



Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza
Instituto de Geociências
Departamento de Meteorologia

BLOQUEIOS ATMOSFÉRICOS NO HEMISFÉRIO SUL

Nathália Silva de Oliveira

Orientadora: D.sc. Claudine Pereira Dereczynski

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção de grau de Bacharel em Meteorologia.

Rio de Janeiro, RJ

Fevereiro, 2011

BLOQUEIOS ATMOSFÉRICOS NO HEMISFÉRIO SUL

Nathália Silva de Oliveira

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção de grau de Bacharel em Meteorologia.

Aprovada por:

Prof. ^a D.Sc. Claudine Pereira Dereczynski

Prof. ^o D.Sc. Edilson Marton

Prof. ^a D.Sc. Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva

Rio de Janeiro, RJ

Fevereiro, 2011

BLOQUEIOS ATMOSFÉRICOS NO HEMISFÉRIO SUL

OLIVEIRA, NATHÁLIA SILVA DE

Bloqueios Atmosféricos no
Hemisfério Sul [Rio de Janeiro] 2011

XII, 66 p. 29,7 cm (UFRJ, 2011)

Monografia - Universidade Federal
do Rio de Janeiro, Departamento de
Meteorologia

1. Bloqueio Atmosférico
2. Bloqueio Subtropical
3. Bloqueio Simultâneo

“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim.”

- Chico Xavier -

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela vida que me é concedida. Sou grata aos momentos de felicidade e dificuldades que me foram impostos, pois sem eles não haveria crescimento. Obrigada Senhor por Seu amparo durante toda minha existência.

A toda minha família pelo amor, carinho, incentivo e palavras de encorajamento que não permitiram que eu desistisse. Agradeço, especialmente, a minha mãe, Maria Dalva, pela magnífica ajuda em minha formação pessoal e pelo apoio e compreensão às minhas escolhas. A minha irmã Eliane, meu cunhado Antônio Carlos e as minhas amadas sobrinhas, Natasha e Stephanie, por estarem sempre presentes.

Ao meu namorado Rodrigo, que tanto amo e admiro, por toda sua paciência e carinho. Por dividir comigo tanto os bons quanto os maus momentos e ser sempre meu porto seguro. Muito obrigada por me fazer feliz!

A minha orientadora Claudine, por me ajudar a tornar esta monografia possível e por sua dedicação e conselhos em tantos momentos da graduação.

Agradeço a todos os professores do Departamento de Meteorologia da UFRJ por contribuírem para minha formação.

Aos meus amigos de graduação que tornaram essa etapa da minha vida muito mais alegre e divertida: Jessica, Marcos, Robalinho, Juliana, Bárbara e Eliana. Conhecer vocês foi um grande presente, Obrigada por tudo. E aos meus amigos do CEFET/RJ: Marcelle, Thaís, Danielle, Pedrão e Renato, vocês são a prova de que a amizade verdadeira continua.

Quero agradecer ainda a todos os que fazem parte, de algum modo, da minha vida. Suas torcidas foram fundamentais ao meu sucesso.

RESUMO

BLOQUEIOS ATMOSFÉRICOS NO HEMISFÉRIO SUL

Nathália Silva de Oliveira

Fevereiro/2011

Este trabalho consiste em uma revisão bibliográfica sobre eventos de Bloqueio Atmosférico. Além disso, elabora-se um estudo de caso de Bloqueio no HS ocorrido no período de 28/01 a 08/02/2010. O objetivo é ampliar o conhecimento sobre este tipo de fenômeno, principalmente com relação às metodologias existentes para sua detecção, visando futuramente a melhoria de sua previsibilidade. Para desenvolver o estudo de caso foram utilizados dados das Reanálises do ERA-INTERIM e do NCEP/NCAR e as metodologias de Rex (1950 a, b) e de Tibaldi *et al.* (1994), a fim de definir se os anticiclones configurados no período em estudo poderiam ser considerados como altas de bloqueio. Os resultados mostraram que dos quatro sistemas anticiclônicos estabelecidos no período, Altas do Índico (AI), do Pacífico Oeste (APO), do Pacífico Leste (APL) e do Atlântico (AA), apenas a APO e APL foram consideradas como altas de bloqueio. Estes dois sistemas ocorreram simultaneamente, sendo que a APO configurou-se em latitudes típicas de ocorrência de Bloqueios Atmosféricos (aproximadamente 50°S) e a APL em latitudes subtropicais, verificando-se inclusive troca de massa inter-hemisférica neste caso. Foi observado que a utilização dos critérios objetivos para identificação de Bloqueios, como o definido por Tibaldi *et al.* (1994), que são fortemente dependentes da localização latitudinal das altas de bloqueio, devem ser utilizados em associação com critérios subjetivos, onde se avalia a subdivisão do escoamento de oeste e a presença do duplo jato. Além disso, o método objetivo deve ser adaptado para latitudes subtropicais a fim de detectar os bloqueios atmosféricos nessas latitudes.

ABSTRACT

SOUTHERN HEMISPHERE ATMOSPHERIC BLOCKING

In this work a bibliographic review of Blocking over the Southern Hemisphere (SH) is elaborated.. Besides, a case study of SH Blocking occurred in the period from January 28th to February 08th, 2010 is analyzed. The objective of this work is to improve our knowledge about this kind of phenomenon, mainly in relation to it's predictability. The datasets used here were the NCEP/NCAR and ERA-INTERIM gridded reanalyses and also the methodologies described in Rex (1950 a, b) and in Tibaldi *et al.* (1994). The results showed that two of of the four Anticyclones established in the period, i.e., Indian High (IH), West Pacific High (WPH), East Pacific High (EPH) and Atlantic High (AH), just WPH and EPH were considered as Blocking Anticyclones. These two systems occurred simultaneously. The WPH was configured in latitudes where the blocking systems are normally found (about 50°S) and the EPH was formed in subtropical latitudes, and it was also observed interhemispheric mass exchange. It was noted that the use of objective criteria to identify Blocking, as defined by Tibaldi *et al.* (1994), that are dependent on latitudinal position of the Anticyclones Blocking, must be used in association with subjective criteria, checking if the basic westerly current is split into two branches and also the presence of the Double-Jet. Moreover the objective method must be adapted to subtropical latitudes to detect Atmospheric Blockings in these latitudes.

ÍNDICE TEMÁTICO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1– Definição e critérios de identificação de Bloqueio Atmosférico.....	3
2.2 – Tipos de Bloqueio Atmosférico.....	12
2.3 – Condições de tempo associadas a eventos de Bloqueio.....	13
2.4 – Causa e Manutenção de Bloqueios.....	15
2.5 – Climatologia de Bloqueios Atmosféricos.....	16
2.5.1 – Localização preferencial de Bloqueios.....	16
2.5.2 – Persistência e intensidade de eventos de Bloqueio.....	19
2.5.3 – Variabilidade sazonal.....	20
2.5.4 – Variabilidade interanual.....	21
3. METODOLOGIA E DADOS.....	23
3.1 – Descrição dos dados.....	23
3.2 – Metodologia.....	24
4. RESULTADOS.....	27
4.1 – Análise subjetiva do evento de Bloqueio.....	28
4.2 – Análise objetiva do evento de Bloqueio.....	54
5. CONCLUSÕES.....	60
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1:	Carta do escoamento em 250 hPa, no dia 21/05/1979 às 12 Z. Figura adaptada. Fonte: Casarin (1982).....	4
Figura 2.2:	Três tipos padrões de Bloqueio no Hemisfério Sul: a) Bloqueio do tipo dipolo, b) Bloqueio do tipo Omega invertido e c) Bloqueio formado por uma crista de grande amplitude. Fonte: Adaptada de Bluestein (1993), para o Hemisfério Sul, por Marques (1996).....	13
Figura 4.1:	Campo médio de pressão ao nível médio do mar (hPa) para o verão (dez/jan/fev) para o período de 1961-1990. Fonte: http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl	27
Figura 4.2:	Campo de altura geopotencial (a cada 20 mgp) em 850 hPa, às 00 Z: (a) campo médio entre 28/01/2010 e 08/02/2010, (b) 28/01/2010, (c) 29/01/2010, (d) 30/01/2010, (e) 31/01/2010, (f) 01/02/2010, (g) 02/02/2010, (h) 03/02/2010, (i) 04/02/2010, (j) 05/02/2010, (l) 06/02/2010, (m) 07/02/2010, (n) 08/02/2010.....	28
Figura 4.3:	Campo médio da anomalia de altura geopotencial (mgp) em 850 hPa. Composição para o período de 28/01/2010 a 08/02/2010. Fonte: http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/	33
Figura 4.4:	Campo de altura geopotencial (a cada 50 mgp) em 500 hPa, às 00 Z: (a) campo médio entre 28/01/2010 e 08/02/2010, (b) 28/01/2010, (c) 29/01/2010, (d) 30/01/2010, (e) 31/01/2010, (f) 01/02/2010, (g) 02/02/2010, (h) 03/02/2010, (i) 04/02/2010, (j) 05/02/2010, (l) 06/02/2010, (m) 07/02/2010, (n) 08/02/2010.....	33

Figura 4.5:	Campo médio da anomalia de altura geopotencial (m _g p) em 500 hPa. Composição para o período de 28/01/2010 a 08/02/2010. Fonte: http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/	37
Figura 4.6:	Campo de altura geopotencial (a cada 50 m _g p) em 200 hPa, às 00 Z: (a) campo médio entre 28/01/2010 e 08/02/2010, (b) 28/01/2010, (c) 29/01/2010, (d) 30/01/2010, (e) 31/01/2010, (f) 01/02/2010, (g) 02/02/2010, (h) 03/02/2010, (i) 04/02/2010, (j) 05/02/2010, (l) 06/02/2010, (m) 07/02/2010, (n) 08/02/2010.....	38
Figura 4.7:	Campo médio da anomalia de altura geopotencial (m _g p) em 200 hPa. Composição para o período de 28/01/2010 a 08/02/2010. Fonte: http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/	42
Figura 4.8:	Campo de linhas de corrente e magnitude do vento (sombreado, em m/s) ao nível de 500 hPa, às 00 Z, para os dias: (a) 28/01/2010, (b) 29/01/2010, (c) 30/01/2010, (d) 31/01/2010, (e) 01/02/2010, (f) 02/02/2010, (g) 03/02/2010, (h) 04/02/2010, (i) 05/02/2010, (j) 06/02/2010, (l) 07/02/2010, (m) 08/02/2010.....	43
Figura 4.9:	Campo médio da anomalia do vento zonal (m/s) em 500 hPa. Composição para o período de 28/01/2010 a 08/02/2010. Fonte: http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/	47
Figura 4.10:	Campo de linhas de corrente e magnitude do vento (sombreado, em m/s) em 200 hPa, às 00 Z, para os dias: (a) 28/01/2010, (b) 29/01/2010, (c) 30/01/2010, (d) 31/01/2010, (e) 01/02/2010, (f) 02/02/2010, (g) 03/02/2010, (h) 04/02/2010, (i) 05/02/2010, (j) 06/02/2010, (l) 07/02/2010, (m) 08/02/2010.....	48

Figura 4.11:	Campo médio da anomalia do vento zonal (m/s) em 200 hPa. Composição para o período de 28/01/2010 a 08/02/2010. Fonte: http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/	52
Figura 4.12:	Campo médio da anomalia de temperatura do ar (°C) em 1000 hPa. Composição para o período de 28/01/2010 a 08/02/2010. Fonte: http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/	53
Figura 4.13:	Campo de altura geopotencial (a cada 100 mgp) para 00 Z de 01/02/2010: sombreado em 200 hPa; com linhas vermelhas em 500 hPa e com linhas pretas em 850 hPa, demarcando as posições dos centros das altas em 500 e 850 hPa, respectivamente.....	54
Figura 4.14:	Diagrama Hovmöller (longitude-tempo) do cálculo de GHGN (mgp/grau de latitude), entre os dias 28/01/2010 e 08/02/2010. Em sombreado colorido estão os resultados para GHGN centrado em 50°S e as linhas pretas representam os resultados para GHGN centrado em 35°S, para: (a) Delta=0, (b) Delta=+3,0 e (c) Delta=-3,0.....	56
Figura 4.15:	Diagrama Hovmöller (longitude-tempo) do cálculo de GHGS (mgp/grau de latitude), entre os dias 28/10/2010 e 08/02/2010. Em sombreado colorido estão os resultados para GHGS centrado em 50°S e as linhas pretas representam os resultados para GHGS centrado em 35°S, para: (a) Delta=0, (b) Delta=+3,0 e (c) Delta=-3,0.....	58

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela1:	Resumo das regiões preferenciais para a formação de bloqueios	19
-----------------	---	-----------

ÍNDICE DE SIGLAS

AA	Alta do Atlântico
AI	Alta do Índico
APL	Alta do Pacífico Leste
APO	Alta do Pacífico Oeste
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
ASI	Alta Subtropical do Índico
ASPS	Alta Subtropical do Pacífico Sul
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
GrADS	Grid Analysis and Display System
HN	Hemisfério Norte
HS	Hemisfério Sul
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
PNT	Previsão Numérica de Tempo
SE:	Sudeste
SW:	Sudoeste
VCN:	Vórtice Ciclônico do Nordeste

1. INTRODUÇÃO

Bloqueios atmosféricos são caracterizados pela permanência de um anticiclone quase-estacionário de grande amplitude, que causa obstrução à passagem de sistemas transientes de oeste, em latitudes médias. Estes sistemas mudam o padrão médio zonal dessas latitudes para um escoamento com característica mais meridional (Sanders, 1953).

Consequentemente, tais eventos podem alterar as condições normais de tempo, tanto na região onde está localizado o anticiclone de bloqueio quanto em regiões adjacentes. Dessa forma, diversos estudos têm sido feitos com o intuito de conhecer sua dinâmica e avaliar os impactos causados por episódios de bloqueio. No Hemisfério Sul (HS) destacam-se os trabalhos de Casarin (1982), Marques e Rao (1999 e 2000), Kayano (1999), Damião *et al.* (2005, 2008 e 2009), entre outros.

Assim, o conhecimento da situação de bloqueio, para os meteorologistas, é de fundamental importância, pois permite melhorar a qualidade da previsão desses sistemas. Apesar do grande avanço obtido com os modelos de Previsão Numérica de Tempo (PNT), a previsibilidade dos bloqueios atmosféricos ainda é afetada devido à incapacidade de tais modelos em prever o início e o fim desses sistemas. (Damião *et al.*, 2009).

O bloqueio atmosférico tem um papel significativo na variabilidade atmosférica de baixa frequência (períodos maiores que uma semana). Assim, a compreensão dos mecanismos que o originam e mantém é fundamental para o sucesso das previsões de curto, médio e longo prazo. (Marques, 1996).

As altas de bloqueio geralmente se formam em latitudes médias e altas, entre 45° e 60° de latitude. No entanto, há registros da presença de bloqueios em latitudes subtropicais, como em Casarin (1982). Isto nos leva a crer que os índices objetivos para detecção de bloqueios desconsideram este tipo anômalo do fenômeno, uma vez que eles foram desenvolvidos para latitudes médias e altas.

Neste trabalho é feita uma revisão da literatura sobre bloqueios Atmosféricos, com suas definições mais aceitas, características, tipos, teorias de causa e manutenção do fenômeno, climatologia e seus efeitos no tempo e clima. Além disso, elabora-se um estudo de caso de bloqueio atmosférico ocorrido no HS entre 28 de janeiro e 08 de fevereiro de 2010. O objetivo é ampliar o conhecimento sobre bloqueio atmosférico, principalmente no que diz respeito a sua identificação, de forma a contribuir para a melhoria de sua previsibilidade.

No Capítulo 2 é apresentada uma revisão da literatura que trata sobre os temas pertinentes aos sistemas de bloqueio. A metodologia e dados utilizados para desenvolver o estudo de caso são abordados no Capítulo 3. Os resultados obtidos são expostos, analisados e discutidos no Capítulo 4. No Capítulo 5 estão as conclusões, bem como sugestões para estudos futuros, e no Capítulo 6 encontram-se as referências bibliográficas deste trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresenta-se uma revisão da literatura sobre o fenômeno bloqueio atmosférico. Como o número de estudos realizados para o Hemisfério Sul é bastante inferior ao número de estudos feitos para o Hemisfério Norte (HN), serão considerados trabalhos para ambos os hemisférios.

O primeiro pesquisador a observar e relatar a existência de um anticiclone quase-estacionário de grande amplitude foi Garriot (1904) *apud* Rex (1950a; 1950b). Em seguida, nas décadas de 1940 e 1950, iniciaram-se os primeiros estudos sobre bloqueios atmosféricos para o HN (Rex, 1950a, b; Elliot e Smith, 1949; Sanders, 1953) e HS (van Loon, 1956).

Segundo Lejenas (1984), o primeiro estudo importante sobre bloqueio, no HS, foi feito por van Loon (1956).

2.1 Definição e Critérios de Identificação de Bloqueio Atmosférico

Até a atualidade, não existe uma definição global de bloqueio atmosférico. As características adotadas para definir esse fenômeno variam de autor para autor, principalmente no que diz respeito à duração desses eventos, o que dificulta a comparação entre os trabalhos já realizados.

