também devem ser obedecidos:

- 1) as condições (a) e (b) devem ser satisfeitas em, pelo menos, três pontos de grade sucessivos, numa área cuja extensão longitudinal seja de 40° , no mínimo;
- 2) o critério (1) deve ser satisfeito em, no mínimo, cinco dias consecutivos;
- 3) no período de duração do evento pode existir apenas um dia intermediário no qual o critério (1) não seja satisfeito.

Os conceitos de evento de bloqueio e de *dias bloqueados* são distintos e podem ser encontrados em Trigo *et al.* (2004). O somatório de *dias bloqueados*, que é o conjunto de dias nos quais os três critérios acima são satisfeitos, representa a duração do evento de bloqueio. A duração, obtida para cada evento de bloqueio identificado, é usada para identificar a duração média, mínima e máxima dos eventos ocorridos no PSE e ATL.

Tendo por base os bloqueios de duração máxima, aqui denominados bloqueios de longa duração, são selecionados dois casos para cada área (PSE e ATL), e dois casos de eventos simultâneos, ou seja, eventos que ocorrem no mesmo período de tempo no PSE e ATL. Esses bloqueios tem início primeiramente sobre o Pacífico Sudeste e, dias após sua formação, outro bloqueio é visto também sobre o Atlântico Sul, estabelecendo assim uma extensa região bloqueada que abrange as duas áreas de estudo.

As características da circulação de grande escala nos seis casos de bloqueio de longa duração

são analisadas em níveis isobáricos, cortes verticais, e/ou seções latitude-tempo das seguintes variáveis atmosféricas: anomalias da altura geopotencial e vorticidade relativa, vorticidade potencial, Ômega, componente zonal e componente meridional do vento. Os padrões termodinâmicos são investigados a partir da temperatura potencial equivalente (θ_e) e da advecção de entropia, apresentadas em seções latitude-tempo e em níveis isobáricos, respectivamente. A temperatura potencial equivalente é obtida pela Equação (3):

$$\theta_e = \theta \times \exp \left[\left(\frac{3,376}{T_l} - 0,00254 \right) \times r (1 + 0,81 \times 10^{-3} r) \right] \quad (3)$$

sendo θ a temperatura potencial, dada pela Equação (4), proposta por Bolton (1980):

$$\theta = T_K \left(\frac{1000}{P} \right)^{0,2854(1-0,25 \times 10^{-3} r)} \quad (4)$$

T_l é a temperatura no nível de condensação por levantamento - NCL (em Kelvin - K), T_K é a temperatura absoluta (em Kelvin - K), P é a pressão atmosférica (hPa) e r é a razão de mistura (g kg^{-1}).

Com base na temperatura potencial equivalente, utilizando a definição clássica descrita por Emanuel (1989), a entropia é obtida a partir da Equação (5), a seguir:

$$S = c_p \ln \theta_e \quad (5)$$

sendo, c_p o calor específico do ar ($1004 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

Na investigação dos padrões termodinâmicos, a advecção da entropia em 850 hPa é analisada para a antevéspera do dia da formação do bloqueio ($t=t_0-2$), o dia da formação ($t=t_0$), o dia final ($t=t_f$), e dois dias após o final ($t=t_f+2$).

3 Identificação dos Bloqueios

Tendo por base os dois índices meridionais da altura geopotencial em 500 hPa, no período de janeiro de 1979 a dezembro de 2015, são identificados os eventos de bloqueio sobre as áreas do PSE e ATL isoladamente (Figura 1), e também os eventos simultâneos sobre o PSE-ATL. Os bloqueios são obtidos para cada estação do ano do hemisfério Sul: inverno (junho, julho, agosto - JJA); primavera (setembro, outubro, novembro - SON); verão (dezembro, janeiro, fevereiro - DJF); outono (março, abril, maio - MAM).

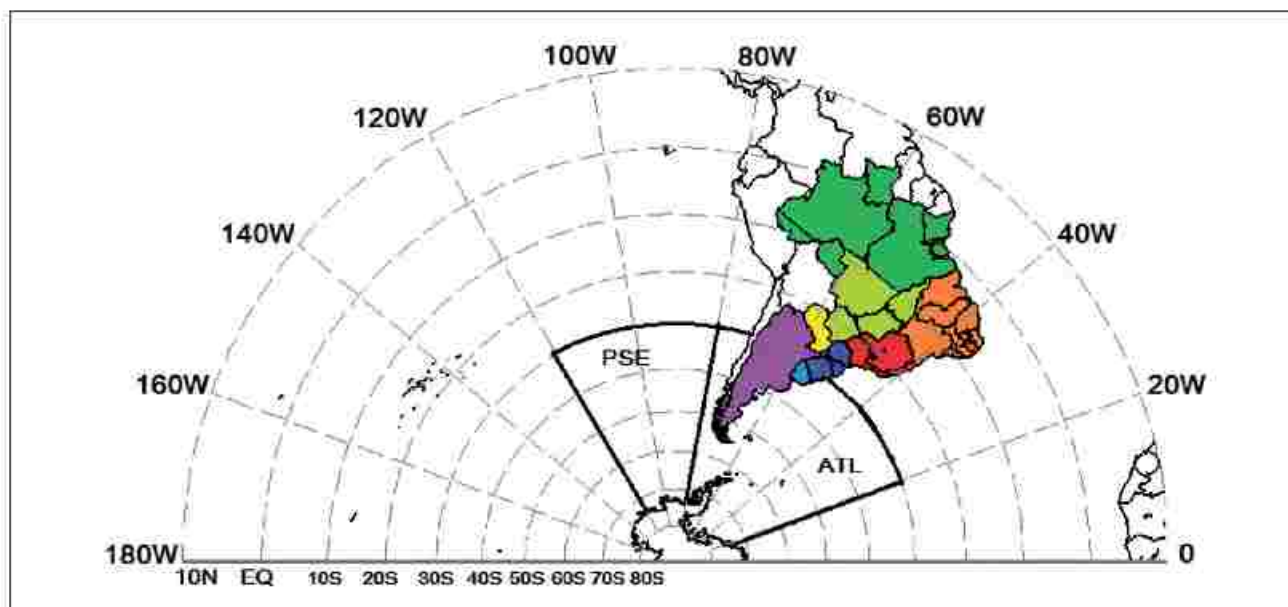


Figura 1 Distribuição espacial das áreas de estudo, denominadas PSE, a região do Oceano Pacífico Sudeste, ATL, a região do Oceano Atlântico Sul. A extensão longitudinal do PSE abrange a faixa entre 120°W e 80°W, enquanto que a do ATL compreende a faixa entre 80°W e 20°W. As regiões geográficas do Brasil estão assinaladas em cores: Nordeste (laranja), Norte (verde escuro), Centro-oeste (verde claro), Sudeste (vermelho) e Sul (azul escuro). Há três países assinalados: Argentina (lilás), Uruguai (azul claro) e Paraguai (amarelo).

A Tabela 1 apresenta no PSE (ATL) um total de: 77 (45) eventos no inverno, 39 (38) eventos na primavera, 32 (40) eventos no outono e 12 (13) eventos no verão. Nas duas áreas fica evidente a maior (menor) atividade no inverno (verão), que pode ser explicada pelo escoamento zonal mais intenso sobre a faixa latitudinal preferencial de formação dos bloqueios, nos meses de verão (Marques, 1986; Mendes, 2007). Semelhante às áreas do PSE e ATL, isoladamente, o número de bloqueios simultâneos PSE-ATL é maior no inverno (14) e menor no verão, com apenas 1 evento. Nos meses da primavera (outono) sobre o PSE-ATL são encontrados 7 (9) bloqueios simultâneos, respectivamente. Dessa forma, nos 37 anos analisados, houve 31 eventos simultâneos, ou seja, 10% do total de bloqueios encontrados nas duas áreas.