Em latitudes médias, a circulação atmosférica é caracterizada, predominantemente, por um escoamento zonal, onde há um deslocamento para leste de sistemas transientes de tempo, como sistemas frontais, ciclones e anticiclones.

Elliott e Smith (1949) definem o termo “Ação de Bloqueio” como sendo um estado da circulação no qual o escoamento zonal médio é interrompido, em um ou mais setores, por um forte e persistente escoamento do tipo meridional. Sinoticamente, essa condição é marcada pelo desenvolvimento de um sistema de alta pressão persistente, em latitudes altas, de maneira a obstruir a passagem normal, para leste, de ciclones e anticiclones migratórios.

Sanders (1953) observou que o deslocamento dos anticiclones de bloqueio é relativamente lento de um dia para o outro e, uma vez que a alta de bloqueio tenha sido estabelecida, ela persiste por vários dias. Treidl *et al.* (1981) confirmaram o movimento lento das altas de bloqueio.

Lejenas (1984) ao investigar episódios individuais de bloqueio, no HS, notou que a maioria deles desloca-se para leste. No entanto, quanto mais duradouro, maior é a probabilidade dele se mover para oeste.

Apesar da variedade de critérios usados para definir eventos de bloqueio, existe uma característica comum a praticamente todos eles que é a divisão do escoamento de oeste em dois ramos, sendo um ramo para norte e outro para sul, em níveis médios e altos da atmosfera (Fig. 2.1).

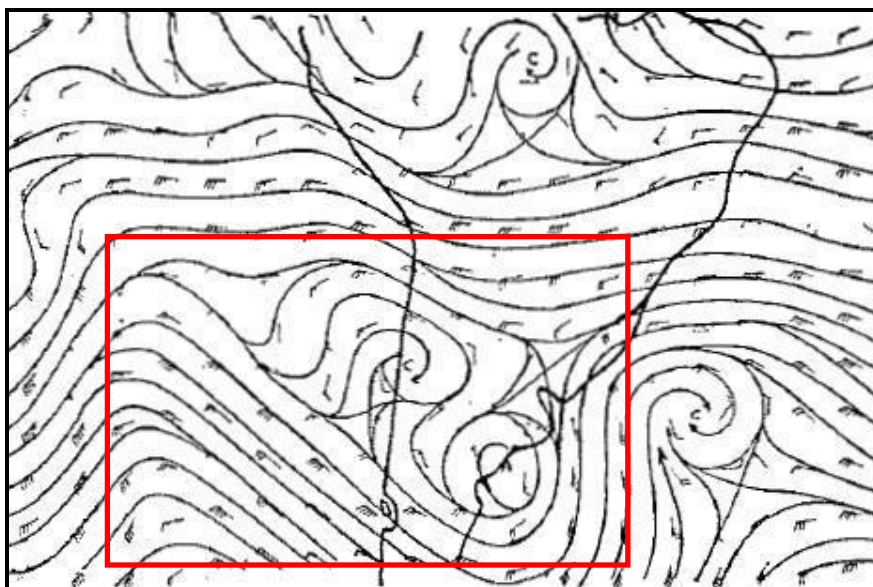


Figura 2.1 - Carta do escoamento em 250 hPa, no dia 21/05/1979 às 12 Z. Figura adaptada (Fonte: Casarin, 1982).

Os sistemas de bloqueio, normalmente, se formam em latitudes mais elevadas que as altas subtropicais e geralmente são acompanhados de baixas frias desprendidas (Sanders 1953).

No entanto, Casarin (1982) estudou um evento de bloqueio cuja divisão do escoamento de oeste, em 500 hPa, localizava-se em latitudes subtropicais. Durante determinado período do caso, o ramo norte da bifurcação atingiu o HN tendo como

consequência uma troca considerável de massa entre os dois hemisférios. Segundo Casarin (1982), este é um tipo de bloqueio pouco conhecido.

Há algumas diferenças principais entre altas de bloqueio e altas subtropicais que foram citadas por Treidl *et al.* (1981).

- Altas subtropicais são formadas por ar tropical em todos os níveis da atmosfera, enquanto que as altas de bloqueio são formadas por diferentes massas de ar;
- Ao contrário das altas de bloqueio, as altas subtropicais normalmente não impedem o progresso de distúrbios contidos no escoamento de oeste;
- Altas subtropicais estão, por definição, localizadas ao sul (norte) de todos os sistemas frontais do HN (HS), enquanto que altas de bloqueio, geralmente, apresentam superfícies frontais ao norte e sul de seus centros.

Ambrizzi *et al.* (2009), numa revisão sobre bloqueios atmosféricos, ressaltou a diferença entre os termos “escoamento bloqueado” e “bloqueio”; onde o primeiro está associado a um padrão de circulação que caracteriza a obstrução (por um anticiclone) do escoamento de oeste em latitudes médias, o segundo denomina um padrão de escoamento que, além de satisfazer os critérios do “escoamento bloqueado”, apresenta também caráter persistente.

De acordo com Lejenas e Okland (1983), a melhor definição subjetiva para identificação de bloqueios é a de Rex (1950 a, b), que por sua vez possui as seguintes características, em 500 hPa:

- 1) A corrente zonal básica de oeste deve se dividir em dois ramos;
- 2) Cada ramo deve transportar uma quantidade significativa de massa;
- 3) O sistema de jato duplo deve se estender sobre uma faixa de longitude de no mínimo 45°;

- 4) Deve ser observada uma transição do escoamento zonal para o escoamento meridional, na região da bifurcação;
- 5) O padrão deverá persistir, com continuidade reconhecível, por pelo menos 10 dias.

Segundo Rex (1950 a, b) o bloqueio tem início quando “1” ocorre e dissipa quando “1”, “2”, “3” ou “4” não for mais satisfeito.

Treidl *et al.* (1981) adotaram os seguintes critérios subjetivos para identificar bloqueios, no HN:

- 1) Isopletas fechadas devem aparecer, simultaneamente, nas cartas de superfície e de 500 hPa e a divisão do escoamento de oeste em dois ramos, corrente acima dessas isopletas, deve ser observada;
- 2) O cinturão de latitude onde a alta ocorre se estende para norte de 30°N;
- 3) A duração mínima da alta deve ser de 5 dias;

Liu (1994) afirma que muitos autores utilizam o campo de anomalia de altura geopotencial para identificar bloqueios, porém poucos analisam este campo em conjunto com o campo médio de altura geopotencial. Segundo o autor, esta comparação é extremamente importante, pois uma grande anomalia positiva de altura geopotencial não significa, necessariamente, a existência de uma alta de bloqueio. Ao investigar a relação entre a localização geográfica das grandes anomalias positivas de altura geopotencial, centradas em várias latitudes do HN, e o padrão de bloqueio subjetivamente definido por Rex (1950 a, b), constatou que também deve-se levar em consideração a posição latitudinal da anomalia e que grandes anomalias positivas de altura geopotencial centradas em 45°N não estão relacionadas com bloqueios.

Hartmann e Ghan (1980) utilizaram um método objetivo, para o HN, para separar cristas de bloqueio de cristas transientes, que consiste das seguintes características:

1) As anomalias de altura geopotencial em 500 hPa deveriam ser $\geq +250$ mgp no Oceano Pacífico ou $\geq +220$ mgp no Atlântico;

2) Essas anomalias deveriam persistir por, no mínimo, 6 dias.

Shukla e Mo (1983) identificaram, objetivamente, os sistemas de bloqueio no HN da seguinte maneira:

1) As anomalias de altura geopotencial em 500 hPa deveriam ser $\geq +200$ mgp para o inverno, $\geq +150$ mgp durante outono e primavera e $\geq +100$ mgp durante o verão;

2) A anomalia de altura geopotencial deveria permanecer por, no mínimo, 7 dias.

Lejenas e Okland (1983) utilizaram o mesmo critério subjetivo de Rex (1950 a, b) para diagnosticar os episódios de bloqueio no HN e, em seguida, definiram um índice objetivo de identificação dos mesmos. Este índice consiste na diferença de altura geopotencial, em 500 hPa, entre 40°N e 60°N e foi calculado a cada 10° de longitude. Quando ocorre bloqueio em uma região, o índice é negativo naquela região.

$$I(\lambda) = Z_{40^{\circ}\text{N}}(\lambda) - Z_{60^{\circ}\text{N}}(\lambda) \quad (1)$$

$$I(\lambda) < 0 \quad (1a)$$

Onde $I(\lambda)$ é o índice na longitude λ , e Z é a altura geopotencial em 500 hPa, também na longitude λ .

Ao observarem que muitos valores negativos isolados não representavam escoamento bloqueado, Lejenas e Okland (1983) incluíram a seguinte condição para identificar os fenômenos de bloqueio, que leva em consideração a longitude:

$$[I(\lambda - 10^{\circ}) + I(\lambda) + I(\lambda + 10^{\circ})]/3 < 0 \quad (1b)$$

O uso deste tipo de índice implica em latitudes muito específicas para o diagnóstico e o acompanhamento de cristas e anticiclones de bloqueio (Lejenas, 1984).

Lupo e Smith (1995 a) utilizaram os seguintes critérios para definir eventos de bloqueio, para o HN:

- 1) O critério de Rex (1950 a, b) deve ser satisfeito para o escoamento anticiclônico em 500 hPa, com exceção da duração mínima, que deve ser de 5 dias (como em Treidl *et al.*, 1981) e a região de jato duplo (que no critério 3 de Rex (1950 a, b) estabelece que se estenda sobre uma longitude mínima de 45°) deve se estender sobre uma faixa de no mínimo 30° de longitude;
- 2) O índice de Lejenas e Okland (1983) deve apresentar valores negativos ou levemente positivos no diagrama Hovmöller (diagrama longitude-tempo);
- 3) As condições 1 e 2 devem ocorrer, ao mesmo tempo, 24 horas antes do início do bloqueio e 24 horas após o fim do evento;
- 4) O anticiclone deve estar ao norte de 35°N e possuir uma amplitude maior ou igual a 5° de latitude;
- 5) O início é definido quando um anticiclone atende aos critérios “4” e também “1” ou “2”;
- 6) O fim do evento é definido quando o bloqueio não atender aos critérios “4” e também “1” ou “2”, por 24 horas.

Para estudar os eventos de bloqueio compreendidos entre 1980 e 1987, durante os invernos, Tibaldi e Molteni (1990) fizeram uma pequena modificação no índice zonal de Lejenas e Okland (1983). O índice objetivo adaptado consiste em calcular o gradiente de altura geopotencial em 500 hPa, em pontos de grade e a cada 4° de latitude e longitude, de maneira a cobrir todo o HN.

$$GHGS = \frac{Z(\varnothing_0) - Z(\varnothing_S)}{(\varnothing_0 - \varnothing_S)} \quad (2)$$

$$GHGN = \frac{Z(\varnothing_N) - Z(\varnothing_0)}{(\varnothing_N - \varnothing_0)} \quad (3)$$

Onde:

$$\varnothing_N = 80^\circ\text{N} + \Delta$$

$$\varnothing_0 = 60^\circ\text{N} + \Delta$$

$$\varnothing_S = 40^\circ\text{N} + \Delta$$

$$\Delta = -4^\circ, 0^\circ \text{ ou } 4^\circ$$

Uma longitude é então definida como “bloqueada” em um instante específico se as seguintes condições forem satisfeitas para, no mínimo, um valor de Δ :

$$GHGS > 0 \quad (4)$$

$$GHGN < -10 \text{ mgp/grau de latitude} \quad (5)$$

Tibaldi e Molteni (1990) optaram por restringir o índice LO de Lejenas e Okland (1983), pois observaram que a adição da condição “5” eliminava, satisfatoriamente, situações que sinoticamente não seriam reconhecidas como bloqueio.

Para o HS, Casarin (1982) ao estudar os eventos de bloqueio compreendidos entre janeiro de 1975 e dezembro de 1979 utilizou os seguintes critérios para identificação destes sistemas:

- 1) O escoamento médio deveria se dividir em dois ramos;
- 2) As posições, inicial e final, do bloqueio são aquelas longitudes onde o módulo da vorticidade é máximo;
- 3) O deslocamento longitudinal deveria ser $\leq 25^\circ$, em todo período do evento.

- 4) O evento deveria ter duração mínima de 6 dias consecutivos;
- 5) A data inicial é determinada pela condição “1” e a data final é determinada pelo desaparecimento, de uma ou mais condições, de “1”, “3” ou “4”.

A fim de avaliar estatisticamente a latitude preferencial de anticiclones de bloqueio, no HS, Lejenas (1984) adaptou o índice LO de Lejenas e Okland (1983) com diferença entre as latitudes de 35°S e 50°S. Quando ocorre bloqueio em uma região, o índice é negativo naquela região (equação 1a).

$$I(\lambda) = Z_{35^{\circ}\text{S}}(\lambda) - Z_{50^{\circ}\text{S}}(\lambda) \quad (6)$$

Onde $I(\lambda)$ é o índice na longitude λ e Z é a altura geopotencial em 500 hPa, também na longitude λ .

Lejenas (1984) também considerou a condição apresentada na equação 1b para a identificação de fenômenos de bloqueio. O autor enfatiza que o problema na utilização desses índices é o fato deles também detectarem as altas subtropicais.

Wiedenmann *et al.* (2002) foram os primeiros a realizar um estudo climatológico de 30 anos para o HS. Os autores definiram bloqueio da seguinte forma:

- 1) O critério de Rex (1950 a) deve ser satisfeito para o escoamento anticiclônico em 500 hPa, com exceção da duração mínima, que deve ser de 5 dias (como em Treidl *et al.* 1981);
- 2) Valores negativos ou positivos pequenos do índice LO de Lejenas e Okland (1983) deveriam aparecer no diagrama de Hovmöller (longitude-tempo), no HN (para o HS utilizaram o índice de Lejenas, 1984);
- 3) As condições 1 e 2 devem ocorrer, ao mesmo tempo, 24 horas antes do início do bloqueio e 24 horas após o fim;

- 4) O anticiclone deve estar centrado em latitudes maiores que 30°S e a crista deve ter uma amplitude superior a 5° de latitude;
- 5) O início é definido quando um anticiclone atende aos critérios “4” e também o “1” ou “2”;
- 6) O fim do evento é definido quando o bloqueio não atender aos critérios “4” e também “1” ou “2”, por 24 horas.

Ao observar que os bloqueios no HS são normalmente localizados em latitudes mais baixas que no HN (Taljaard, 1972; Coughlan, 1983; Lejenas, 1984; Okland e Lejenas, 1987), Tibaldi *et al.*(1994) precisaram redefinir o índice adaptado por Tibaldi e Molteni (1990) para o HS.

$$GHGS = \frac{Z(\Phi_S) - Z(\Phi_0)}{(\Phi_S - \Phi_0)} \quad (7)$$

$$GHGN = \frac{Z(\Phi_0) - Z(\Phi_N)}{(\Phi_0 - \Phi_N)} \quad (8)$$

Onde:

$$\Phi_N = 35^\circ\text{S} + \Delta$$

$$\Phi_0 = 50^\circ\text{S} + \Delta$$

$$\Phi_S = 65^\circ\text{S} + \Delta$$

$$\Delta = -3,75^\circ, 0^\circ \text{ ou } 3,75^\circ$$

Uma longitude é então definida como “bloqueada” em um instante específico se as seguintes condições forem satisfeitas para, no mínimo, um valor de Δ :

$$GHGN > 0 \quad (9)$$

$$GHGS < -10 \text{ mgp/grau de latitude} \quad (10)$$

Renwick (2005) optou por um critério de identificação de bloqueio, no HS, que levasse em consideração a anomalia de altura geopotencial. Seriam considerados bloqueios os eventos onde as anomalias de altura geopotencial, em 500 hPa, fossem superiores a 100 mgp, por no mínimo 5 dias, assim como em Trenberth e Mo (1985).

2.2 Tipos de Bloqueio Atmosférico

De acordo com Marques (1996) há três tipos mais comuns de bloqueios (Figura 2.2):

- a) O bloqueio tipo dipolo, constituído de um anticiclone de grande amplitude acompanhado de um ciclone no lado equatorial;
- b) O bloqueio tipo Omega (HN) ou Omega invertido (HS), que possui uma configuração orientada zonalmente, sendo constituído de um anticiclone entre dois ciclones; e
- c) O bloqueio formado por uma crista estacionária de grande amplitude.

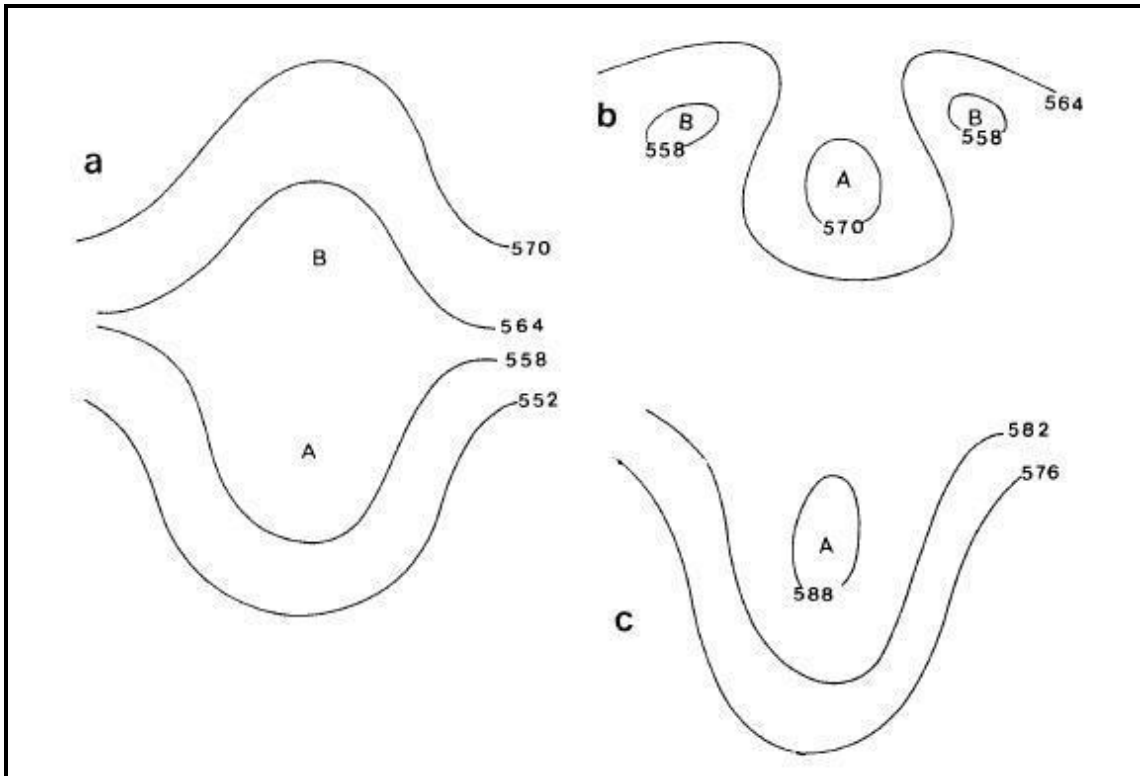


Figura 2.2 – Três tipos padrões de bloqueio no Hemisfério Sul: a) bloqueio do tipo dipolo, b) bloqueio do tipo Omega invertido e c) bloqueio formado por uma crista de grande amplitude. Fonte: Adaptada de Bluestein (1993), para o Hemisfério Sul, por Marques (1996).

2.3 Condições de tempo associadas a eventos de Bloqueio no HS

Kayano (1999) observou que o escoamento para nordeste, em baixos níveis, no sudeste do Pacífico (devido ao anticiclone de bloqueio) advecta ar frio e seco para a parte sul do continente americano e que condições mais úmidas e quentes que o normal são encontradas ao norte dessas áreas, coincidindo com a posição aproximada do jato de altos níveis, no inverno. Segundo a autora, isto sugere que o jato de altos níveis funciona como uma barreira ao deslocamento, para norte, de frentes frias e sistemas transientes.

Damião *et al.* (2005) observaram que durante episódios de bloqueio sobre o sudeste do Pacífico, durante o inverno, há um aumento nas temperaturas máximas e mínimas do sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e norte da Argentina. Porém no sul da Argentina (região da Patagônia) as temperaturas permanecem mais baixas que a média climatológica. Durante o verão, constataram o oposto, uma vez que as anomalias de temperatura foram essencialmente de sinal negativo em toda América do Sul. Quanto à

precipitação, foi observada uma redução sobre o Brasil, principalmente no verão.

Damião *et al.* (2008) ao avaliarem os impactos no campo de temperatura devido a bloqueios no Oceano Atlântico constataram um padrão praticamente oposto ao obtido para bloqueios no sudeste do Pacífico. As temperaturas foram, significativamente, mais baixas que a climatologia no sul do Brasil, norte da Argentina, Uruguai e Paraguai e mais altas que a climatologia na região da Patagônia. Os autores ainda avaliaram o impacto desses eventos na precipitação e concluíram que os bloqueios no Pacífico Sudeste têm alto impacto na precipitação durante o verão (nordeste brasileiro seco) e primavera (regiões central e sul do Brasil, úmidas), enquanto que os bloqueios no Atlântico afetam a precipitação no outono e inverno (regiões central e sul do Brasil, secas).

Em determinadas situações atmosféricas, em que sistemas meteorológicos persistentes são observados, a previsibilidade é afetada devido à incapacidade dos modelos numéricos em prever o início e o fim de tais sistemas. A persistência desse sistema introduz na atmosfera anomalias no escoamento zonal e uma mudança brusca dos padrões normais do deslocamento de sistemas transientes. Tais padrões anômalos, muitas vezes, não são captados pelos modelos numéricos, tornando-os incapazes de prever períodos prolongados de seca e chuvas associadas à presença de bloqueios Atmosféricos (Damião *et al.*, 2009).

Nascimento e Ambrizzi (2002) utilizaram dois eventos de bloqueio que ocorreram em 1995, sobre o Pacífico Sul, durante o inverno, para estudar a influência desses eventos na propagação de ondas planetárias de Rossby e avaliar o escoamento atmosférico durante sete dias anteriores ao início do bloqueio e sete dias após o decaimento deste. Os autores observaram que os valores máximos do fluxo de atividade das ondas de Rossby foram encontrados no setor longitudinal, onde o padrão de bloqueio iria se desenvolver em seguida. Segundo os autores, se os resultados obtidos forem representativos de um típico evento de bloqueio do HS, isto sugere que o constante monitoramento das ondas planetárias de Rossby (através do fluxo de atividade da onda) poderia ser útil para melhoria da previsão do início de episódios de bloqueio no HS, durante o inverno. Eles ressaltam, porém, que mais estudos devem ser feitos a fim de confirmar esta teoria.

2.4 Causa e Manutenção de Bloqueios

Assim como para a definição de bloqueio, ainda não existe uma explicação universal da causa para ocorrência deste fenômeno.

Elliott e Smith (1949) sugerem uma teoria para a formação de altas de bloqueio baseada no acúmulo de calor em latitudes baixas e a necessidade da redistribuição deste calor por parte da circulação geral da atmosfera. Segundo os autores, o calor acumulado na alta subtropical provoca um aumento no gradiente meridional de temperatura e consequente aumento no escoamento zonal. Devido a isso, ocorre a formação de altas pressões em latitudes mais elevadas para redistribuir o calor através da componente de velocidade meridional imposta por esse sistema.

Quanto à manutenção de episódios de bloqueio, Hartmann e Ghan (1980), em seu estudo para o HN, propuseram dois mecanismos para a sustentação desses eventos:

- 1) O primeiro depende, principalmente, de interações barotrópicas entre escalas de movimento para a amplificação ou sustentação dos anticiclones de bloqueio.
- 2) O segundo envolve, principalmente, os efeitos térmicos para amplificar e manter as cristas de bloqueio.

Os autores sugerem, ainda, que os bloqueios no Pacífico Norte possuem suportes baseados, principalmente, em mecanismos barotrópicos, enquanto que os bloqueios no Atlântico Norte são sustentados por processos baroclínicos e ocorrem onde há grande conversão anômala de energia potencial em energia cinética.

Trenberth (1986) sugeriu que as interações de energia barotrópica são importantes durante episódios de bloqueio. Os distúrbios transientes barotrópicos agem de maneira a acelerar o jato polar e desacelerar o vento zonal nas regiões de bloqueio e na bifurcação do jato de oeste, e assim, mantém a configuração de bloqueio (Marques, 1996; Marques e Rao, 1999).

Ao analisarem o papel dos vórtices na formação e manutenção de bloqueio,

Marques e Rao (1999) observaram forte cisalhamento horizontal e vertical do vento zonal, sugerindo que tanto o efeito barotrópico quanto o baroclínico são importantes nestes eventos.

Coughlan (1983) constatou que a orografia é a responsável pelo mecanismo mais importante na formação de bloqueios no HN. No HS, no entanto, este mecanismo não apresenta papel significativo, pois em latitudes médias as assimetrias orográficas são bastante reduzidas, quando comparadas as do HN.

De acordo com Marques e Rao (1999) a principal diferença entre os bloqueios que ocorrem sobre o sudeste do Pacífico e sobre as regiões da Nova Zelândia está na energia barotrópica trocada entre os vórtices e o escoamento zonal. No caso estudado por eles, no Pacífico Sudeste, os vórtices mantinham a bifurcação do jato por converterem sua energia cinética turbulenta em energia cinética zonal e, na região bloqueada a energia cinética turbulenta é obtida a partir da energia cinética zonal (mantendo baixos valores do vento zonal). Este resultado foi contrário ao encontrado por Trenberth (1986) para um episódio de bloqueio próximo a Nova Zelândia.

A maioria dos sistemas de bloqueios são um fenômeno local, pois se formam em regiões específicas, e ocorrem em apenas um setor do hemisfério (Trenberth e Mo, 1985). No entanto, podem ocorrer casos de bloqueios simultâneos como observado por Wiedenmann *et al.* (2002) e Trenberth e Mo (1985).

2.5 Climatologia de Bloqueios Atmosféricos

Neste item, apresentam-se os resultados de estudos climatológicos sobre a localização preferencial, persistência, intensidade e variabilidades sazonal e interanual de eventos de bloqueio.

2.5.1 Localização preferencial de Bloqueios

Lupo e Smith (1995) realizaram um estudo climatológico, para o HN, com 3 anos de dados do ECMWF (julho de 1985 a junho de 1988) e encontraram três regiões preferências para a formação de eventos de bloqueio. A primeira delas está localizada

no Oceano Atlântico Leste ($\sim 10^\circ\text{W}$), a segunda no Oceano Pacífico (160°E a 130°W) e a terceira na região da Ucrânia/oeste da Rússia ($\sim 40^\circ\text{E}$).

Van Loon (1956) estudou bloqueios utilizando 5 anos de dados de cartas sinóticas do HS, no período entre julho de 1950 e junho de 1955. Ele encontrou três regiões preferenciais para a formação desses fenômenos, que foram: o sudoeste do Pacífico/sudeste da Austrália, o sudoeste do Atlântico e o sudoeste do Oceano Índico.

Casarin (1982) também encontrou regiões preferenciais para formação de bloqueios no HS. A principal delas está localizada a leste da Austrália (resultado que concorda com van Loon, 1956) e o segundo máximo encontra-se entre 80°E e 115°E (oeste da Austrália).

Lejenas (1984) também identificou a região da Austrália-Nova Zelândia como sendo preferencial para a ocorrência de bloqueios.

Trenberth e Mo (1985) encontraram três regiões de máxima incidência de bloqueios no HS. A primeira, e mais evidente, ao sul da Nova Zelândia; a segunda no sudeste da América do Sul; a terceira, e menos evidente, no Oceano Índico. Estas regiões também foram citadas por Wiedenmann *et al.* (2002) como áreas de formação de bloqueios. Renwick (2005) confirma um mínimo de ocorrência de bloqueio no sul do Oceano Índico.

Marques (1996) realizou uma climatologia de bloqueio no HS utilizando 14 anos de dados do ECMWF, de 1980 a 1993, e encontrou quatro regiões preferenciais para a formação de bloqueios. A primeira delas na região da Austrália-Nova Zelândia (140°W a 140°E), a segunda no sudeste do Oceano Pacífico (80°W a 120°W), a terceira sobre o Atlântico (10°W a 70°W) e a quarta no Oceano Índico (70°E a 120°E). Até então não havia registros na literatura de estudos sobre bloqueios no sudeste do Pacífico. Em seguida, Sinclair (1996) confirma o sudeste do Pacífico Sul como área preferencial de formação de bloqueios.

Adana e Colluci (2005) desenvolveram uma climatologia de bloqueios para o HS utilizando dados de 1948 a 1999 e identificaram uma região de máxima atividade de

bloqueios localizada entre 160°E e 75°W.

Damião *et al.* (2005) observaram que o Pacífico Sul, entre 180°W e 80°W, foi a região com maior registro de frequência e de dias bloqueados durante o período de 1960 a 2000, com maior concentração dos bloqueios sobre o Pacífico Sudoeste, entre 180°W e 120°W, (concorda com Marques e Rao, 2000). Resultado que segundo os autores pode estar relacionado à posição e intensidade dos jatos polar e subtropical. Renwick (2005) também encontrou maior frequência de bloqueios no Oceano Pacífico Sul.

Marques e Rao (2000) utilizaram 25 anos de dados do NCEP/NCAR, de 1973 a 1997, para avaliar as variações, sazonal e interanual, de bloqueios no HS. Eles observaram que os bloqueios nos Oceanos Atlântico e Índico ocorrem com muito menos frequência que no Pacífico.

Coughlan (1983) realizou uma climatologia comparativa entre os dois hemisférios e observou que embora no HS os bloqueios sejam menos duradouros e menos intensos que no HN, a frequência de eventos é de magnitude comparável a do HN, particularmente, no setor da Austrália.

No entanto, segundo Wiedenmann *et al.*(2002), no HS ocorrem, apenas, cerca de 40% do total de eventos de bloqueio que ocorrem no HN e estes bloqueios são normalmente localizados em latitudes mais baixas que no HN (Taljaard, 1972; Coughlan, 1983; Lejenas, 1984; Okland e Lejenas, 1987).

A Tabela 1 sintetiza as regiões preferenciais para a formação de bloqueios, de acordo com cada autor.

Hemisfério	Autores	Localização Preferencial
HN	Lupo e Smith (1995)	Atlântico Leste (~ 10°W) Pacífico (160°E a 130°W) Ucrânia/oeste da Rússia (~ 40°W)
HS	van Loon (1956)	Sudoeste dos oceanos: Pacífico, Atlântico e Índico
	van Loon (1956) Casarin (1982) Lejenas (1984) Marques (1996)	Austrália/Nova Zelândia
	Casarin (1982)	Oeste da Austrália (80°E a 115°E)
	Marques (1996)	Sudeste do Pacífico (80°W a 120°W) Atlântico (10°W a 70°W) Índico (70°E a 120°E)
	Trenberth e Mo (1985) Wiedenmann <i>et al.</i> (2002)	Sul da Nova Zelândia Sudeste da América do Sul Índico
	Adana e Colluci (2005) Damião <i>et al.</i> (2005)	Pacífico

Tabela 1- Resumo das regiões preferenciais para a formação de bloqueios.

2.5.2 Persistência e intensidade de eventos de Bloqueio

Lupo e Smith (1995) constataram que, para o HN, os bloqueios que ocorreram em área continental e no Oceano Atlântico foram, em média, mais persistentes (9 dias) que os do Pacífico (8 dias). Eles encontraram boa relação entre o tamanho do bloqueio e sua intensidade, na qual os eventos mais intensos são também maiores.

Wiedenmann *et al.* (2002) verificaram que, no HN, bloqueios mais intensos tendem a ter vida longa e que existe, ainda, uma segunda relação entre a ocorrência simultânea de eventos e a intensidade dos mesmos, que também não está presente no HS. No entanto, Lupo e Smith (1995) não observaram, para o HN, boa correlação entre a duração média do bloqueio e sua intensidade, o que pode estar relacionado ao curto período de dados utilizado por eles. Segundo os autores, existem mais eventos persistentes (> 10 dias) no HN que no HS.

Casarin (1982) encontrou a média de 9,1 dias de duração para todos os bloqueios que atuaram sobre o HS entre janeiro de 1975 e dezembro de 1979, confirmando que os

bloqueios do HS têm, em média, menos de 10 dias e possuem duração inferior aos bloqueios do HN. Este resultado também foi obtido por Wiedenmann *et al.* (2002) e está de acordo com van Loon (1956) e Taljaard (1972).

Lupo e Smith (1995) encontraram, para o HN, uma duração média de 8,6 dias para os bloqueios analisados. Este valor encontra-se abaixo da média encontrada por Casarin (1982), para o HS. Isto pode ser explicado pelo curto período de dados utilizado por Lupo e Smith (1995).

Casarin (1982) e Wiedenmann *et al.* (2002) constataram que os eventos de bloqueio mais persistentes do HS, ocorrem no Oceano Pacífico.

Marques e Rao (2001) observaram que os bloqueios que ocorrem no sudoeste do Pacífico possuem duração mais curta (≤ 11 dias) que os sobre o sudeste do Pacífico (vários eventos com duração superior a 11 dias). Segundo os autores, isto pode estar relacionado a uma distribuição mais ampla da energia cinética na região de bloqueio do Pacífico Sudeste, mantendo-os por mais tempo.

Damião *et al.* (2008) realizaram uma climatologia para o HS com 41 anos de dados, que compreendiam o período de 1960 a 2000. Eles observaram que os bloqueios na Oceania e no Oceano Pacífico Sul são mais duradouros que os que ocorrem no Atlântico Sul e Índico, o que concorda com Wiedenmann *et al.* (2002).

Marques (1996) observou que os eventos mais intensos de bloqueio que ocorrem no HS atuam sobre a região da Austrália-Nova Zelândia.

Trenberth e Mo (1985) e Wiedenmann *et al.* (2002) concordam que não há relação, para o HS, entre a intensidade do bloqueio e a duração dele.