No que diz respeito à duração total (número total de dias bloqueados), no PSE e ATL, é encontrada maior atividade no inverno, seguida pela

primavera, outono e verão (Tabela 1). Essa característica muda para os bloqueios simultâneos (PSE-ATL), cuja duração total é maior no outono (75) do que na primavera (44). A duração máxima é, conforme discutido na seção anterior, o critério utilizado na seleção dos seis casos de bloqueio de duração máxima (doravante denominados bloqueios de longa duração), para as áreas do: PSE (1986, 2002), inverno e outono; ATL (1984, 1995), inverno e primavera e PSE-ATL (2004, 2014), inverno e outono (Tabela 1). Um detalhamento anual dos bloqueios simultâneos PSE-ATL de longa duração, detectados em cada estação do ano, é apresentado na Tabela 2. Ela contém, para cada ano, o respectivo total de eventos e a duração total dos eventos. É possível verificar que eles ocorrem, em sua maioria, em anos de El Niño (Wiedenmann *et al.*, 2002; Mendes *et al.*, 2008), a exemplo de 2004 e 2014, anos de El Niño forte.

ESTAÇÕES	INVERNO			PRIMAVERA			OUTONO			VERÃO		
	PSE	ATL	PSE-ATL	PSE	ATL	PSE-ATL	PSE	ATL	PSE-ATL	PSE	ATL	PSE-ATL
TOTAL DE EVENTOS	77	45	14	39	38	7	32	40	9	12	13	1
DURAÇÃO TOTAL	898	330	97	273	274	44	247	268	75	81	77	6
DURAÇÃO MÉDIA	9,03	7,26	7,00	7,00	7,02	6,00	8,20	6,70	8,00	6,75	5,92	6,00
DURAÇÃO MÁXIMA	25	19	17	14	16	9	20	14	13	12	9	6
ANOS	1986	1984	2004	2015	1995	2015	2002	1988	2014	1991	1996	1998

Tabela 1 Número total de bloqueios, duração total dos bloqueios (*em dias*), duração média dos bloqueios (*em dias*), duração máxima dos bloqueios (*em dias*), obtidos para o Pacífico Sudeste (PSE), Atlântico Sul (ATL), e simultâneos PSE-ATL. Os anos dos eventos de duração máxima estão assinalados em **italico e negrito**. As informações são mostradas para cada estação do ano do período de 1979 a 2015.

INVERNO			PRIMAVERA			OUTONO			VERÃO		
ANOS	NTE	DT	ANOS	NTE	DT	ANOS	NTE	DT	ANOS	NTE	DT
<i>1982</i>	1	5	<i>1991</i>	1	7	<i>1979</i>	1	5	<i>1998</i>	1	6
<i>1984</i>	2	11	<i>1993</i>	2	12	<i>1981</i>	1	8			
<i>1985</i>	1	8	<i>1997</i>	1	5	<i>1992</i>	1	12			
<i>1996</i>	2	12	<i>2000</i>	1	6	<i>1998</i>	1	6			
<i>2000</i>	1	6	<i>2007</i>	1	5	<i>1999</i>	1	5			
<i>2001</i>	1	5	<i>2015</i>	1	9	<i>2002</i>	1	6			
<i>2004</i>	2	24				<i>2003</i>	1	7			
<i>2006</i>	1	7				<i>2006</i>	1	6			
<i>2006</i>	1	6				<i>2012</i>	1	5			
<i>2012</i>	1	7				<i>2014</i>	1	13			
<i>2014</i>	1	7									
TOTAL	7	97	TOTAL	7	44	TOTAL	9	75	TOTAL	1	6

Tabela 2 Número total de eventos (NTE) e duração total (DT) dos bloqueios simultâneos PSE-ATL, para cada estação do ano (*em dias*). Os anos com bloqueios simultâneos estão assinalados em **italico**, enquanto que o total de bloqueios simultâneos, no período de 1979 a 2015, está assinalado no final da tabela em **negrito**.

4 Padrões de Circulação Atmosférica em Bloqueios de Longa Duração

O diagnóstico dos padrões meteorológicos associados aos bloqueios de longa duração selecionados é realizado a partir de diferentes campos de variáveis atmosféricas. A Figura 2 apresenta os campos das anomalias da altura geopotencial em 500 hPa (isolinhas) e a vorticidade relativa em 200 hPa (cores), para os bloqueios do ATL (1984 e 1995), PSE (1986 e 2002) e simultâneos PSE-ATL (2004 e 2014). As anomalias positivas da altura geopotencial sobre o ATL (Figura 2 A,B) são menos intensas do que aquelas encontradas no PSE (Figura 2 C,D). Nas duas áreas, essas anomalias, em 500 hPa, são consistentes com as anomalias positivas da pressão ao nível médio do mar (não mostradas), resultado também encontrado por Marques (1996) e Sinclair (1996), utilizando outra metodologia e outra série de dados. Os valores positivos da vorticidade relativa, nos altos níveis, confirmam a presença do sistema anticiclônico anômalo característico do bloqueio (Figura 2 A-D), que se estende desde a superfície.

Na região do ATL, os valores negativos da vorticidade relativa e das anomalias da altura geopotencial, na periferia da alta de bloqueio e parte da Argentina, indicam a atuação de sistemas de baixa pressão (Figura 2 A,B), enquanto que a configuração ligeiramente alongada na direção zonal do núcleo de anomalias positivas da altura geopotencial em 1984 (Figura 2A), indica um padrão de bloqueio do tipo crista (Marques, 1986), com grande extensão longitudinal.

Semelhantemente ao que é visto no ATL, na região sobre o PSE são encontrados valores negativos da vorticidade relativa e das anomalias da altura geopotencial, nas áreas adjacentes à alta de bloqueio (Figura 2 C,D). As áreas de vorticidade relativa negativa indicam a presença de sistemas de baixa pressão e/ou cavados frontais que se deslocam ao longo do jato polar bifurcado. No ano de 1986, a área com anomalias positivas da altura geopotencial evidencia a presença de um bloqueio intenso do tipo dipolo, situado entre as longitudes de 120°W e 80°W (Figura 2 C), enquanto que as anomalias negativas indicam a presença de uma baixa desprendida ao norte da alta de bloqueio. No ano de 2002, o bloqueio tem uma configuração do tipo Ômega Invertido (Marques, 1986), com duas baixas anômalas (anomalias negativas da altura geopotencial) acopladas à alta de blo-

queio (anomalias positivas da altura geopotencial) (Figura 2 D).

Nos anos de 2004 e 2014, os bloqueios simultâneos PSE-ATL são evidenciados pela presença de valores positivos da vorticidade relativa e das anomalias da altura geopotencial, nas respectivas áreas dos dois oceanos (Figura 2 E,F). Valores positivos da vorticidade relativa sobre a Região Norte e grande parte da Centro-oeste, Bolívia, Paraguai, Peru, no bloqueio de 2004 (Figura 2 E), e sobre as Regiões Sul e Sudeste, e quase toda a Região Centro-oeste, Bolívia, Paraguai, Peru, Uruguai, norte da Argentina e do Chile, no bloqueio de 2014 (Figura 2 F), indicam a atuação de circulação anticiclônica em altos níveis. A presença de vorticidade relativa positiva sobre a região central da América do Sul é vista em todos os casos de bloqueio (Figura 2 A-F), o que indica a atuação de circulação anticiclônica, uma característica relacionada com o confinamento dos sistemas transientes no sul do continente sul-americano.

Na Figura 3, que apresenta os campos da vorticidade potencial em 200 hPa, é possível notar durante a atividade de bloqueio, a incursão de vorticidade potencial de latitudes médias (tons verdes e azuis) em direção ao polo, na área da alta de bloqueio. No bloqueio de 1984, sobre o ATL, se verifica ainda uma incursão da vorticidade potencial de latitudes médias, que se estende desde o PSE (~ 80° W) até o sul do ATL (Figura 3 A). Essa incursão se encontra na área do núcleo de anomalias positivas da altura geopotencial em 500 hPa (Figura 2 A). No ano de 1995, a incursão ocorre na área da alta de bloqueio sobre o ATL, abrangendo uma grande região do oceano Atlântico (Figura 3 B). Sobre o PSE (Figura 3 C,D), a incursão da vorticidade potencial de latitudes médias, que ocorre na área da alta de bloqueio, abrange uma extensão maior no ano de 1986, cujo bloqueio tem duração de 25 dias (Figura 3 C).

Ainda em relação ao bloqueio de 1986 (Figura 3 C), é importante assinalar que a incursão aparece sob forma de "S", um padrão similar àquele encontrado por Berrisford *et al.* (2007) que utilizou a vorticidade potencial em superfícies isentrópicas para identificar a quebra da onda de Rossby. Esses autores perceberam que numa situação de bloqueio, parcelas de ar são advectadas das latitudes médias para as latitudes mais altas (e vice-versa), o que provoca a inversão do gradiente meridional da temperatura e, conseqüentemente, uma quebra na onda

de Rossby. Quando essa configuração permanece por vários dias, sugere-se a presença de um bloqueio atmosférico (Berrisford *et al.*, 2007).

Salienta-se que, existem diversos padrões de quebra de ondas de Rossby, que pode ser ciclônica ou anticiclônica, dependendo do cisalhamento barotrópico associado à corrente de jato (Gabriel &

Peters, 2008). Quando a quebra da onda de Rossby ocorre em direção ao polo, a massa de ar de baixa vorticidade potencial (VP) tende a formar uma quebra anticiclônica, que, ao perdurar por vários dias, associa-se a um forte anticiclone de bloqueio, durante o estágio maduro de desenvolvimento desse sistema (Gabriel & Peters, 2008).

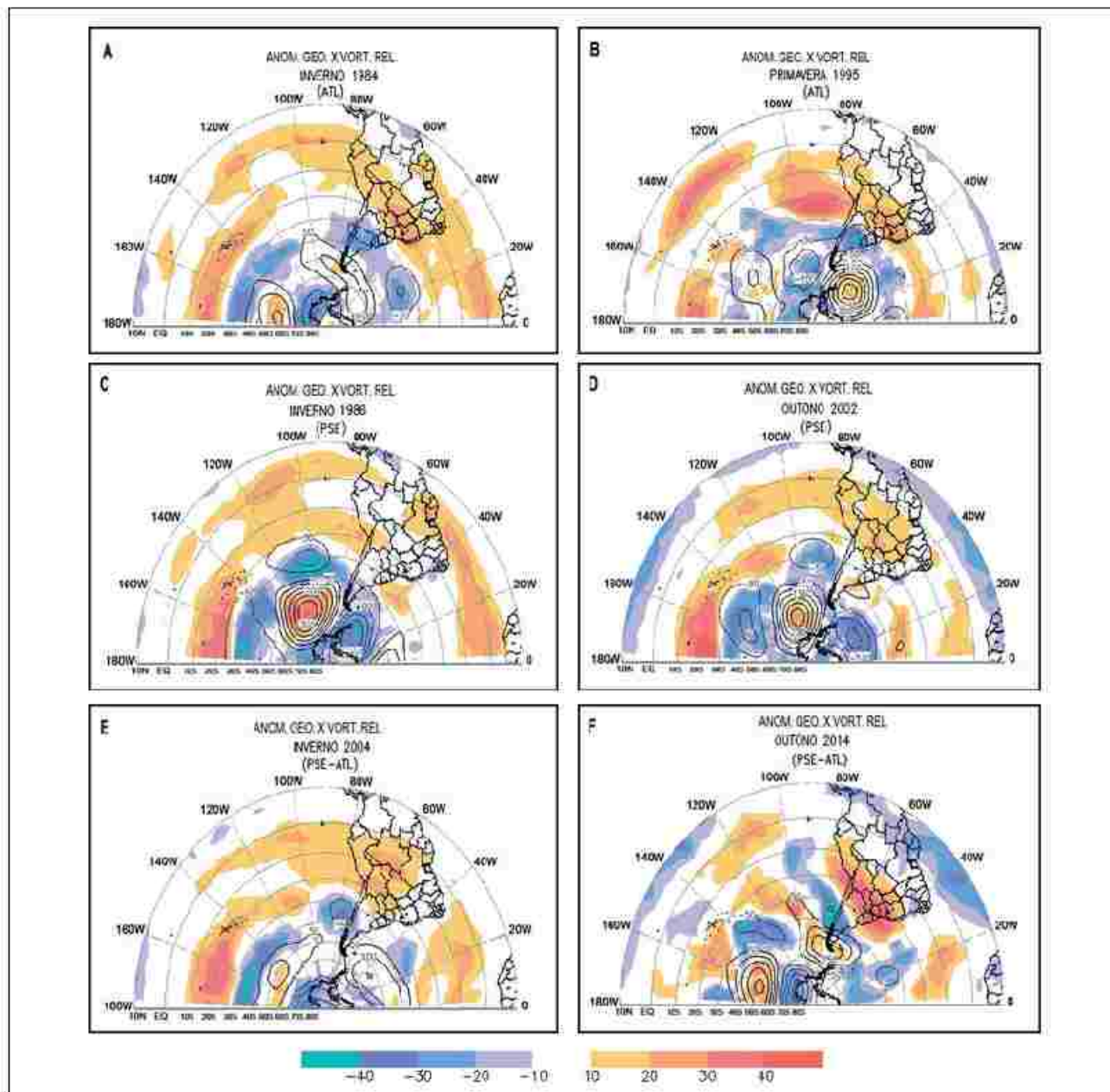


Figura 2 Campos das anomalias da altura geopotencial em 500 hPa (isolinhas, em m_gp) e vorticidade relativa em 200 hPa (cores, em $10^{-5} s^{-2}$), para os bloqueios de: A. 08 a 26 de agosto de 1984; B. 02 a 17 de outubro de 1995; C. 24 de julho a 17 de agosto de 1986; D. 07 a 26 de maio de 2002; E. 13 a 29 de julho de 2004; F. 02 a 14 de abril de 2014. A escala de cores da vorticidade relativa é mostrada abaixo dos campos. As anomalias foram calculadas em relação ao período de 1979 a 2015.

O padrão de incursão da vorticidade potencial de latitudes médias, encontrado nos campos da vorticidade potencial em 200 hPa (Figura 3 A-D), complementa aquele encontrado por McIntyre & Palmer (1983) que, através de cartas sinóticas da VP na média estratosfera (850 K), verificaram o aparecimento e a propagação para as latitudes tropicais de uma língua de alta VP, desprendida da borda do vórtice polar, em escala sinótica. Posteriormente, essa língua foi denominada “quebra da onda de Rossby”, que são distorções nos campos da VP (Postel & Hitchman, 1999). Nos bloqueios simultâneos (Figura 3 E, F), também é possível notar uma incursão da vorticidade potencial em direção ao polo, nos altos níveis, consistente com os resultados encontrados por Pelly & Hoskins (2003) e Berrisford *et al.* (2007).

Os padrões da circulação atmosférica durante a atividade dos bloqueios de longa duração são também analisados com base no corte vertical, ao longo da latitude de 60°S, do Ômega e da componente meridional do vento (Figura 4 A-F). Nas seções verticais se verifica escoamento meridional de sul (valores positivos) no interior e a leste da região de bloqueio, e escoamento de norte (valores negativos) a oeste da região de bloqueio, no bloqueio de 1995 sobre o ATL, e em 1986 e 2002 sobre o PSE (Figura 4 B-D). No bloqueio de 1995, movimentos ascendentes (valores negativos) predominam ao longo de toda a vertical, a oeste da região de bloqueio (Figura 4 B), associados ao escoamento de norte, localizado também sobre essa região. Movimentos de sul e descendentes, vistos entre 40°W e 20°W (Figura 4 B), são consistentes com as anomalias positivas do geopotencial (Figura 2 B) e a circulação anticiclônica da alta de bloqueio, que se estendem dos altos aos baixos níveis da troposfera (não mostrado). Nos bloqueios de 1986 e 2002, os movimentos descendentes são mais evidentes, ocorrendo a leste e no interior de quase toda a área bloqueada (Figura 4 C,D).

Os movimentos descendentes, dos altos aos baixos níveis da troposfera, favorecem a condição barotrópica equivalente, como assinalado por Marques (1986). No bloqueio PSE-ATL de 2004, movimentos descendentes são observados no interior e a leste da área bloqueada do ATL, e a oeste da área bloqueada do PSE, onde os movimentos são

ascendentes (Figura 4 E). No bloqueio simultâneo de 2014, é possível notar a presença de um núcleo descendente, que está ladeado por movimentos ascendentes, tanto sobre o ATL quanto sobre o PSE (Figura 4 F).