2.5.3 Variabilidade sazonal

Lupo e Smith (1995) observaram que, no HN, a região continental apresenta pouca variação sazonal na ocorrência de bloqueios.

Wiedenmann *et al.* (2002) constataram que na estação fria os bloqueios são mais frequentes, mais intensos e mais persistentes que na estação quente, para ambos hemisférios (concorda com Lupo e Smith 1995 quanto a frequência e persistência, para o HN). Trenberth e Mo (1985), Marques (1996) e Renwick (2005) chegaram à mesma conclusão, quanto à frequência dos eventos no HS.

Damião *et al.* (2005) constataram que a maior frequência de eventos de bloqueio e o maior número de dias bloqueados, quando calculados e analisados para todo o Pacífico Sul, ocorrem nos meses de inverno e outono enquanto que, para o Pacífico Sudoeste e Sudeste, há ocorrência maior de eventos e de número de dias bloqueados nos meses de inverno e início da primavera (concorda com Marques, 1996, Sinclair, 1996, Marques e Rao, 1999, Marques e Rao, 2000 e Wiedenmann *et al.*, 2002). Nos meses de verão, foram encontradas as menores frequências de bloqueios, tanto no Pacífico Sudoeste quanto no Pacífico Sudeste.

Marques (1996) observou que não há predominância sazonal no Oceano Índico, enquanto que no Sudeste do Pacífico e no Atlântico as maiores frequências de bloqueios ocorrem no inverno e primavera.

2.5.4 Variabilidade interanual

Segundo Wiedenmann *et al.* (2002), no HN, como um todo, o número de bloqueios é maior em anos de La Niña, porém quanto a duração dos eventos não ocorrem alterações significativas. Os bloqueios foram mais intensos durante La Niñas e anos neutros, especialmente nas áreas dos Oceanos Atlântico e Pacífico. No HS, ocorre o oposto, os bloqueios são mais intensos e mais frequentes em anos de El Niño. Além disso, a variabilidade interanual deles pode estar relacionada com a variabilidade nas frequências de ciclones, em ambos os hemisférios.

Renwick and Revell (1999), utilizando 39 anos de dados do NCEP-NCAR de 1958 a 1996, mostraram que eventos quentes nos Trópicos (El Niño) estão associados com o aumento da frequência de bloqueio na região sudeste do Pacífico Sul, confirmando que a ocorrência de Bloqueio nesta região é fortemente modulada pelo ciclo ENOS, principalmente durante a primavera (concorda com Renwick, 1998).

Renwick (1998) analisou a variabilidade interanual em termos das variações do ciclo ENOS, para o Oceano Pacífico Sul, usando 16 anos de dados. O autor observou que no sudoeste do Pacífico o aumento na frequência de bloqueios, durante episódios de El Niño, só é significativo durante a primavera e verão, enquanto que no sudeste do Pacífico o aumento é significativo durante todo ano. Além disso, ele encontrou maior variabilidade interanual no Pacífico SE que no SW.

Marques e Rao (2000) observaram que há grande variação interanual na frequência de bloqueios sobre o leste e o oeste do Oceano Pacífico Sul.

Damião *et al.* (2005) observaram a variabilidade interanual dos eventos de bloqueios no Pacífico Sul, com relação aos anos de El Niño e La Niña, e verificaram que o total de eventos de bloqueios e de dias bloqueados em anos de El Niño foi maior do que em anos de La Niña (concorda com Wiedenmann *et al.*, 2002 e Marques e Rao, 2000), porém esse resultado difere daquele encontrado por Marques (1996).

Em seu estudo climatológico, Marques (1996) observou maior frequência de bloqueios em anos de La Niña, quando comparado com os anos de El Niño, na região da Austrália e Nova Zelândia.

Adana e Colluci (2005) concluíram, para o HS, que o número de dias bloqueados é maior durante a fase quente do ENOS. Os meses com maior quantidade de bloqueios foram junho, julho e maio para as fases fria, neutra e quente do ENOS, respectivamente. Além disso, constataram que os bloqueios em anos de La Niña possuem menor comprimento longitudinal que em anos neutros e de El Niño, sugerindo que anticiclones de bloqueio, formados corrente abaixo da convecção tropical inibida pelas águas mais fria da La Niña, são mais fracos.

3. METODOLOGIA E DADOS

Neste capítulo, descrevem-se os dados utilizados neste trabalho para o estudo de caso de bloqueio ocorrido no HS no período de 28 de janeiro a 8 de fevereiro de 2010 e a metodologia aplicada para sua detecção. Tal período foi selecionado por suas condições extremamente quentes e secas nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil. De acordo com INMET as temperaturas máximas no Rio de Janeiro chegaram a 41°C (dias 4, 7, 8 e 9 de fevereiro), o período sem chuvas se estendeu de 27 de janeiro a 9 de fevereiro e nessas condições foram registrados 32 óbitos, entre os dias 08 e 09/02/2010, em Santos (SP) (Fonte: Diário do Grande ABC). De acordo com o Climanálise (CPTEC/INPE), a onda de calor foi provocada por um episódio de bloqueio.

3.1 Descrição dos dados

Para a realização deste trabalho foram utilizados dados diários de altura geopotencial (m_gp) nos níveis de 850, 500 e 200 hPa e vento zonal e meridional (m/s) em 500 e 200 hPa obtidos da Reanálise do ERA-INTERIM do ECMWF para o período de 28 de janeiro a 8 de fevereiro de 2010. Tais Reanálises são uma extensão do projeto ERA-40 (Uppala *et al.* 2005) com alguns avanços na assimilação de dados, no uso de observações e na física do modelo. Este produto possui resolução espacial de 1,5 x 1,5 graus de latitude/longitude e encontra-se disponível no sítio http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim_daily/ desde janeiro de 1989 até os dias atuais.

Além dos dados da Reanálise do ERA-INTERIM, foram utilizados campos médios de anomalias das seguintes variáveis: temperatura do ar (°C) em 1000 hPa, altura geopotencial (m_gp) em 850, 500 e 200 hPa e vento zonal (m/s) em 500 e 200 hPa. Estas composições foram obtidas diretamente do sítio do National Centers for Environmental Prediction – National Center for Atmospheric Research (NCEP-NCAR) (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis>), a partir das Reanálises (Kalnay *et al.* 1996), distribuídas em grade regular de 2,5 x 2,5 graus de latitude/longitude. Optou-se por utilizar os campos de anomalia da Reanálise do NCEP-NCAR ao invés do ERA-INTERIM, devido a primeira Reanálise apresentar uma série mais longa para confecção de sua climatologia.

3.2 Metodologia

Com exceção dos campos médios de anomalias, todos os demais foram gerados com dados do ERA-INTERIM, através de scripts criados para o Grid Analysis and Display System (GrADS).

Inicialmente foi feita uma análise subjetiva do estudo de caso de bloqueio, a fim de apresentar os principais sistemas sinóticos atuantes no período de 28 de janeiro a 8 de fevereiro de 2010 e também com objetivo de detectar subjetivamente se os anticiclones estabelecidos no período representam altas de bloqueio. Para tal diagnóstico, foram utilizados os critérios de Rex (1950 a, b), mencionados anteriormente, que consiste em atender as seguintes especificações, em 500 hPa.

- 1) A corrente zonal básica de oeste deve se dividir em dois ramos;
- 2) Cada ramo deve transportar uma quantidade significativa de massa;
- 3) O sistema de jato duplo deve se estender sobre uma longitude mínima de 45°;
- 4) Deve ser observada uma transição do escoamento zonal para o escoamento meridional, na região da bifurcação;
- 5) O padrão deverá persistir, com continuidade reconhecível, por pelo menos 10 dias.

A seguir, realiza-se uma verificação objetiva a partir do índice adotado por Tibaldi *et al.* (1994) para o HS, que como mencionado anteriormente, consiste no cálculo de GHGS e GHGN para o nível de 500 hPa.

Uma longitude é então definida como “bloqueada” em um instante específico se as condições abaixo forem satisfeitas para, no mínimo, um valor de Δ :

$$\text{GHGN} > 0 \text{ e}$$

$$\text{GHGS} < -10 \text{ mgp/grau de latitude}$$

Como a Reanálise do ERA-INTERIM possui dados a cada 1,5 grau de latitude x 1,5 grau de longitude, para este trabalho os Deltas (Δ) são considerados com os valores: -3,0; 0 e +3,0. Além de utilizar os índices originais de Tibaldi *et al.* (1994), centrados em 50°S (GHGN-50°S e GHGS-50°S), decidiu-se aplicar estes mesmos índices, porém centrados na latitude subtropical de 35°S (GHGN-35°S e GHGS-35°S) com o intuito de verificar a existência de bloqueios subtropicais. Tais índices foram então calculados da seguinte forma:

a) GHGN com Delta = 0:

$$GHGN(50^{\circ}S) = \frac{Z(50^{\circ}S) - Z(35^{\circ}S)}{50^{\circ} - 35^{\circ}} \quad (11)$$

$$GHGN(35^{\circ}S) = \frac{Z(35^{\circ}S) - Z(20^{\circ}S)}{35^{\circ} - 20^{\circ}} \quad (12)$$

b) GHGN com Delta = + 3:

$$GHGN(50^{\circ}S) = \frac{Z(53^{\circ}S) - Z(38^{\circ}S)}{53^{\circ} - 38^{\circ}} \quad (13)$$

$$GHGN(35^{\circ}S) = \frac{Z(38^{\circ}S) - Z(23^{\circ}S)}{38^{\circ} - 23^{\circ}} \quad (14)$$

c) GHGN com Delta = - 3:

$$GHGN(50^{\circ}S) = \frac{Z(47^{\circ}S) - Z(32^{\circ}S)}{47^{\circ} - 32^{\circ}} \quad (15)$$

$$GHGN(35^{\circ}S) = \frac{Z(32^{\circ}S) - Z(17^{\circ}S)}{32^{\circ} - 17^{\circ}} \quad (16)$$

d) GHGS com Delta = 0:

$$GHGS(50^{\circ}S) = \frac{Z(65^{\circ}S) - Z(50^{\circ}S)}{65^{\circ} - 50^{\circ}} \quad (17)$$

$$GHGS(35^{\circ}S) = \frac{Z(50^{\circ}S) - Z(35^{\circ}S)}{50^{\circ} - 35^{\circ}} \quad (18)$$

e) GHGS com Delta = +3:

$$GHGS(53^{\circ}S) = \frac{Z(68^{\circ}S) - Z(53^{\circ}S)}{68^{\circ} - 53^{\circ}} \quad (19)$$

$$GHGS(38^{\circ}S) = \frac{Z(53^{\circ}S) - Z(38^{\circ}S)}{53^{\circ} - 38^{\circ}} \quad (20)$$

f) GHGS com Delta = -3:

$$GHGS(47^{\circ}S) = \frac{Z(62^{\circ}S) - Z(47^{\circ}S)}{62^{\circ} - 47^{\circ}} \quad (21)$$

$$GHGS(32^{\circ}S) = \frac{Z(47^{\circ}S) - Z(32^{\circ}S)}{47^{\circ} - 32^{\circ}} \quad (22)$$

Os valores obtidos foram, então, plotados em um diagrama Hovmöller (longitude-tempo), a fim de verificar a persistência de dias bloqueados.

4. RESULTADOS

Neste capítulo apresenta-se a análise do estudo de caso de bloqueio no HS, ocorrido entre 28 de janeiro e 8 de fevereiro de 2010.

Inicialmente, no item 4.1, é feita uma tentativa de identificação das altas de bloqueio subjetivamente, com base nas definições e conceitos apresentados no capítulo 2. A seguir, no item 4.2, aplica-se um método objetivo de identificação de bloqueios. As duas metodologias (subjetiva e objetiva) são então confrontadas.

Com o intuito de facilitar as análises que se seguem apresenta-se na Figura 4.1 o campo médio de pressão ao nível médio do mar para o verão (dezembro/janeiro/fevereiro) para o período de 1961-1990. Nota-se na figura a presença das três altas subtropicais do HS: Alta Subtropical do Índico (ASI), Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) e Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). A ASI situa-se em torno de 35°S/90°E, com centro de 1020 hPa. A ASPS localiza-se a aproximadamente 35°S/100°W com centro de 1020 hPa, ocupando uma área de maior extensão do que os outros dois centros anticiclônicos. No Atlântico Sul, a aproximadamente 30°S/10°W localiza-se a ASAS, menos intensa do que as outras duas. Entre tais centros anticiclônicos existem regiões com pressões relativamente mais baixas, denominadas de Baixa Africana, Baixa Australiana e Baixa do Chaco (na América do Sul).

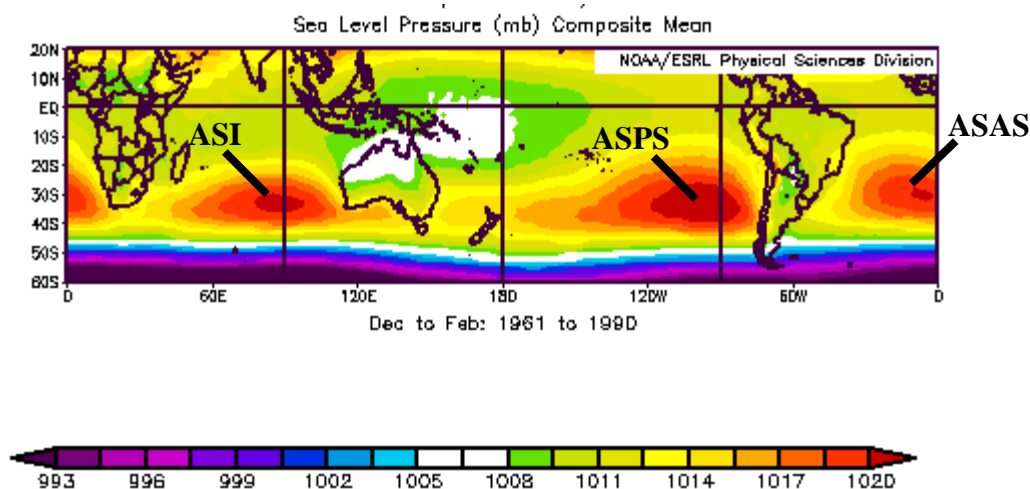
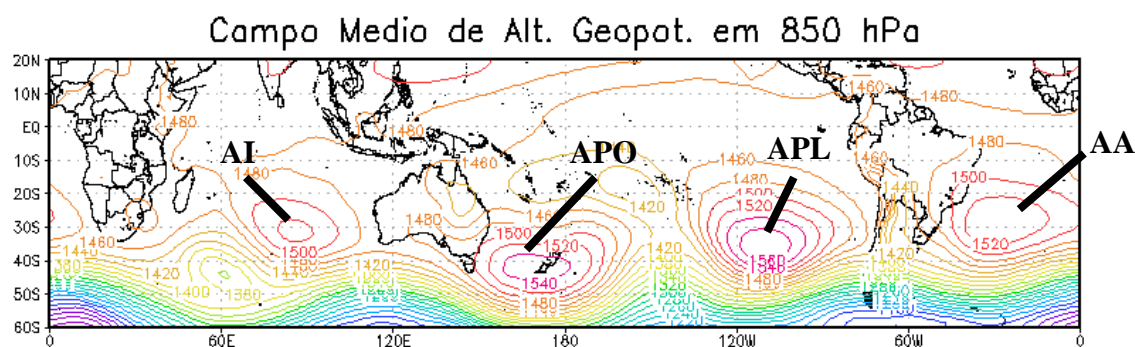


Figura 4.1 – Campo médio de pressão ao nível médio do mar (hPa) para o verão (dez/jan/fev) para o período de 1961-1990. Fonte: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>

4.1 Análise subjetiva do evento de Bloqueio

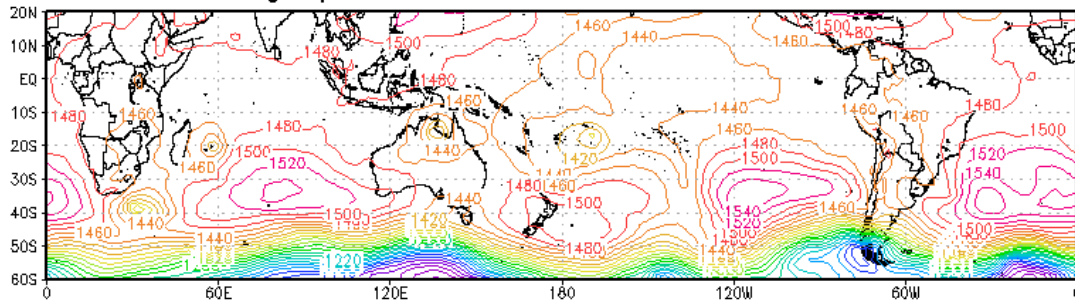
A Figura 4.2 apresenta os campos médio e diários de altura geopotencial em 850 hPa, às 00 Z, para o período do caso em estudo (28 de janeiro a 8 de fevereiro de 2010). Observa-se na Figura 4.2 (a) a presença de quatro sistemas anticiclônicos, intercalados por quatro regiões ciclônicas, relativamente estacionárias. No Oceano Índico observa-se a presença de um centro anticiclônico (Alta do Índico - AI), localizado a aproximadamente 35°S/090°E, coincidindo com sua posição climatológica. No Pacífico Oeste nota-se a presença de um anticiclone (Alta do Pacífico Oeste - APO) centrado em aproximadamente 45°S/170°E, próximo a Nova Zelândia, onde na média climatológica ocorre uma região com pressões relativamente baixas, entre a ASPS e a ASI. No Pacífico Leste verifica-se a presença de outro anticiclone (Alta do Pacífico Leste - APL) posicionado a aproximadamente 35°S/110°W, onde climatologicamente localiza-se a Alta Subtropical do Pacífico Sul. No Atlântico Sul nota-se a presença do quarto sistema de alta pressão (Alta do Atlântico - AA), com centro em aproximadamente 30°S/030°W, ligeiramente a oeste da posição climatológica da ASAS. Estes quatro anticiclones e as quatro regiões de cavados intercalados apresentaram pequena variação espacial, formando um trem de ondas praticamente estacionário durante o período analisado (12 dias).



(a)

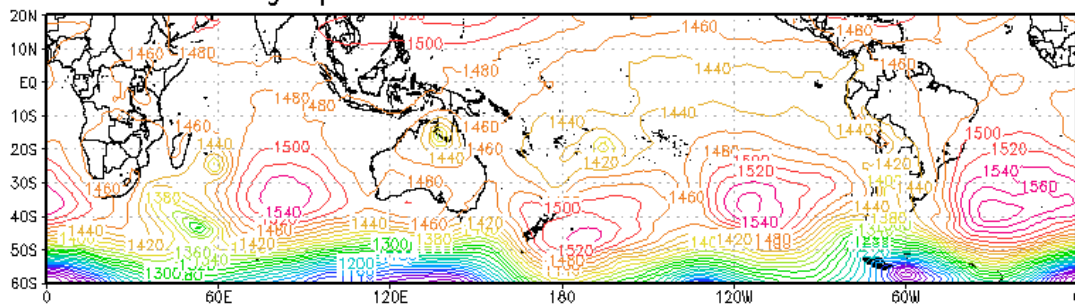
Figura 4.2 - Campo de altura geopotencial (a cada 20 mgp) em 850 hPa, às 00 Z: (a) campo médio entre 28/01/2010 e 08/02/2010, (b) 28/01/2010, (c) 29/01/2010, (d) 30/01/2010, (e) 31/01/2010, (f) 01/02/2010, (g) 02/02/2010, (h) 03/02/2010, (i) 04/02/2010, (j) 05/02/2010, (l) 06/02/2010, (m) 07/02/2010, (n) 08/02/2010.

Altura geopotencial em 850 hPa 28JAN2010 00Z



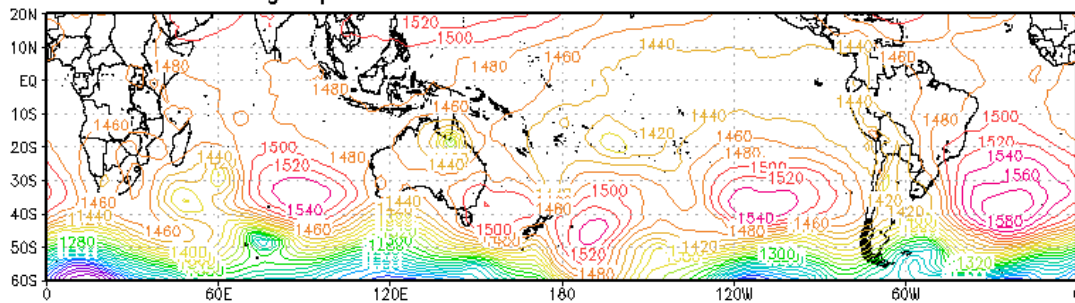
(b)

Altura geopotencial em 850 hPa 29JAN2010 00Z



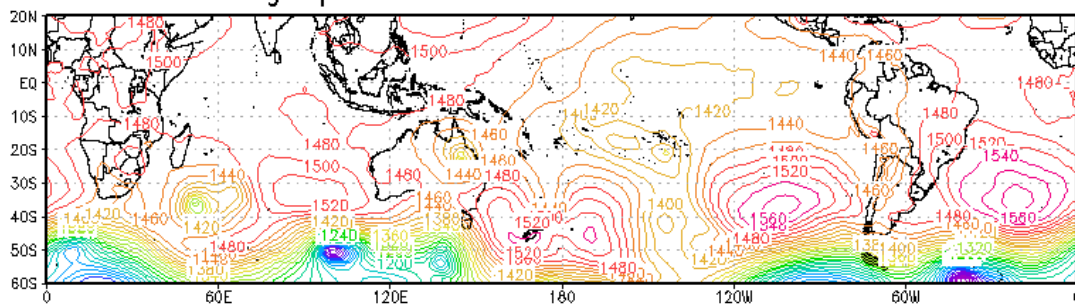
(c)

Altura geopotencial em 850 hPa 30JAN2010 00Z



(d)

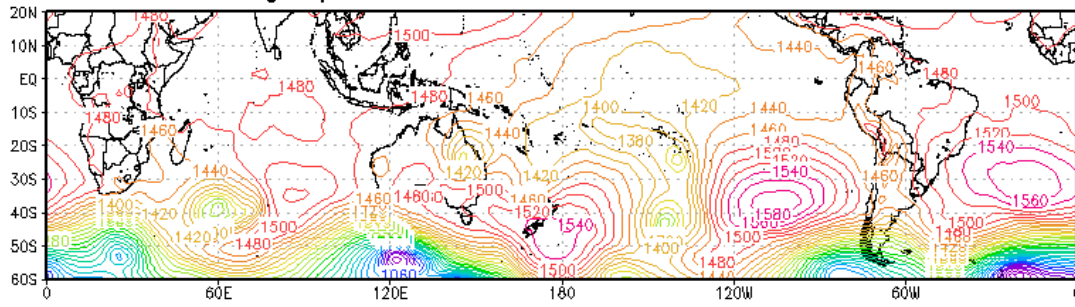
Altura geopotencial em 850 hPa 31JAN2010 00Z



(e)

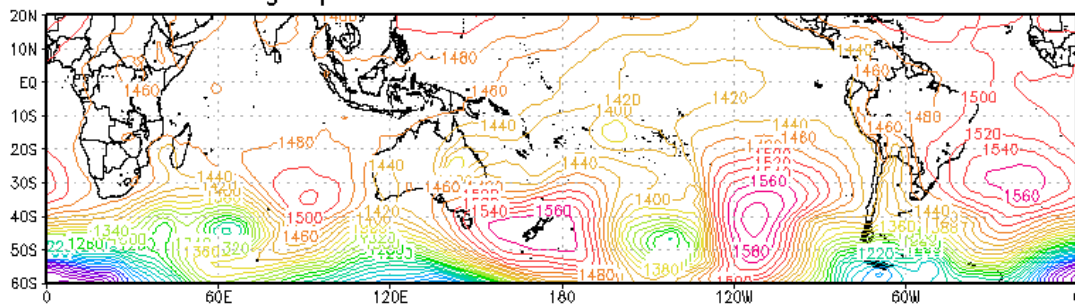
Figura 4.2 – Continuação.

Altura geopotencial em 850 hPa 01FEB2010 00Z



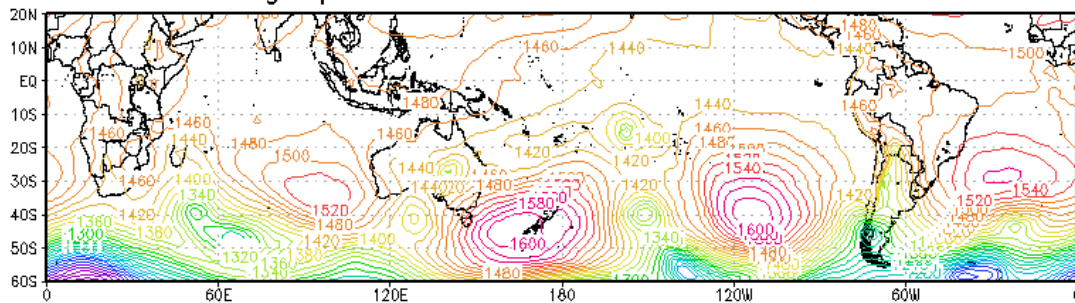
(f)

Altura geopotencial em 850 hPa 02FEB2010 00Z



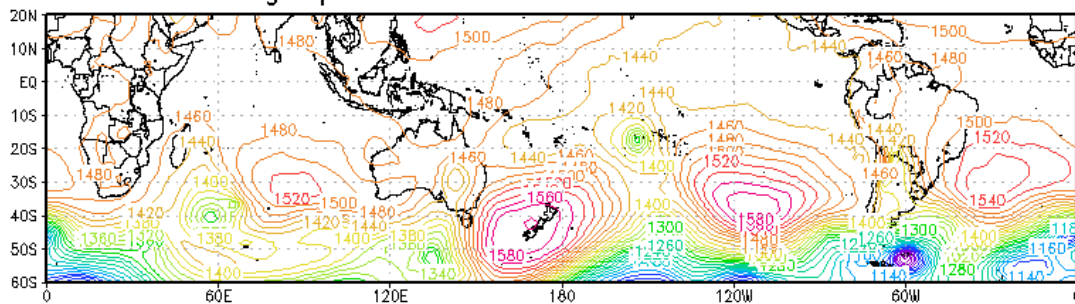
(g)

Altura geopotencial em 850 hPa 03FEB2010 00Z



(h)

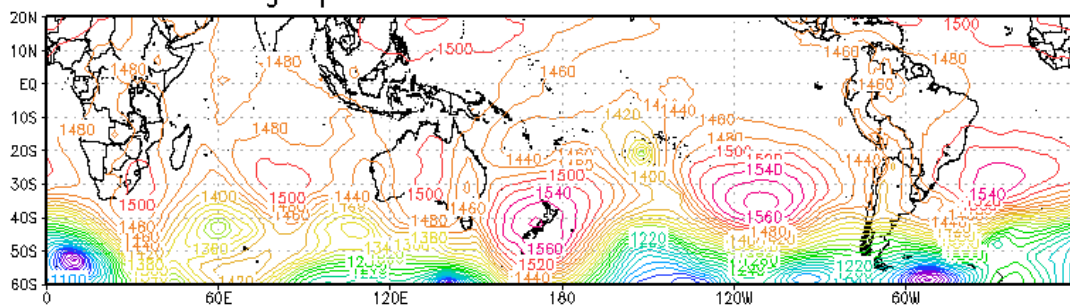
Altura geopotencial em 850 hPa 04FEB2010 00Z



(i)

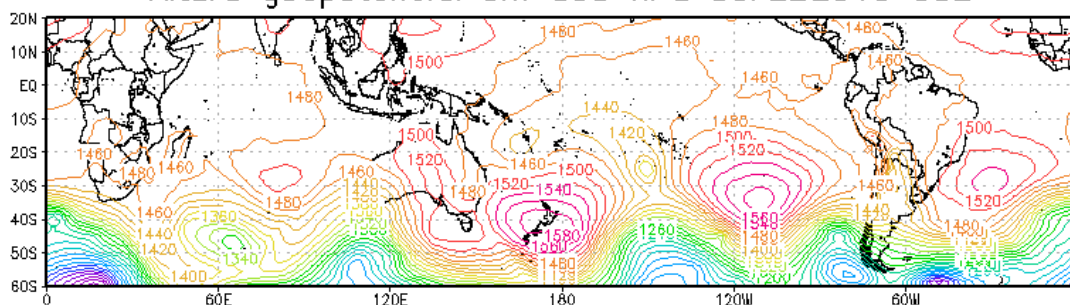
Figura 4.2 – Continuação.

Altura geopotencial em 850 hPa 05FEB2010 00Z



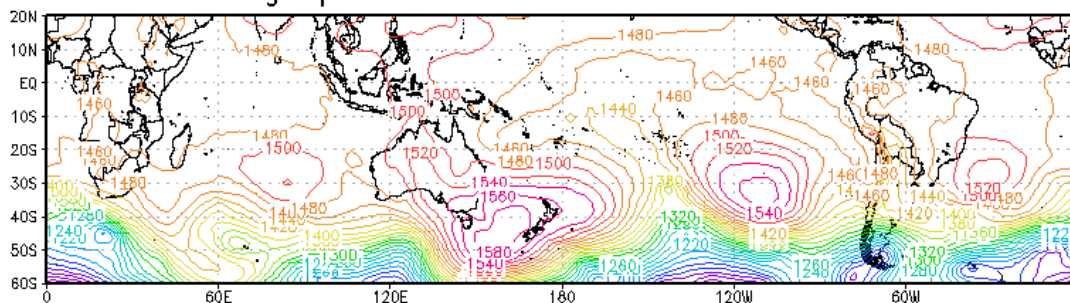
(j)

Altura geopotencial em 850 hPa 06FEB2010 00Z



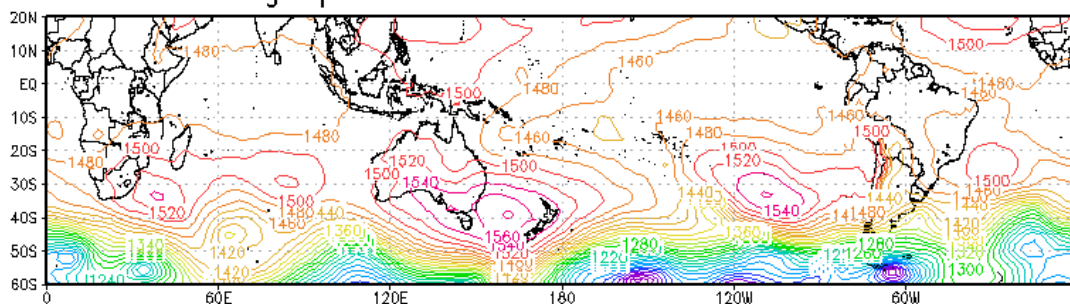
(l)

Altura geopotencial em 850 hPa 07FEB2010 00Z



(m)

Altura geopotencial em 850 hPa 08FEB2010 00Z



(n)

Figura 4.2 – Final.

Ao nível de 850 hPa nota-se que a APL atinge sua intensidade máxima (1600 mgp) nos dias 02 e 03/02 (Fig. 4.2 g e h, respectivamente). A APO também atinge o máximo de 1600 mgp, contudo nos dias 03 e 04/02 (Figura 4.2 h e i, respectivamente). A AA chega a 1580 mgp nos dias 29, 30 e 31/01 (Figura 4.2 c até e, respectivamente) e finalmente a AI apresenta sua máxima intensidade de 1540 mgp nos dias 28, 29 e 30/01 (Figura 4.2 b, c e d, respectivamente).

A Figura 4.3 ilustra o campo médio da anomalia de altura geopotencial em 850 hPa, entre 28 de janeiro e 8 de fevereiro de 2010. Observa-se quatro regiões com anomalias positivas de altura geopotencial: A primeira no Oceano Índico, em aproximadamente 55°S/60°E; a segunda no Pacífico Oeste, em torno de 55°S/170°E, com valores de + 150 mgp; a terceira no Pacífico Leste, com centro em 40°S/110°W e aproximadamente + 60 mgp, e finalmente a quarta no Atlântico Sul em 35°S/30°W com anomalias de aproximadamente + 45 mgp, intercaladas por quatro regiões de anomalias negativas de altura geopotencial. Dessas quatro regiões de anomalias positivas de altura geopotencial, apenas a primeira, do Oceano Índico, não corresponde a uma região anticiclônica, como mostrado na Figura 4.2 a. De fato, esta região onde localiza-se um dipolo (com anomalias positivas de altura geopotencial centrada em aproximadamente 55°S/60°E e anomalias negativas em aproximadamente 35°S/60°E), foi configurada devido a permanência de um centro ciclônico em 45°S/60°E com centro de 1360 mgp gerando um cavado ao norte e uma crista ao sul de seu centro. Na região da AI verifica-se anomalias de altura geopotencial dentro da normalidade, o que mostra claramente que a AI não representa uma alta de bloqueio.