Outra variável meteorológica usada para avaliar a circulação atmosférica é a componente zonal do vento em 200 hPa, representada em seções latitude-tempo. Essas seções ilustram a média zonal dessa variável e de suas anomalias (Figura 5), dentro de cada região de bloqueio. Durante o período de duração de cada bloqueio no ATL e no PSE, delimitado pelas linhas tracejadas perpendiculares ao eixo do tempo (Figura 5 A-D), a média zonal da componente zonal do vento se encontra ligeiramente mais intensa sobre a banda polar do jato, à exceção do bloqueio de 1984 e 2002 (Figura 5 A,D).

É possível notar ainda, o enfraquecimento do vento (anomalias negativas) ao sul da posição climatológica do jato, região próxima a sua bifurcação, que parece favorecer a manutenção do próprio bloqueio (Trenberth, 1986 A, 1986 B). A intensificação do jato subtropical é outro fator importante para a manutenção do próprio bloqueio, devido a sua associação com a bifurcação (Chen *et al.*, 1996). Nos bloqueios simultâneos ATL-PSE de 2004 e 2014, ocorre bifurcação do jato em ambos os oceanos, sobre o ATL (Figura 5 E,F) e sobre o PSE (Figura 5 G,H).

5 Padrões Termodinâmicos em Bloqueios de Longa Duração

Os padrões termodinâmicos da atmosfera, na presença dos bloqueios, são analisados no nível isobárico de 850 hPa com base em seções latitude-tempo da temperatura potencial equivalente e de suas anomalias (Figura 6), e em campos da advecção da entropia para a antevéspera do dia da formação do bloqueio ($t=t_0-2$), o dia da formação ($t=t_0$), o dia final ($t=tf$) e dois dias após o término do bloqueio ($t=tf+2$). Climatologicamente, o gradiente meridional da temperatura potencial (θ) aponta para norte, em direção às temperaturas mais altas (Pedroso, 2014). Como θ e θ_e são diretamente proporcionais, espera-se que o gradiente meridional da TPE tenha a

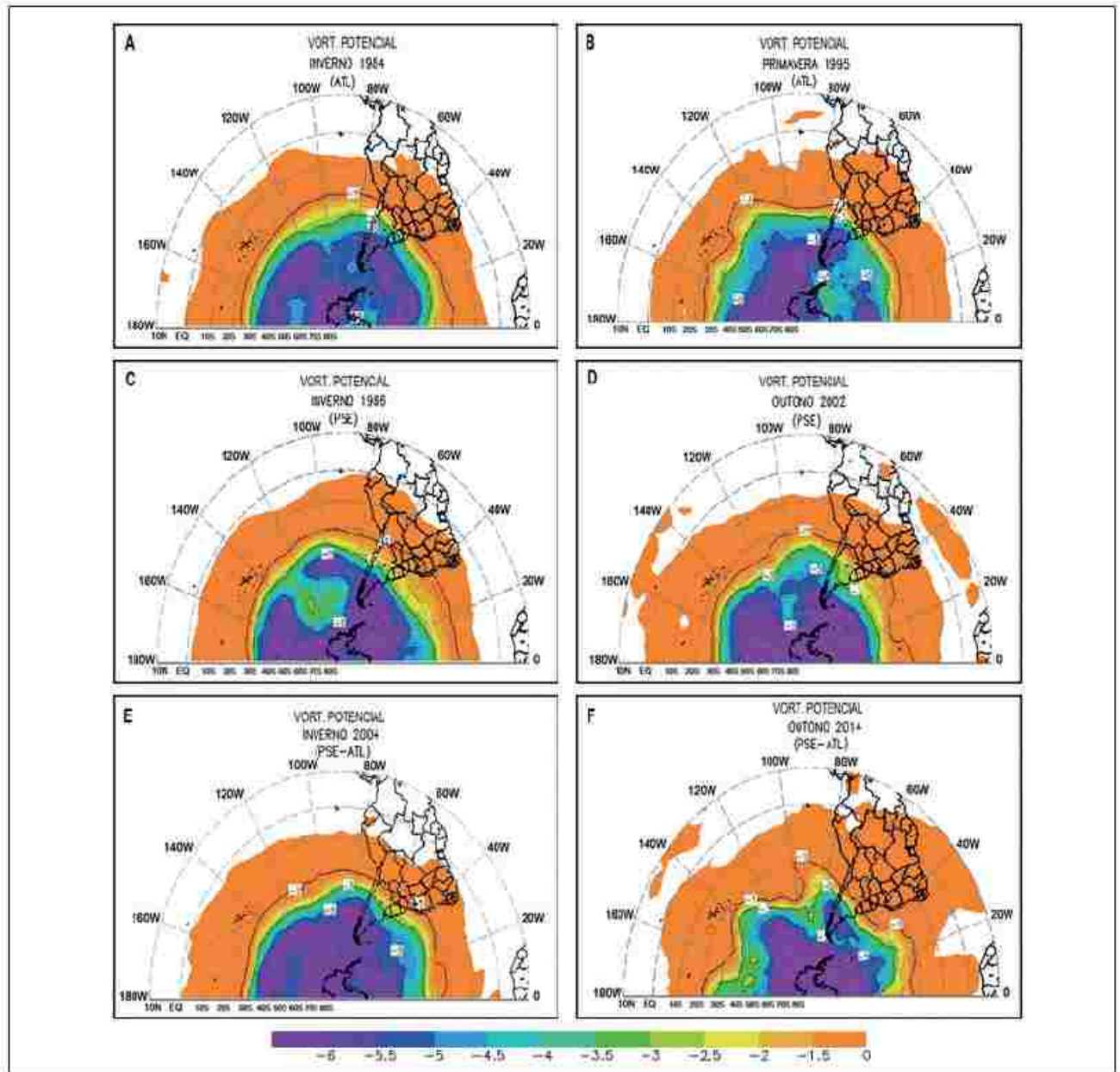


Figura 3 Campos da vorticidade potencial (cores e isolinhas, em $\text{K kg}^{-1} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$), em 200 hPa, para os bloqueios de A, 08 a 26 de agosto de 1984; B, 02 a 17 de outubro de 1995, C, 24 de julho a 17 de agosto de 1986, D, 07 a 26 de maio de 2002, E, 13 a 29 de julho de 2004, F, 02 a 14 de abril de 2014. A escala de cores é mostrada abaixo dos campos.

mesma direção climatológica, do polo para o equador. Numa situação de bloqueio, o ar subtropical é transportado para sul e o ar polar é transportado para norte, em parte, associado à presença da alta de bloqueio semi-estacionária. O transporte do ar polar (subtropical) em direção ao equador (polo), favorece o aparecimento de anomalias positivas (negativas) da TPE em latitudes altas (médias), o que pode ocasionar a inversão e/ou o enfraquecimento do gradiente meridional da TPE na região bloqueada. Essa inversão é indicada pelas setas tracejadas

pretas na região de bloqueio (Figura 6). A temperatura potencial equivalente, que é a entropia em um processo úmido, indica uma condição de instabilidade e de ajuste convectivo da atmosfera (Emanuel, 1989). Dessa forma, anomalias negativas (positivas) da TPE indicam uma atmosfera seca (úmida) no nível de 850 hPa.

A alta de bloqueio em 1984, localizada entre 50°S e 70°S (Figura 2 A), contribuiu para a geração de anomalias positivas da TPE ao sul de 70°S e ao

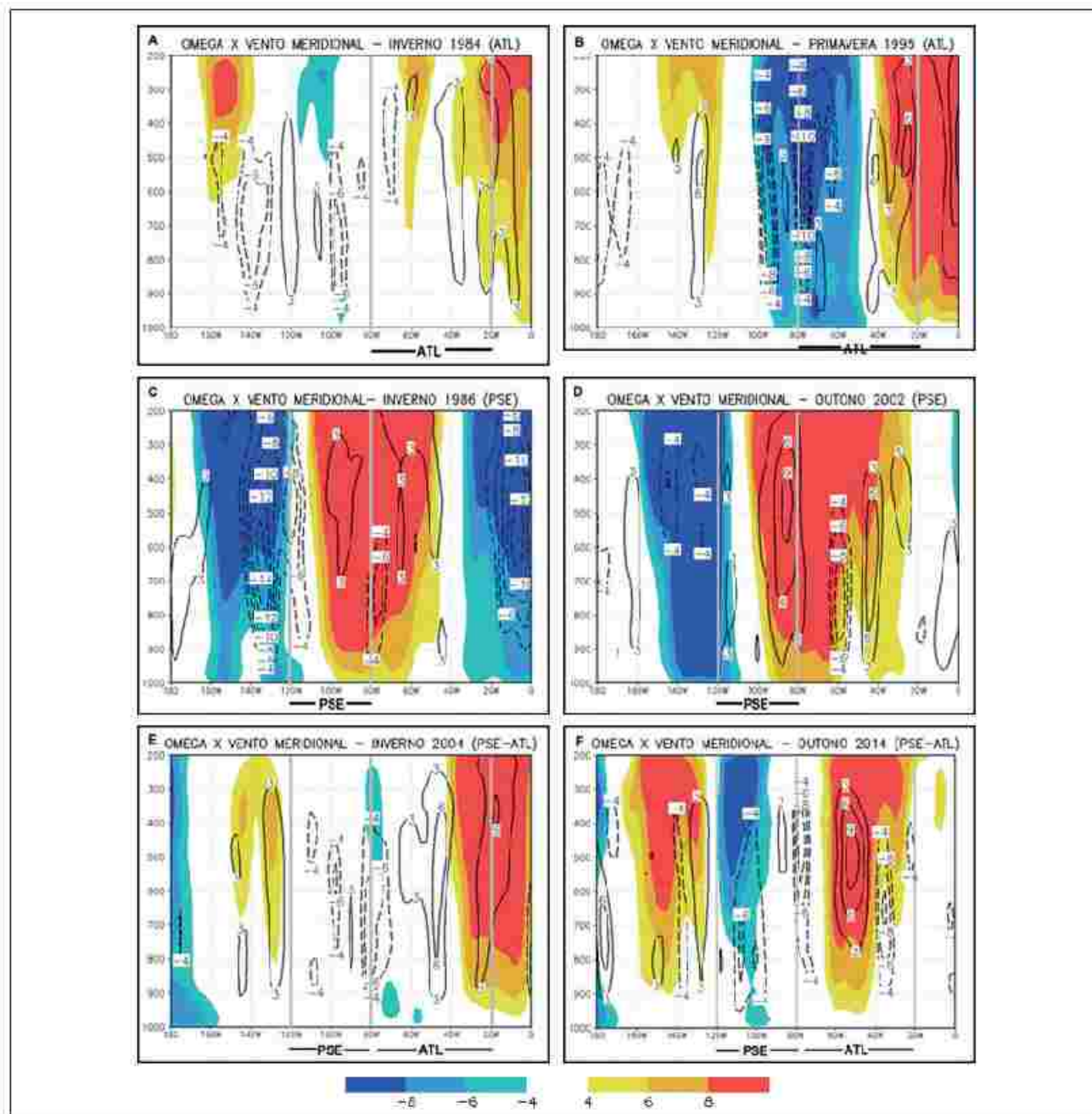


Figura 4 Cortes verticais, ao longo da latitude de 60°S, do Ômega (isolinhas, $10^{-2} \text{ Pa s}^{-1}$) e da componente meridional do vento (cores, m s^{-1}), para os bloqueios de A. 08 a 26 de agosto de 1984, B. 02 a 17 de outubro de 1995; C. 24 de julho a 17 de agosto de 1986, D. 07 a 26 de maio de 2002, E. 13 a 29 de julho de 2004, F. 02 a 14 de abril de 2014. Os valores positivos (negativos) da componente meridional do vento, cuja escala de cores é mostrada abaixo da figura, representam escoamento de sul (norte). As linhas contínuas perpendiculares ao eixo das longitudes delimitam as áreas de estudo.

norte de 30°S, e anomalias negativas da TPE na faixa latitudinal bloqueada, entre 40°S e 70°S (Figura 6 A). No decorrer do evento, as anomalias negativas da TPE perdem intensidade, dando lugar às anomalias positivas da TPE (após o dia 16 de agosto). Valo-

res atípicos da TPE ao norte/sul da alta de bloqueio, geram uma inversão do gradiente meridional da TPE que aponta da baixa (280 K) para a alta (300 K) TPE.

No bloqueio de 1995 (Figura 6 B), as anomalias negativas da TPE se localizam mais para sul

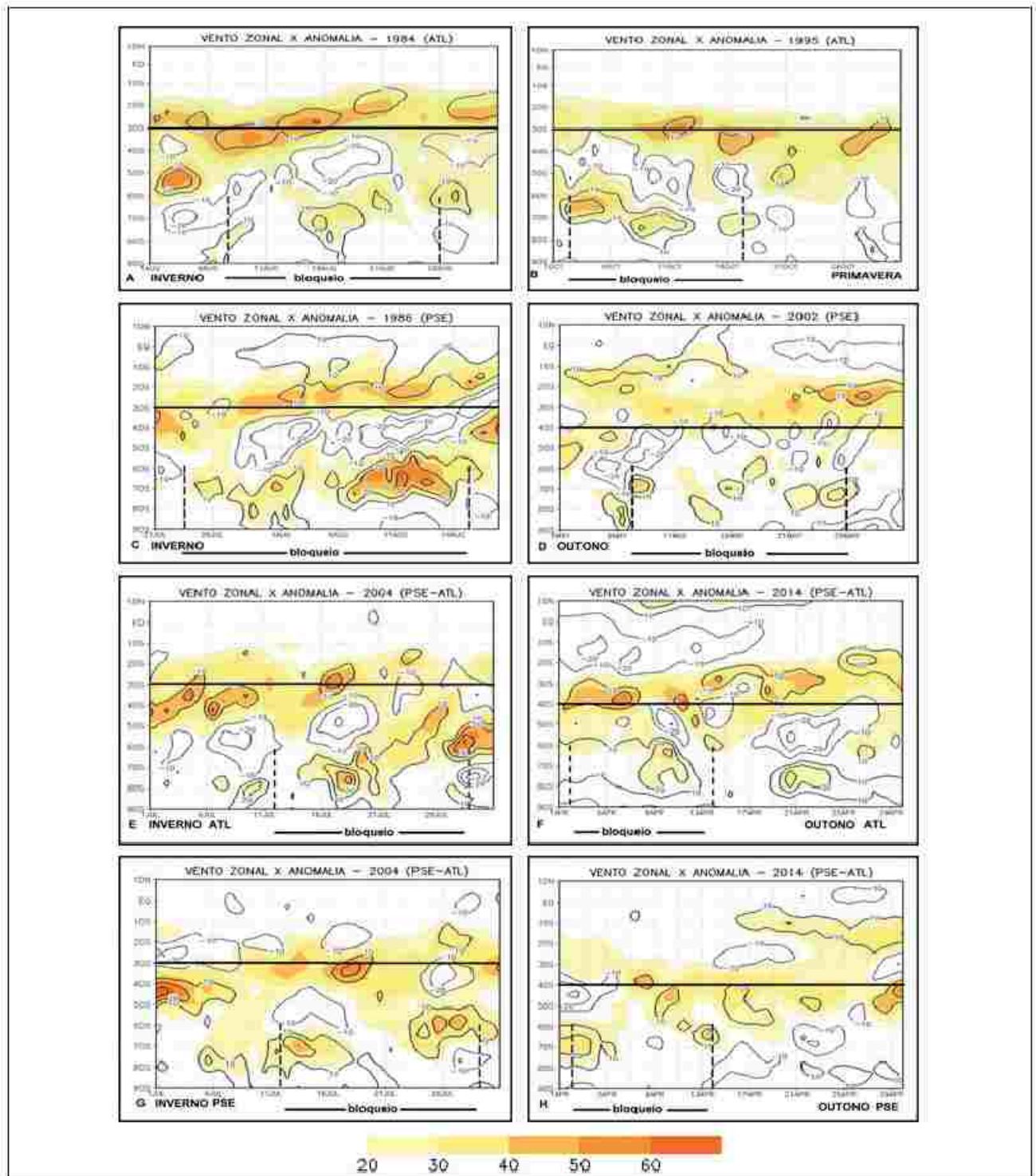


Figura 5. Seção latitude-tempo, em 200 hPa, da média zonal da componente zonal do vento (cores, $m s^{-1}$) e suas anomalias (isolinhas, $m s^{-1}$), para os bloqueios de A: 08 a 26 de agosto de 1984, B: 02 a 17 de outubro de 1995, C: 24 de julho a 17 de agosto de 1986, D: 07 a 26 de maio de 2002, E, F: 13 a 29 de julho de 2004 e G, H: 02 a 14 de abril de 2014. As seções são para as áreas PSE (A, B), ATL (C, D) e para os bloqueios simultâneos (E-H), com corte sobre o PSE (E, F) e corte sobre o ATL (G, H). A linha contínua preta paralela ao eixo do tempo assinala a posição climatológica do eixo da corrente de jato, enquanto que as linhas tracejadas, perpendiculares ao eixo do tempo, delimitam o período de duração de cada bloqueio. A escala de cores da componente zonal do vento é mostrada abaixo das seções.