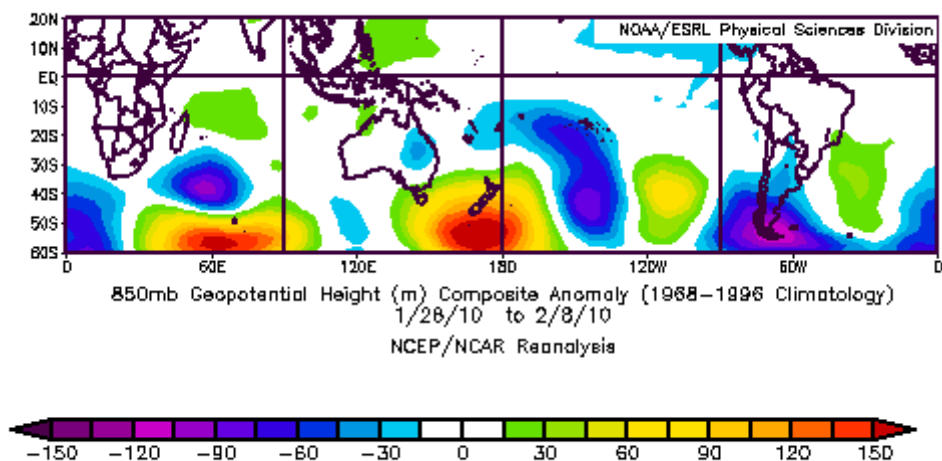


Figura 4.3 – Campo médio da anomalia de altura geopotencial (m) em 850 hPa. Composição para o período de 28/01/2010 a 08/02/2010. Fonte: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/>

A Figura 4.4 ilustra os campos médio e diários de altura geopotencial em níveis médios (nível de 500 hPa). Na Figura 4.4 (a) observa-se a assinatura dos mesmos sistemas descritos na Figura 4.2, apesar de menos evidentes, como por exemplo a AA e a APO que apresentam-se como cristas de 5750 e 5700 mgp, respectivamente. A APL apresenta-se como um anticiclone bem configurado, com centro de 5800 mgp.

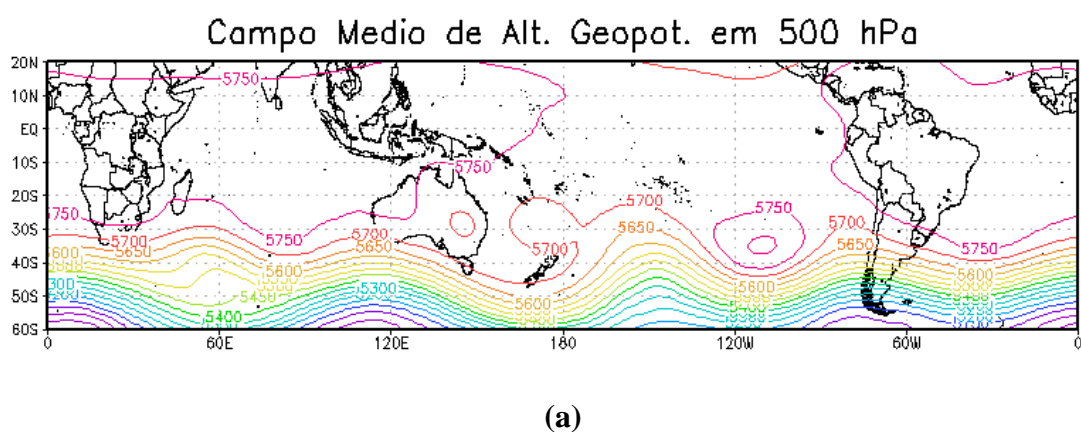
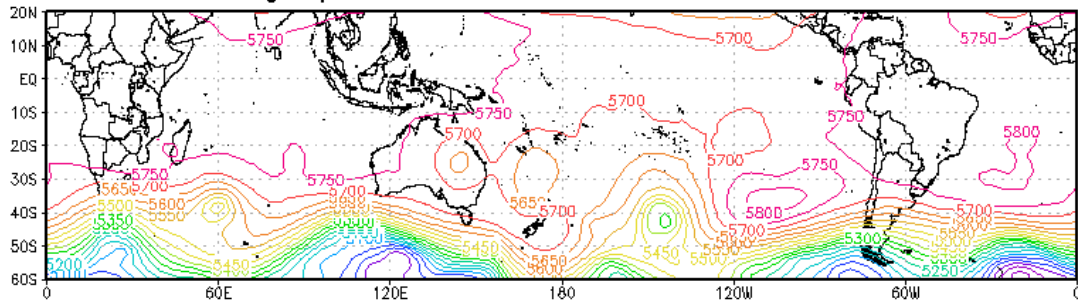


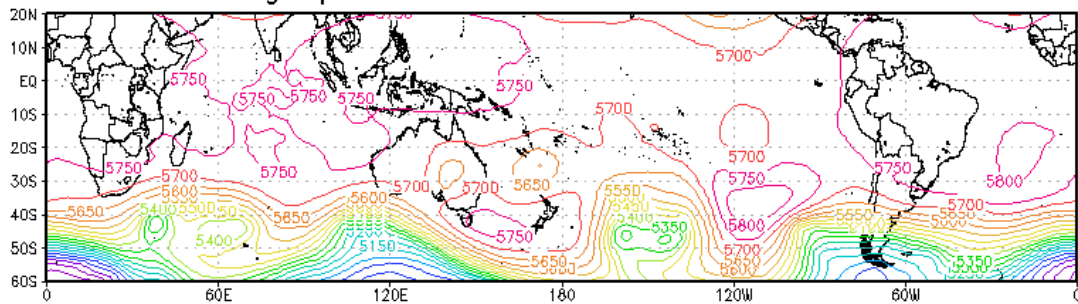
Figura 4.4 - Campo de altura geopotencial (a cada 50 mgp) em 500 hPa, às 00 Z: (a) campo médio entre 28/01/2010 e 08/02/2010, (b) 28/01/2010, (c) 29/01/2010, (d) 30/01/2010, (e) 31/01/2010, (f) 01/02/2010, (g) 02/02/2010, (h) 03/02/2010, (i) 04/02/2010, (j) 05/02/2010, (l) 06/02/2010, (m) 07/02/2010, (n) 08/02/2010.

Altura geopotencial em 500 hPa 01FEB2010 00Z



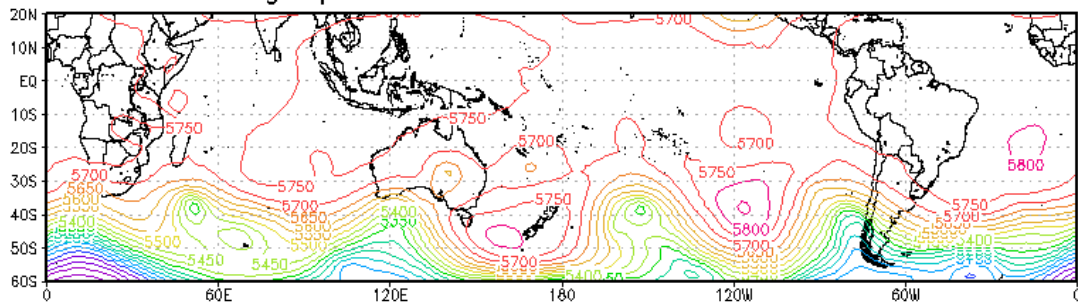
(f)

Altura geopotencial em 500 hPa 02FEB2010 00Z



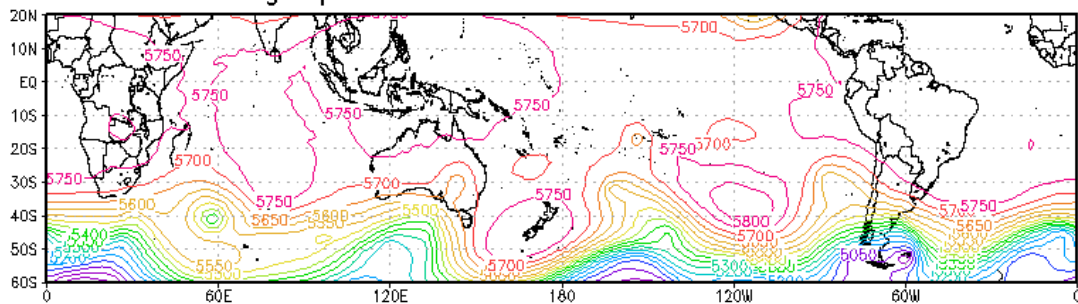
(g)

Altura geopotencial em 500 hPa 03FEB2010 00Z



(h)

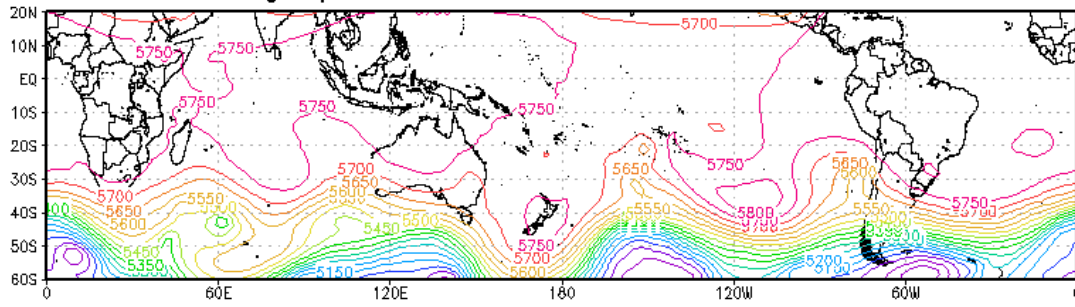
Altura geopotencial em 500 hPa 04FEB2010 00Z



(i)

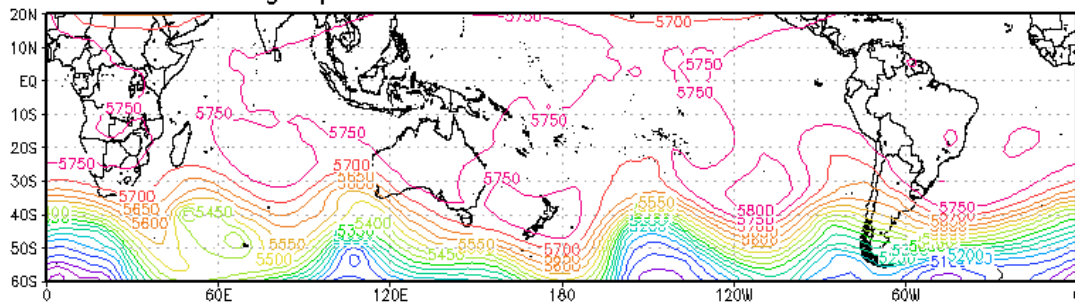
Figura 4.4 – Continuação.

Altura geopotencial em 500 hPa 05FEB2010 00Z



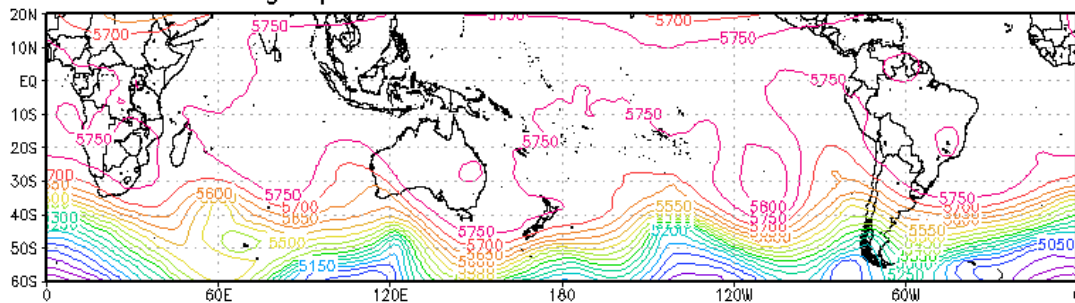
(j)

Altura geopotencial em 500 hPa 06FEB2010 00Z



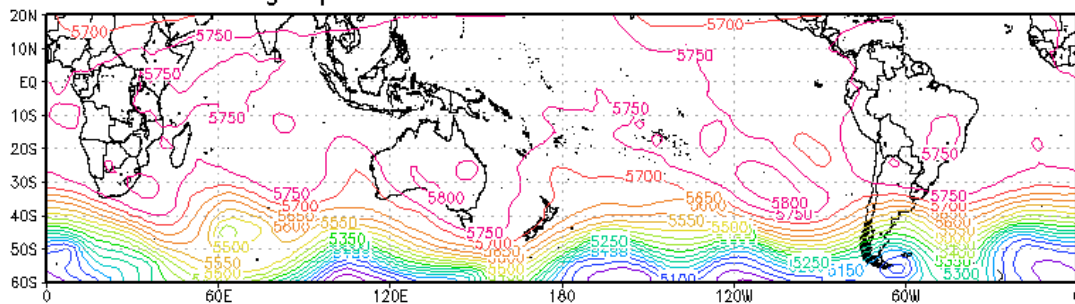
(l)

Altura geopotencial em 500 hPa 07FEB2010 00Z



(m)

Altura geopotencial em 500 hPa 08FEB2010 00Z



(n)

Figura 4.4 – Final.

Ao nível de 500 hPa nota-se que a APL atinge seu máximo de 5850 mgp no dia 03/02 (Figura 4.4 h); a APO apresenta-se um pouco menos intensa, com centro de 5800 mgp no dia 02/02 (Figura 4.4 g) e a AA mantém-se com 5800 mgp desde o dia 29/01 até o dia 06/02 (Figura 4.4 c até l, respectivamente).

O campo médio da anomalia de altura geopotencial em níveis médios é mostrado na Figura 4.5, onde verifica-se anomalias positivas (até +250 mgp) na região da APO e novamente, observa-se a presença de anomalias positivas e negativas intercaladas, posicionadas na mesma região que as anomalias em 850 hPa (Figura 4.3).

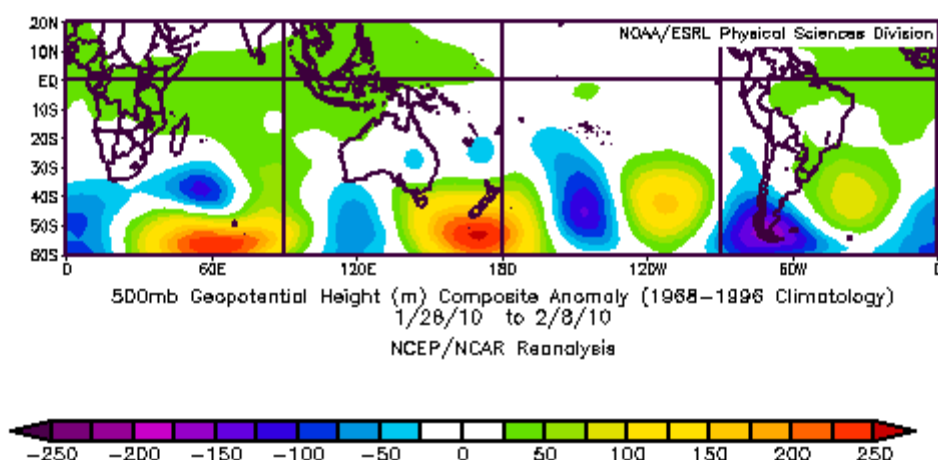
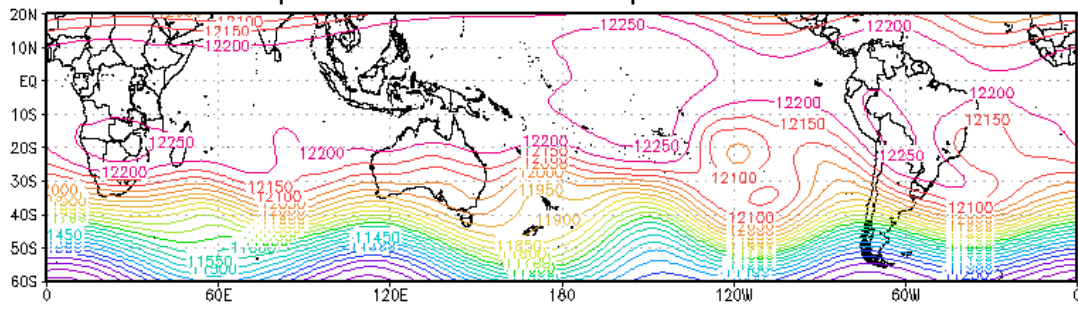


Figura 4.5 – Campo médio da anomalia de altura geopotencial (mgp) em 500 hPa. Composição para o período de 28/01/2010 a 08/02/2010. Fonte: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/>

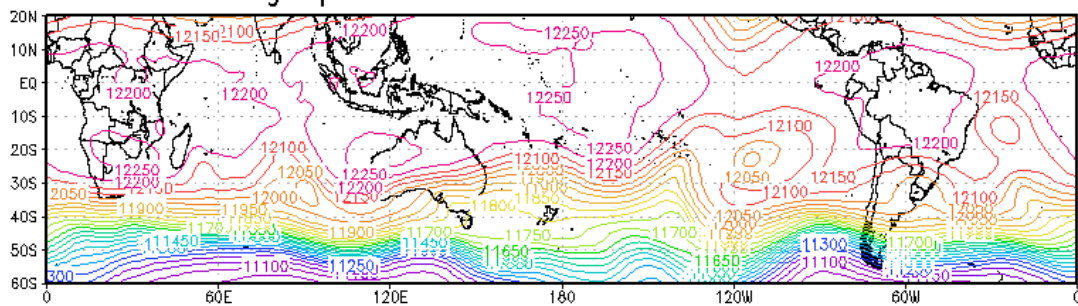
A Figura 4.6 ilustra os campos médio e diários de altura geopotencial em níveis altos (nível de 200 hPa), entre os dias 28 de janeiro e 8 de fevereiro de 2010. Na Figura 4.6 (a) nota-se que apenas a APL aparece bem configurada com um padrão tipo dipolo, apresentando um ciclone de 12050 mgp próximo a 20°S/120°W e um anticiclone de 12150 mgp em torno de 35°S/110°W. Na região do Pacífico Oeste verifica-se uma leve subdivisão do escoamento em torno de 40°S/170°E. Na América do Sul, nota-se a presença do Vórtice Ciclônico do Nordeste (VCN), que é observado também nas imagens de satélite do período (não apresentadas) até o dia 30/01/2010. A partir do dia 31/01/2010 o Vórtice Ciclônico se posiciona sobre o Sudeste do Brasil.