em comparação com o bloqueio de 1984, concentrando-se entre 70°S e 80°S. Essas anomalias são consistentes com a localização da alta de bloqueio, que é representada por anomalias positivas da altura geopotencial em 500 hPa (Figura 2 B). Semelhante ao bloqueio de 1984, é evidente que a temperatura potencial equivalente aumenta em direção ao polo ao sul de 80°S, e em direção ao equador ao norte de 70°S, ocasionando a inversão do sentido do vetor gradiente da TPE (setas), que aponta das baixas para as altas temperaturas. As áreas com anomalias positivas da TPE, em torno de 60°S, são consistentes com as anomalias negativas da altura geopotencial em 500 hPa (Figura 2 B)

No bloqueio de 1986, as anomalias negativas da TPE no PSE se estendem entre 40°S e 60°S (Figura 6 C), enquanto que áreas com anomalias positivas da TPE são observadas ao sul de 70°S (entre 24 de julho e 6 de agosto). No decorrer do evento, as anomalias negativas da TPE, são substituídas por anomalias positivas a partir de 11 de agosto. As áreas com anomalias negativas (positivas) da TPE são consistentes com as anomalias positivas (negativas) da altura geopotencial em 500 hPa (Figura 2 C). Em 2002 (Figura 6 D), se observa o predomínio de áreas com anomalias negativas da TPE, à exceção dos cinco primeiros dias.

Semelhante ao ATL, sobre o PSE é possível verificar a inversão do gradiente meridional da TPE (Figura 6 C,D). Nos bloqueios simultâneos, sobre o setor do PSE (Figura 6 E,F), as configurações nas anomalias de TPE se assemelham àquelas observadas nos anos de 1986 e 2002, com predomínio de anomalias negativas, no período inicial dos eventos, e o predomínio de anomalias positivas do meio ao final do período de atividade dos bloqueios. Valores mais baixos da TPE são vistos ao sul da alta de bloqueio, com valores de 280K, enquanto que valores mais altos da TPE são observados na área onde a alta de bloqueio se localiza, com valores de 300K. Esse padrão implica que a componente meridional do vetor gradiente da TPE muda de direção, apontando de norte para sul (setas tracejadas).

Os padrões termodinâmicos também foram analisados a partir de campos da entropia em 850 hPa, para dias representativos da evolução dos bloqueios. Dois dias antes da formação ($t=t_0-2$) do bloqueio de 1984 (1995) sobre o ATL, se observa advecção positiva da entropia na região costeira su-

deste e extremo sul da América do Sul (Figura 7 A, E), o que favorece o aumento da temperatura potencial e temperatura potencial equivalente. O aumento da temperatura potencial em superfície, quando em fase com anomalia da vorticidade potencial (em módulo) em altos níveis, tende a intensificar e/ou amplificar os sistemas transientes (Martin, 2006). A presença de advecção positiva da entropia nas áreas em que há anomalias negativas da altura geopotencial em 500 hPa (Figura 2), são consistentes com os resultados encontrados por (Martin, 2006), que indicam a presença de sistemas transientes ou de uma região favorável para amplificação e intensificação desses sistemas. Em contrapartida, advecção negativa da entropia é observada na área da alta de bloqueio no dia da formação ($t=t_0$) (Figura 7 B,F). Essa advecção induz a diminuição da temperatura potencial equivalente, contribuindo assim, em parte, para a estabilidade da atmosfera nessa região. No final dos eventos ($t=t_f$), na região da alta de bloqueio, é possível notar uma mudança no padrão da advecção, já que há advecção positiva da entropia (Figura 7 C, G) induzida pela presença de sistemas transientes nessas latitudes. A sequência de áreas de advecção negativa e positiva da entropia sugere a presença de um trem de ondas dias após o final do bloqueio de 1984 ($t=t_f+2$) (Figura 7 D).

Diferentemente do que é visto para os bloqueios do ATL, há advecção negativa da entropia dois dias antes ($t=t_0-2$) da formação dos bloqueios sobre o PSE (Figura 7 I, M). Nos dias de formação dos eventos ($t=t_0$), as áreas com advecção negativa são mais extensas (Figura 7 J,N), mas apresentam menor extensão no final do bloqueio ($t=t_f$) e dias posteriores ($t=t_f+2$), dando lugar a incursão de entropia (advecção positiva da entropia) (Figura 7 K, L, O, P). As anomalias negativas da TPE, entre 60°S e 80°S (Figura 6 C,D), são consistentes com as áreas de advecção negativa da entropia. Por outro lado, os padrões de incursão de entropia (advecção positiva de entropia) e de saída de entropia (advecção negativa de entropia) não são bem definidos quando um bloqueio simultâneo se estabelece (Figura 7 Q-W). Salienta-se que a advecção negativa (positiva) da entropia indica o secamento (umedecimento) da camada atmosférica. Dessa forma, ocorre secamento da atmosfera no nível de 850 hPa, na região da alta de bloqueio, entre 60°S e 70°S, e umedecimento ao norte dessas latitudes. O secamento/umedecimento em baixos níveis favorece a estabilidade/instabilidade atmosférica.

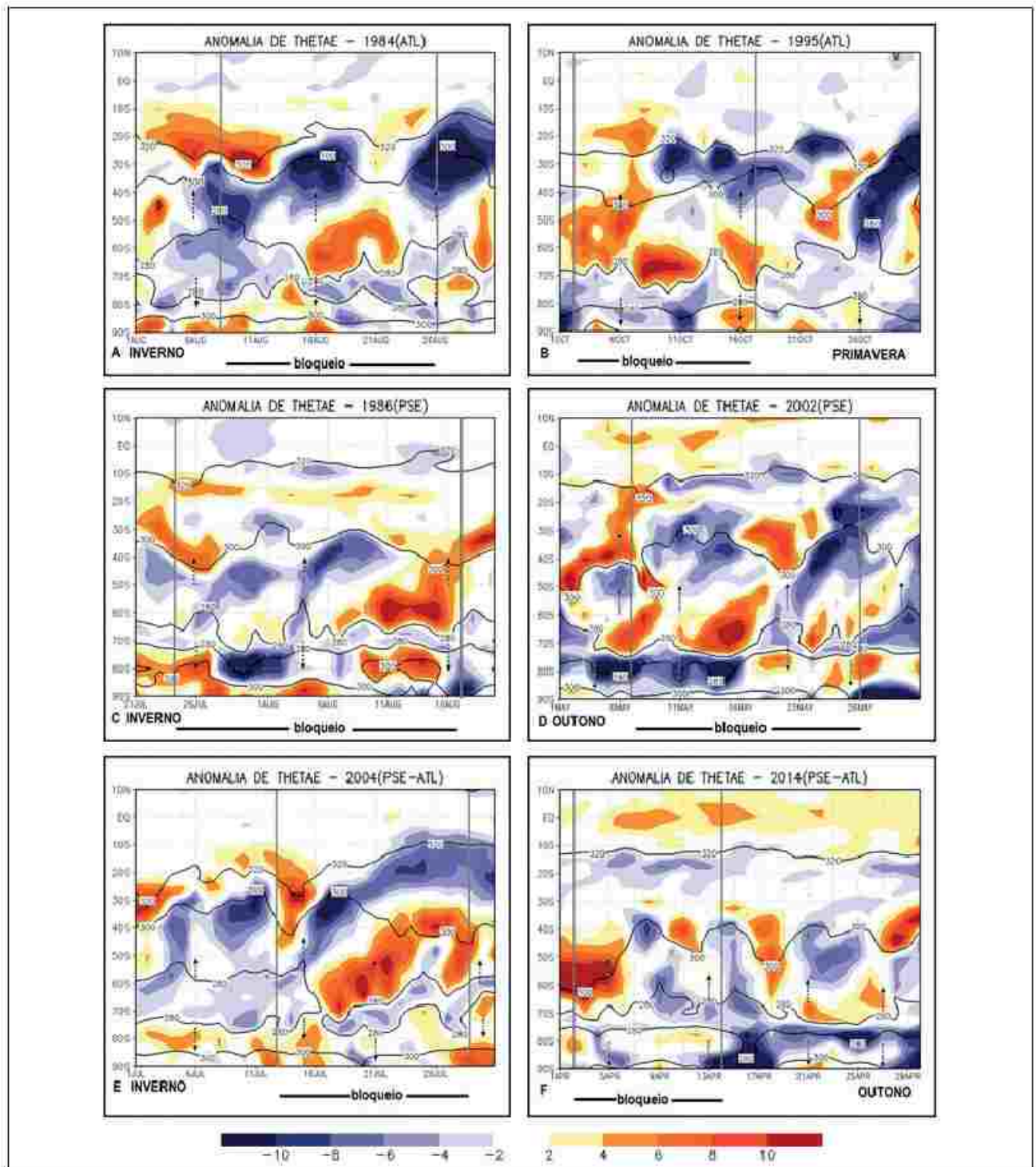


Figura 6 Seção latitude-tempo em 850 hPa da média zonal da temperatura potencial equivalente (isolinhas, K) e suas anomalias (cores, K), para os bloqueios de A. 08 a 26 de agosto de 1984; B. 02 a 17 de outubro de 1995; C. 24 de julho a 17 de agosto de 1986; D. 07 a 26 de maio de 2002; E. 13 a 29 de julho de 2004; F. 02 a 14 de abril de 2014. As seções são obtidos para os bloqueios no PSE (A,B), ATL (C,D), e no setor do ATL para os simultâneos PSE-ATL (E,F). As setas pontilhadas pretas ilustram a orientação do gradiente meridional de temperatura potencial equivalente, enquanto que as linhas contínuas perpendiculares ao eixo do tempo delimitam o período de duração do bloqueio. A escala de cores é mostrada abaixo das seções.

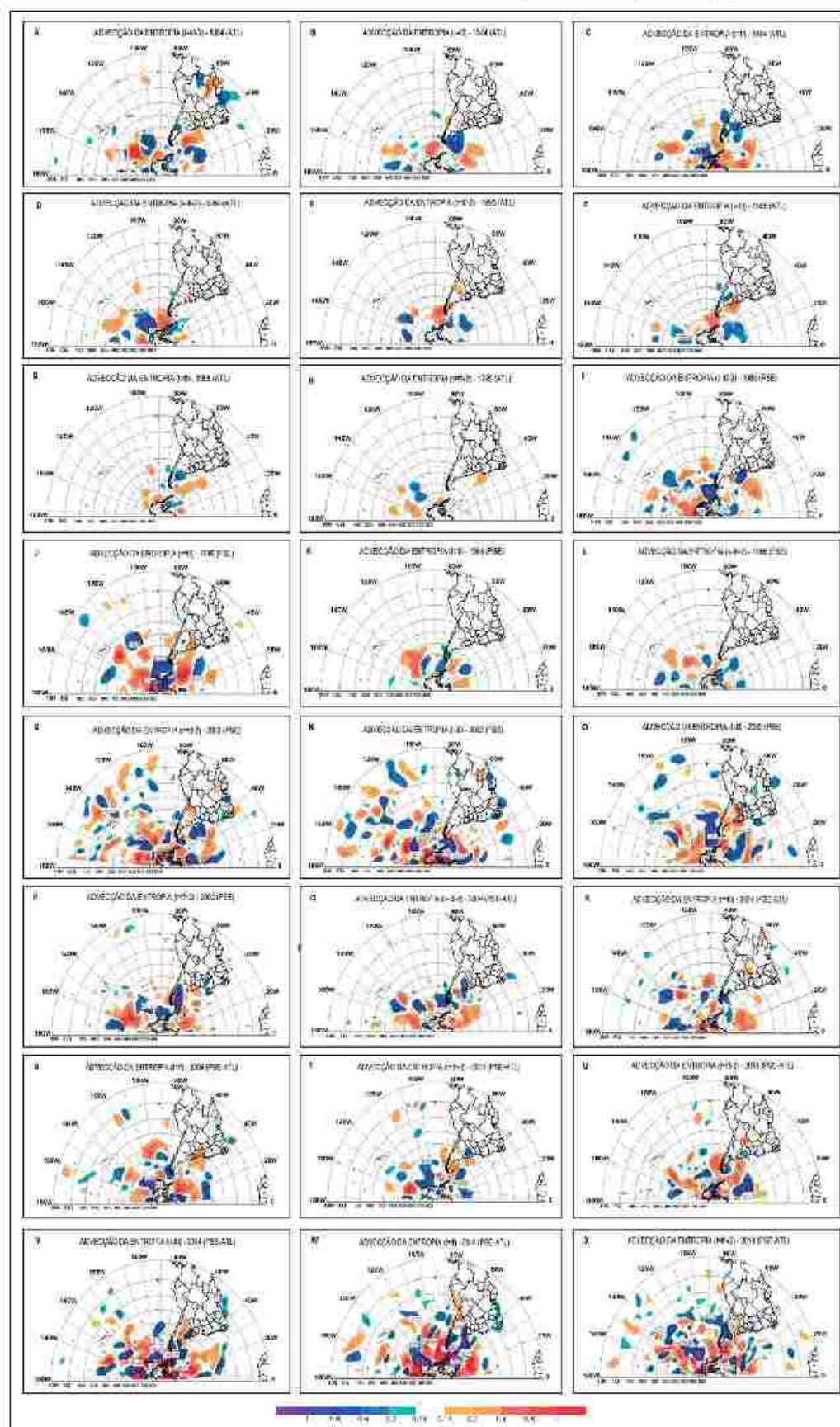


Figura 7 Campos da advecção da entropia em 850 hPa (cores e isolinhas, $10^2 \text{ J kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$), para a antevéspera do dia da formação ($t=t_0-2$), no dia da formação ($t=t_0$), no dia final ($t=t_f$) e dois dias após o final ($t=t_f+2$) dos bloqueios de (A-D) 03 a 26 de agosto de 1984, (E-H) 02 a 17 de outubro de 1995, (I-L) 24 de julho a 17 de agosto de 1986, (M-P) 07 a 26 de maio de 2002, (Q-T) 13 a 29 de julho de 2004, (U-X) 02 a 14 de abril de 2014. A escala de cores é mostrada abaixo dos campos.

6 Conclusão

Durante a atividade dos bloqueios de longa duração é possível notar a bifurcação do jato em dois ramos, o subpolar e o polar, propriamente dito. O vento zonal mais intenso é encontrado no ramo subpolar, no período de maior intensidade da alta de bloqueio. Na região da alta de bloqueio há predomínio de ventos mais fracos em toda a troposfera. Durante os bloqueios simultâneos de 2004 e 2014, o jato apresenta duas bifurcações: uma sobre o Oceano Pacífico Sudeste e outra sobre o Oceano Atlântico Sul. Valores negativos da vorticidade relativa são encontrados sobre a Argentina, Uruguai e parte da Região Sul, sugerindo a presença de depressões que se propagam ao longo do flanco norte da alta de bloqueio formada sobre o ATL. Em contrapartida, a atividade de bloqueio sobre o PSE favorece o decaimento dos sistemas transientes sobre a região central do continente, resultando em áreas de vorticidade relativa positiva.

No setor leste da alta de bloqueio e da área bloqueada, movimentos de sul se estendem por toda a troposfera, associados a movimentos descendentes, que favorecem na condição barotrópica equivalente do próprio bloqueio. Finalmente, os movimentos ascendentes a oeste da região bloqueada contribuem para a amplificação de sistemas de baixa pressão (frentes frias, ciclones, depressões), que se propagam na periferia da alta de bloqueio.