Campo Medio de Alt. Geopot. em 200 hPa



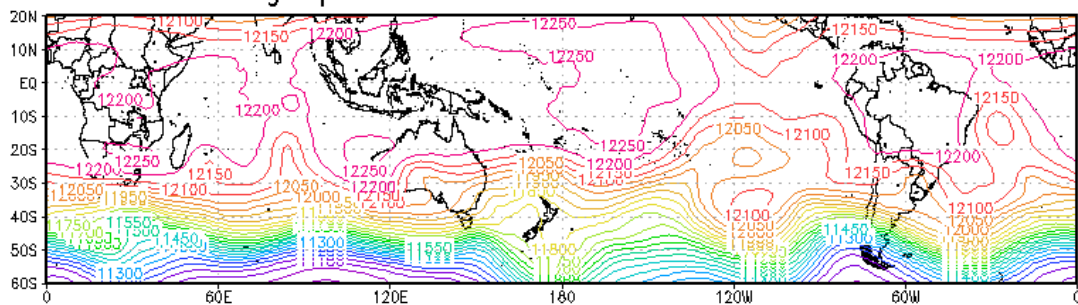
(a)

Altura geopotencial em 200 hPa 28JAN2010 00Z



(b)

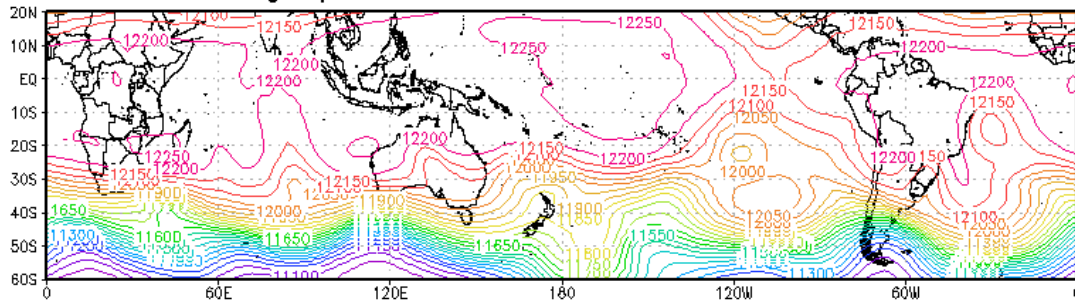
Altura geopotencial em 200 hPa 29JAN2010 00Z



(c)

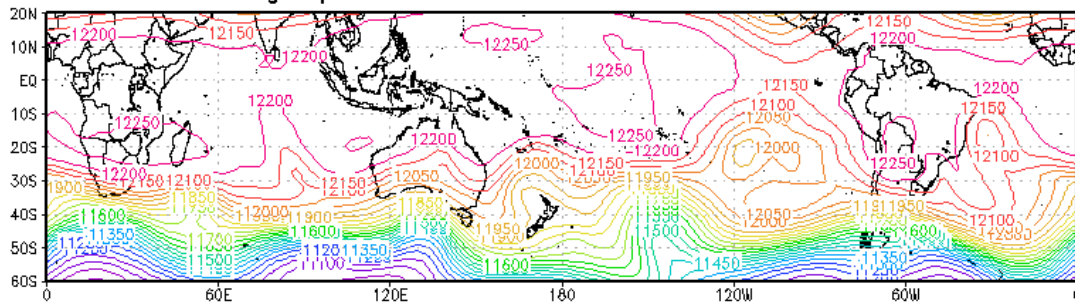
Figura 4.6 - Campo de altura geopotencial (a cada 50 mgp) em 200 hPa, às 00 Z: (a) campo médio entre 28/01/2010 e 08/02/2010, (b) 28/01/2010, (c) 29/01/2010, (d) 30/01/2010, (e) 31/01/2010, (f) 01/02/2010, (g) 02/02/2010, (h) 03/02/2010, (i) 04/02/2010, (j) 05/02/2010, (l) 06/02/2010, (m) 07/02/2010, (n) 08/02/2010.

Altura geopotencial em 200 hPa 30JAN2010 00Z



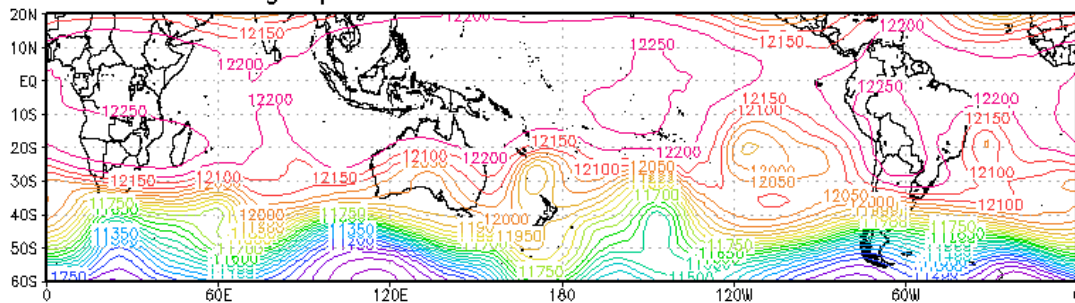
(d)

Altura geopotencial em 200 hPa 31JAN2010 00Z



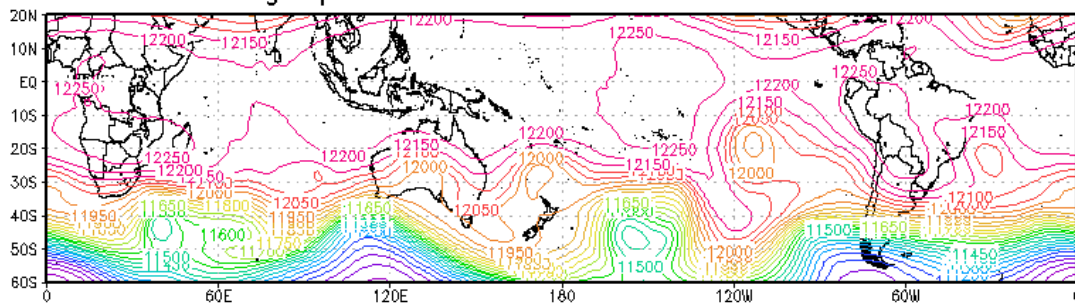
(e)

Altura geopotencial em 200 hPa 01FEB2010 00Z



(f)

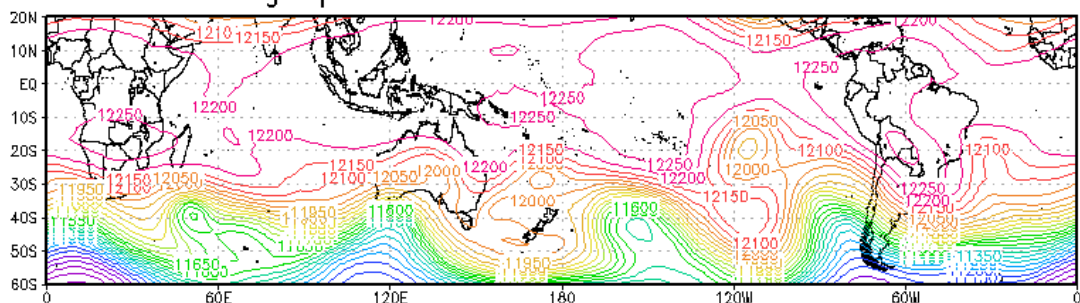
Altura geopotencial em 200 hPa 02FEB2010 00Z



(g)

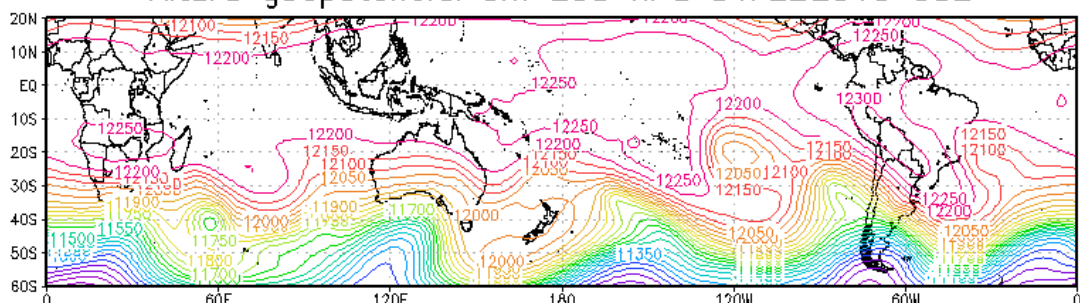
Figura 4.6 – Continuação.

Altura geopotencial em 200 hPa 03FEB2010 00Z



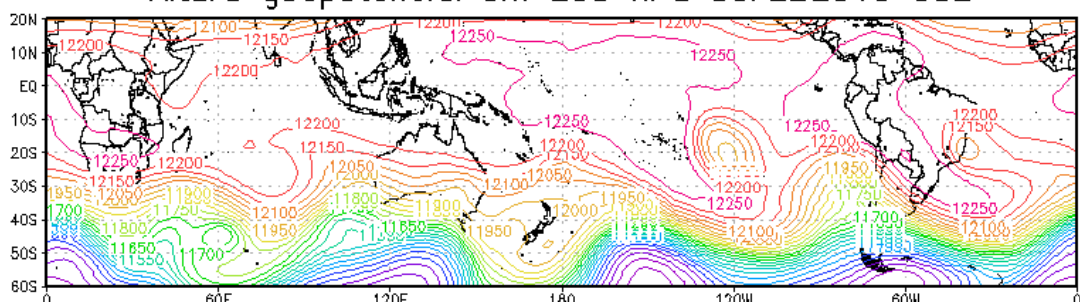
(h)

Altura geopotencial em 200 hPa 04FEB2010 00Z



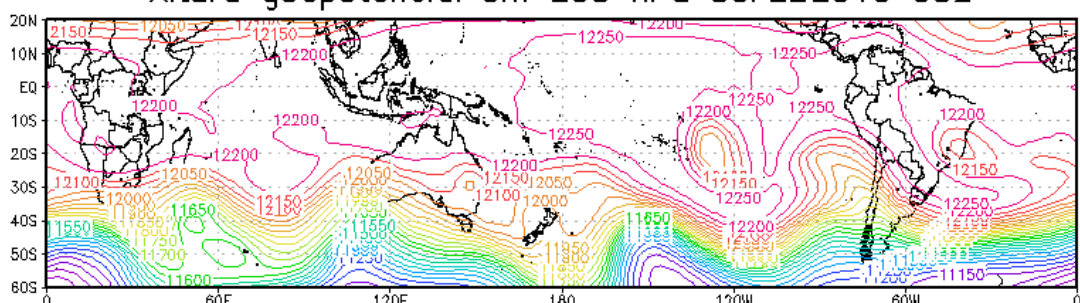
(i)

Altura geopotencial em 200 hPa 05FEB2010 00Z



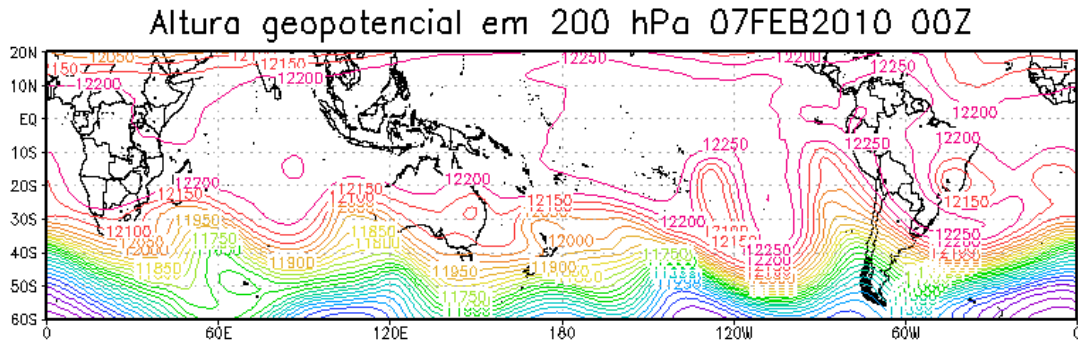
(j)

Altura geopotencial em 200 hPa 06FEB2010 00Z

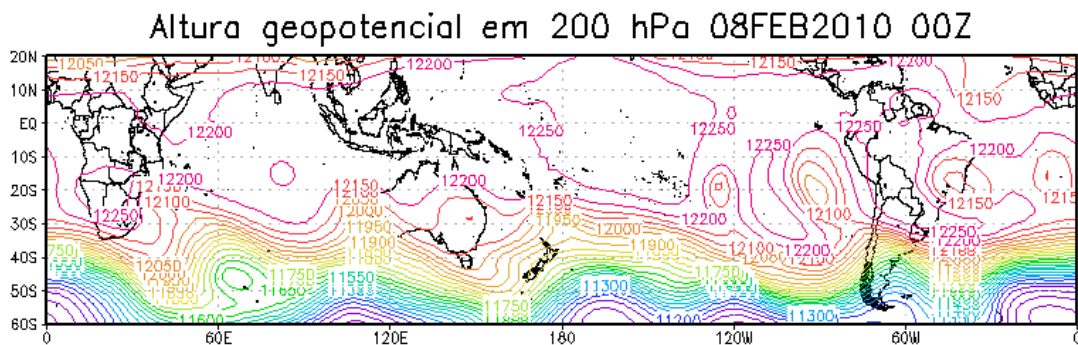


(l)

Figura 4.6 – Continuação.



(m)



(n)

Figura 4.6 - Final.

Nota-se que entre 28/01 e 04/02/2010 (Figura 4.6 b até i), há uma tendência de bifurcação tipo dipolo na região da APL, indicando uma característica da alta de bloqueio nesta região de latitudes subtropicais. Na região da APO observa-se uma leve divisão do escoamento, mas no dia 01/02 (Figura 4.6 f) fecha-se uma baixa de 11900 mgp.

O campo médio da anomalia de altura geopotencial em 200 hPa é mostrado na Figura 4.7, onde observa-se novamente o padrão alternado entre anomalias positivas e negativas de altura geopotencial, mantendo o mesmo posicionamento em relação aos níveis baixos e médios (ver Figuras 4.3 e 4.5). Neste nível a anomalia positiva sobre a região da Alta do Pacífico Leste apresenta-se mais intensa do que as demais anomalias positivas, o que só ocorre neste nível.

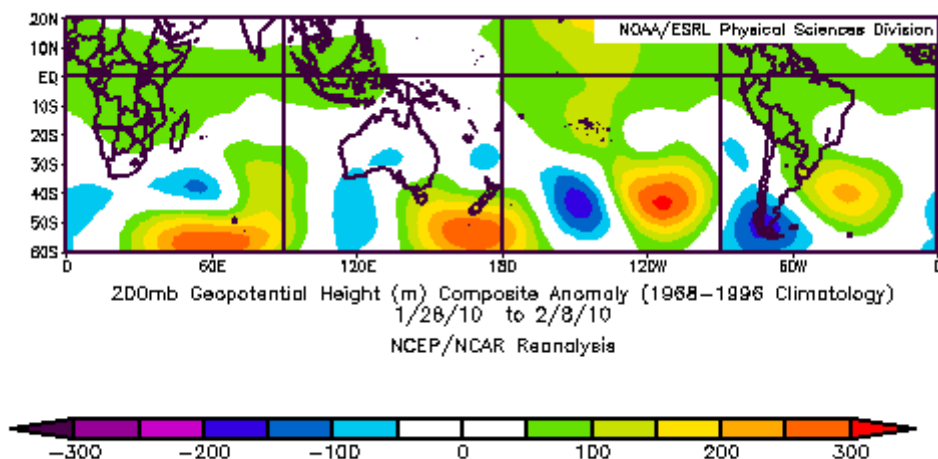


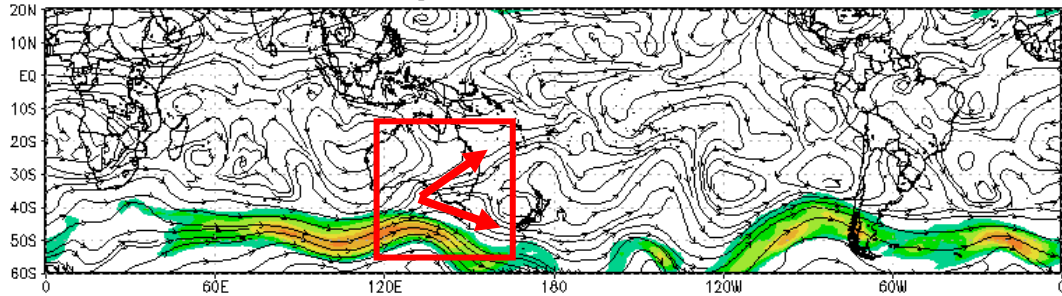
Figura 4.7 – Campo médio da anomalia de altura geopotencial (mgp) em 200 hPa. Composição para o período de 28/01/2010 a 08/02/2010. Fonte: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/>

A seguir são apresentados os campos de linha de corrente e magnitude do vento para o período em estudo nos níveis de 500 e 200 hPa. Os campos referentes ao nível de 850 hPa são omitidos por apresentarem-se semelhantes aos campos de altura geopotencial em 850 hPa (Figura 4.2).