Finalmente, de forma geral, é observado na área dos bloqueios de longa duração, antes do dia da sua formação, advecção negativa da entropia na região do bloqueio, favorecendo a diminuição da temperatura potencial equivalente sobre essa área. A advecção negativa da entropia (saída de entropia) é condizente com a inversão ou o enfraquecimento do padrão climatológico do gradiente da temperatura potencial equivalente. A diminuição da entropia (advecção negativa) está associada à incursão da vorticidade potencial na região da alta de bloqueio, que favorece o transporte da vorticidade potencial tropical em direção ao polo, deslocando o ar quente para latitudes mais altas.

7 Agradecimentos

As autoras agradecem a Capes-PNPD pelo financiamento do projeto “Obtenção dos Bloqueios Atmosféricos no Pacífico e Atlântico Sul para a Era Holocênica”.

8 Referências

- Barnes, E., Slingo, J. & Woollings, T. 2012. A methodology for the comparison of blocking climatologies across indices, models and climate scenarios. *Climate Dynamics*, 38: 2467-2481.
- Barnes, E.A., Dunn-Sigoun, E., Masato, G. & Woollings, T. 2014. Exploring recent trends in Northern Hemisphere Blocking. *Geophysical Research Letters*, 47: 638-644.
- Berrisford, P., Hoskins, B.J. & Tyrllis, E. 2007. Blocking and Rossby wave breaking on the dynamical tropopause in the Southern Hemisphere. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 64: 2881-2898.
- Bolton, D. 1980. The computation of equivalent potential temperature. *Monthly Weather Review*, 108: 1046-1053.
- Casarin, D.P. 1983. *Um Estudo observacional sobre os sistemas de bloqueio no Hemisfério Sul*. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. INPE-2638-TDL/114, 69 p.
- Chen, Y., Chen, X.A., Chen, S.E. & Kuo, Y. 1996. A Numerical Study of the Low-level Jet during TAMEX IOP 5. *Monthly Weather Review*, 125: 2583-2604.
- Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, A.J., Berrisford, O., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M., Balsamo, G., Bauer, B., Bechtold, P., Beljaars, A., Van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A., Hamberger, L., Healy, S., Hersbach, H., Holm, E., Isaksen, I., Kallberg, P., Kohler, M., Matricardi, M., McNally, A., Monge-Sanz, B., Morcrette, J., Park, B., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thepaut, J. & Vitart, F. 2011. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137: 553-597.
- Dole, R.M. 1978. The objective representation of blocking patterns. In: *The general circulation: Theory, modelling and observations*. In: *Notes from a Colloquium*, Summer, NCAR/CQ-6+1978-ASP, 406-426 p.
- Dole, R.M. 1986a. Persistent anomalies of the extratropical Northern Hemisphere wintertime circulation: Structure. *Monthly Weather Review*, 114: 178-207.
- Dole, R.M. 1986b. The life cycles of persistent anomalies and blocking over the North Pacific. *Advance Geophysics*, 29: 31-69.
- Emanuel, K.A. 1989. The finite-amplitude nature of tropical cyclogenesis. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 46: 3431-3456.
- Gabriel, A. & Peters, D.A. 2008. Diagnostic study of different types of Rossby wave breaking events in the northern extratropics. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 86: 613-631.
- Knox, J. & Hay, J. 1985. Blocking signature in Northern Hemisphere. Rationale and identification. *Atmosphere-Ocean*, 22: 36-47.
- Marques, R.F.C. 1996. *Bloqueio Atmosférico no Hemisfério Sul*. São José dos Campos. Tese de Doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. INPE-6742-TDD/632, 183 p.
- Marques, R.F.C. & Rao, V.B.A. 1999. A diagnosis of a long-lasting blocking event over the Southeast Pacific Ocean. *Monthly Weather Review*, 127: 1761-1776.

- Marques, R.F.C. & Rao, V.B. 2000. Interannual variations of blocking in the Southern Hemisphere and their energetics. *Journal of Geophysical Research: Atmosphere*, 105: 4625-4636
- Martin, J.E. 2006. Mid-latitude atmospheric dynamics. A first Course. John Wiley & Sons, 336 p
- McIntyre, M.E. & Palmer, T.N. 1983. Breaking planetary waves in the stratosphere. *Nature*, 305: 593-600
- Mendes, M.C.D., Trigo, R.M., Cavalcanti, I.F.A. & Da Camara, C.C. 2005. Bloqueios atmosféricos de 1960 a 2000 sobre o Oceano Pacífico Sul: impactos climáticos e mecanismos físicos associados. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 20: 175-190
- Mendes, M.C.D. 2007. *Bloqueios Atmosféricos sobre o Hemisfério Sul: Diagnóstico, Impacto Climático e Mecanismos Físicos Associados*. Tese de Doutorado. Universidade de Lisboa. 250 p
- Mendes, M.C.D., Trigo, R.M., Cavalcanti, I.F.A. & Da Camara, C.C. 2008. Blocking episodes in the Southern Hemisphere: Impact on the climate of adjacent continental areas. *Pure and Applied Geophysics*, 165: 1941-1962
- Nakamura, H. & Wallace, J.M. 1990. Observed changes in baroclinic wave activity during the life cycles of low-frequency circulation anomalies. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 47: 1100-1116
- Nakamura, H., Nakamura, M. & Anderson, J.L.A. 1997. The role of high and low frequency dynamics in blocking formation. *Monthly Weather Review*, 125: 2074-2093
- Nascimento, E.L. & Ambrizzi, T. 2002. The influence of Atmospheric blocking on the Rossby Wave propagation in Southern Hemisphere winter flows. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 80: 139-159
- Pedroso, D. 2014. *Bloqueios atmosféricos e sistemas frontais sobre a América do Sul em cenários de clima futuro*. Dissertação de Mestrado em Geociências. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 93 p
- Pelly, J. & Hoskins, B.J. 2003. A new perspective on blocking. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 60: 743-755
- Pezza, A.B., Simmonds, I. & Pereira, F.A.J. 2009. Climate perspective on the large-scale circulation associated with the transition of the first South Atlantic hurricane. *International Journal of Climatology*, 29: 1116-1130
- Postel, G.A. & Hitchman, M.H. 1999. A climatology of Rossby wave breaking along the subtropical tropopause. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 56: 359-373
- Renwick, J.A. & Revelle, M.J. 1999. Blocking over the South Pacific and Rossby wave propagation. *Monthly Weather Review*, 127: 2233-2247
- Rex, D.F. 1950a. Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional climate, Part I: An aerological study of blocking action. *Tellus*, 2: 196-211
- Rex, D.F. 1950b. Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional climate, Part II: The climatology of blocking action. *Tellus*, 2: 275-301
- Shukla, J. & Mo, K. 1983. Seasonal and geographical variation of blocking. *Monthly Weather Review*, 111: 388-402
- Simmons, A.J., Wallace, J.M. & Branstator, G.W. 1983. Barotropic wave propagation and instability, and atmospheric teleconnection patterns. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 40: 1363-1392
- Sinclair, M.R.A. 1996. Climatology of anticyclones and blocking for the Southern Hemisphere. *Monthly Weather Review*, 24: 245-263
- Trenberth, K.E. 1986a. The signature of a blocking episode on the general circulation in the Southern Hemisphere. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 43: 2061-2069
- Trenberth, K.E. 1986b. An assessment of the impact of transient eddies on the zonal flow during a blocking episode using localized Eliassen-Palm flux diagnostics. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 43: 2070-2087
- Trenberth, K.E. & Mo, K.C. 1985. Blocking in the Southern Hemisphere. *Monthly Weather Review*, 113: 3-21
- Trenberth, K.E. 1991. Storm tracks in the Southern Hemisphere. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 48: 2159-2178
- Van Loon, H. 1956. Blocking action in the Southern Hemisphere. Part I. *Notas*, 5(03): 489-502
- Wiedemann, J.M., Lupo, A.R., Mokhov, I.I. & Tikhonova, E. 2002. The climatology of blocking anticyclones for the Northern and Southern Hemisphere block intensity as a diagnostic. *Journal of Climate*, 15: 3459-3473
- Yuan, X.J. 2004. ENSO-related impacts on Antarctic sea ice: a synthesis of phenomenon and mechanisms. *Antarctic Science*, 16: 415-425