A Figura 4.8 apresenta os campos de linha de corrente e magnitude do vento em 500 hPa, para o período em estudo. No dia 28/01/2010 (Figura 4.8 a), observa-se a existência de uma divisão do escoamento de oeste, em dois ramos, sobre a APO (aproximadamente 35°S/160°W). No dia 29/01/2010 (Figura 4.8 b), observa-se uma segunda bifurcação do escoamento de oeste sobre a APL (aproximadamente 25°S/140°W). Essas divisões do escoamento caracterizam o início de cada um dos dois eventos de bloqueio. A divisão do escoamento de oeste sobre o Pacífico Oeste permanece até dia 06/02/2010 (Figura 4.8 j), assim o primeiro bloqueio tem fim dia 07/02/2010. A bifurcação do escoamento sobre o bloqueio subtropical do Pacífico Leste permanece até o dia 07/02/2010 (Figura 4.8 l). Entre os dias 29/01 e 05/02/2010 (Figura 4.8 b e i) nota-se que o bloqueio do Pacífico Leste possui características tipo dipolo (constituído de um anticiclone de grande amplitude acompanhado de um ciclone no lado equatorial); nos dias 06 e 07/02/2010 (Figura 4.8 j e l), o bloqueio adquiri características de uma crista estacionária de grande amplitude e observa-se, ainda, que durante alguns períodos o ramo superior da divisão do escoamento de oeste ultrapassa o equador sugerindo troca de massa entre os hemisférios (dias 03 e 04/02/2010, por exemplo).

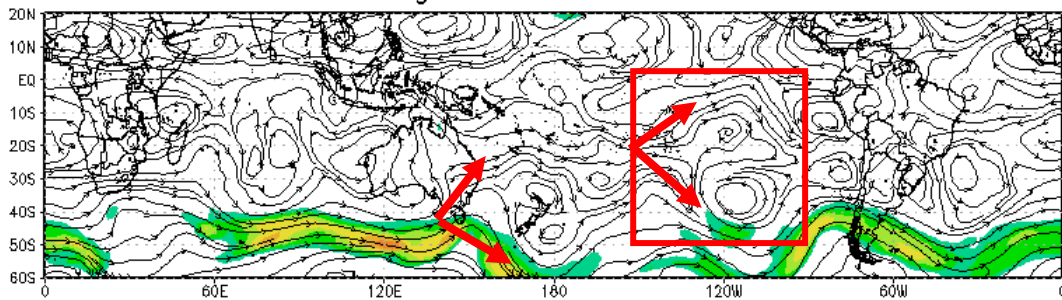
Pode-se, ainda, observar que ao longo de todo período o sistema de jato duplo se manteve por, no mínimo, 45 graus de longitude tanto para a APO quanto para a APL e que estes dois bloqueios ocorreram de maneira simultânea entre 29/01 e 06/02/2010.

Linhas de corrente e Mag. do vento em 500 hPa 28JAN2010 00Z



(a)

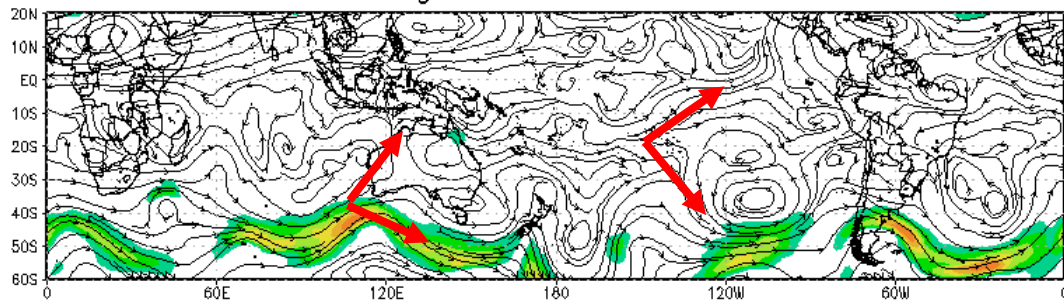
Linhas de corrente e Mag. do vento em 500 hPa 29JAN2010 00Z



(b)

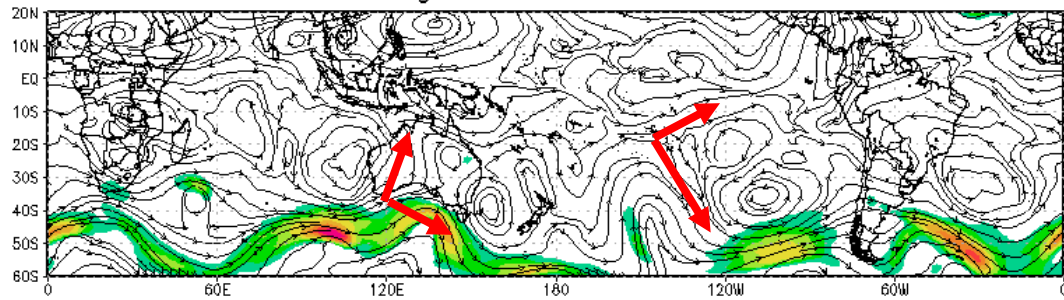
Figura 4.8 - Campo de linhas de corrente e magnitude do vento (sombreado em m/s) ao nível de 500 hPa, às 00 Z, para os dias: (a) 28/01/2010, (b) 29/01/2010, (c) 30/01/2010, (d) 31/01/2010, (e) 01/02/2010, (f) 02/02/2010, (g) 03/02/2010, (h) 04/02/2010, (i) 05/02/2010, (j) 06/02/2010, (l) 07/02/2010, (m) 08/02/2010.

Linhas de corrente e Mag. do vento em 500 hPa 30JAN2010 00Z



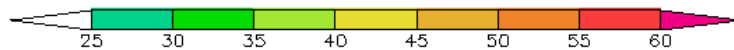
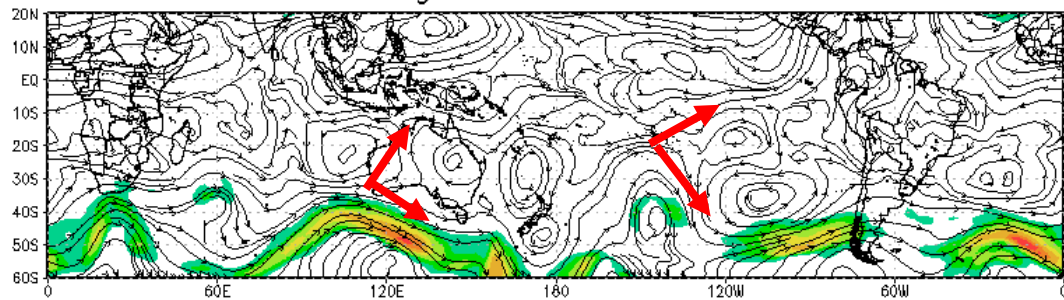
(c)

Linhas de corrente e Mag. do vento em 500 hPa 31JAN2010 00Z



(d)

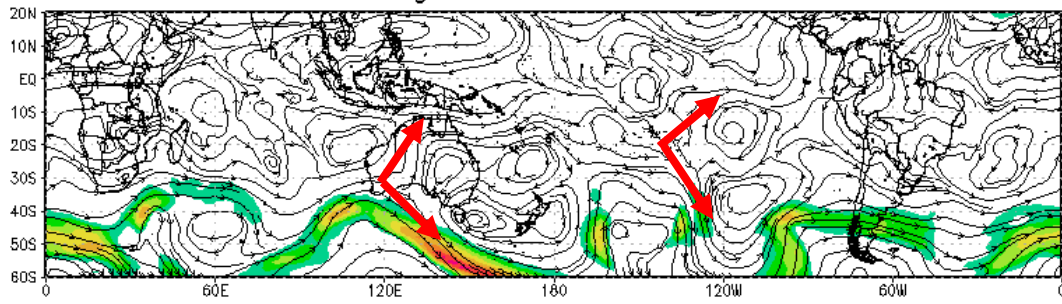
Linhas de corrente e Mag. do vento em 500 hPa 01FEB2010 00Z



(e)

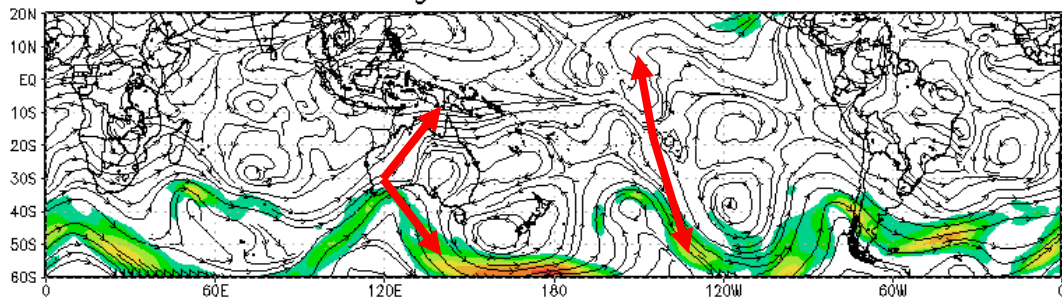
Figura 4.8 – Continuação

Linhas de corrente e Mag. do vento em 500 hPa 02FEB2010 00Z



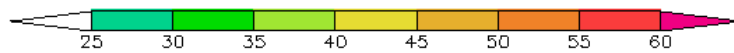
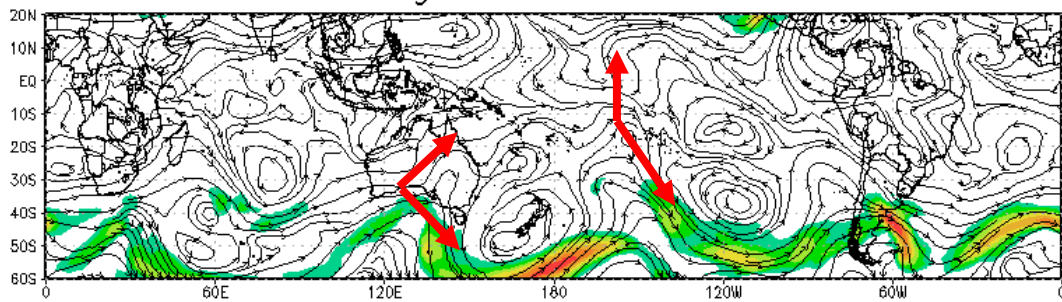
(f)

Linhas de corrente e Mag. do vento em 500 hPa 03FEB2010 00Z



(g)

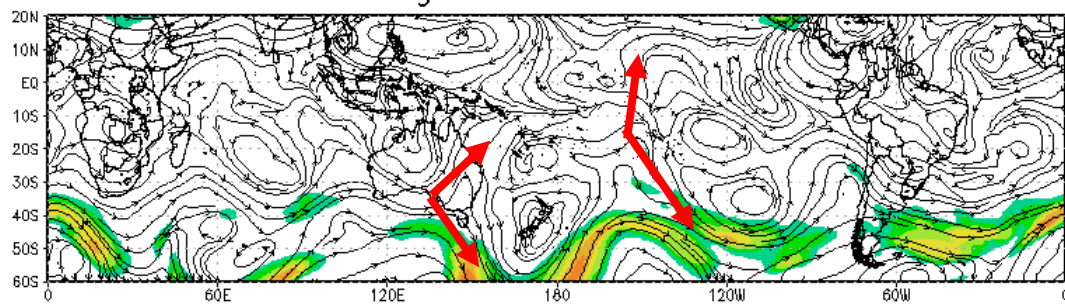
Linhas de corrente e Mag. do vento em 500 hPa 04FEB2010 00Z



(h)

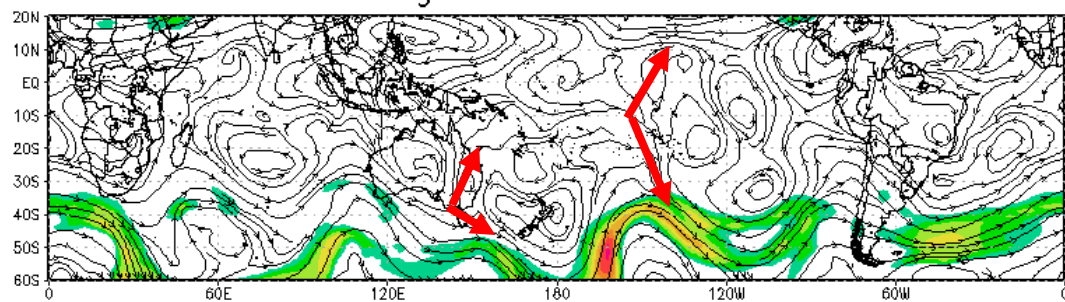
Figura 4.8 – Continuação

Linhas de corrente e Mag. do vento em 500 hPa 05FEB2010 00Z



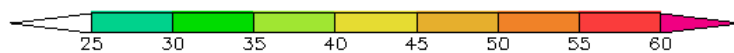
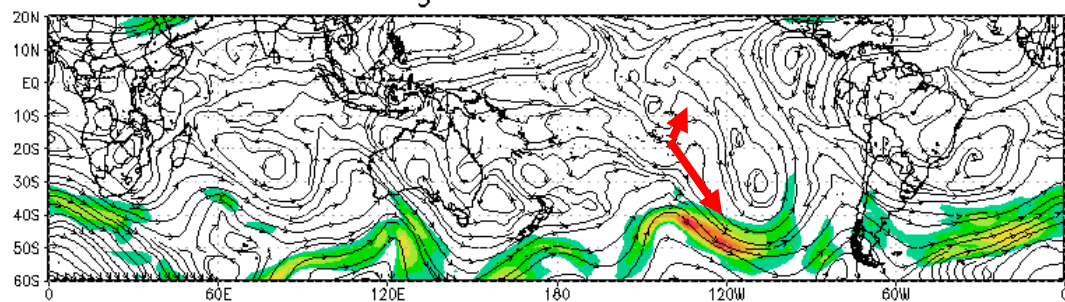
(i)

Linhas de corrente e Mag. do vento em 500 hPa 06FEB2010 00Z



(j)

Linhas de corrente e Mag. do vento em 500 hPa 07FEB2010 00Z



(l)

Figura 4.8 – Continuação.

Linhas de corrente e Mag. do vento em 500 hPa 08FEB2010 00Z

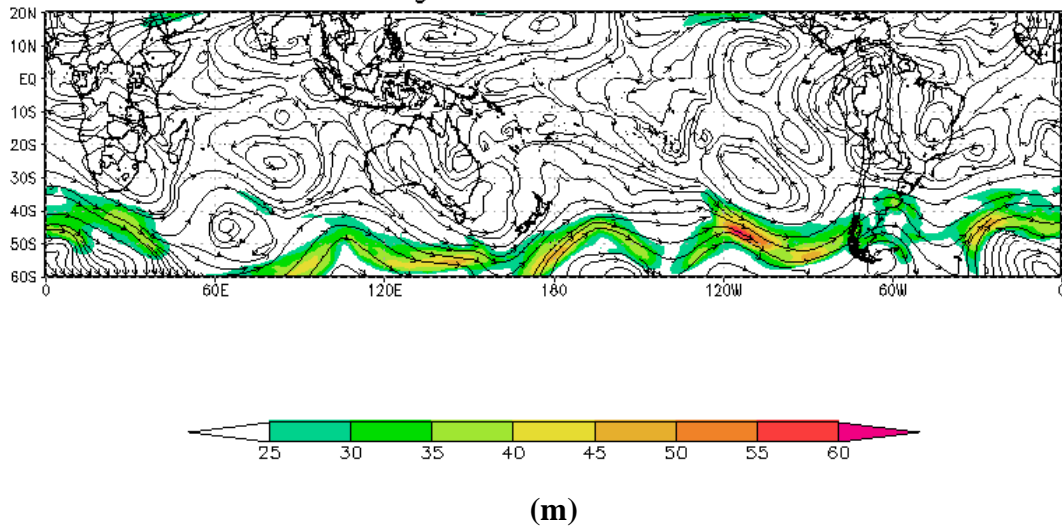


Figura 4.8 - Final.

A composição do campo médio da anomalia do vento zonal, em 500 hPa, é mostrada na Figura 4.9. Sabendo que, em latitudes médias, a circulação atmosférica é caracterizada, predominantemente, por um escoamento zonal de oeste para leste, a figura seguinte evidencia a presença do bloqueio, devido à redução da magnitude do vento zonal na região bloqueada e intensificação desta componente do vento a norte e a sul do anticiclone. Esta característica está presente em três regiões anticiclônicas (APO, APL e AA). Porém, a AA não pode ser considerada como alta de bloqueio, pois não apresenta divisão do escoamento de oeste, em 500 hPa.

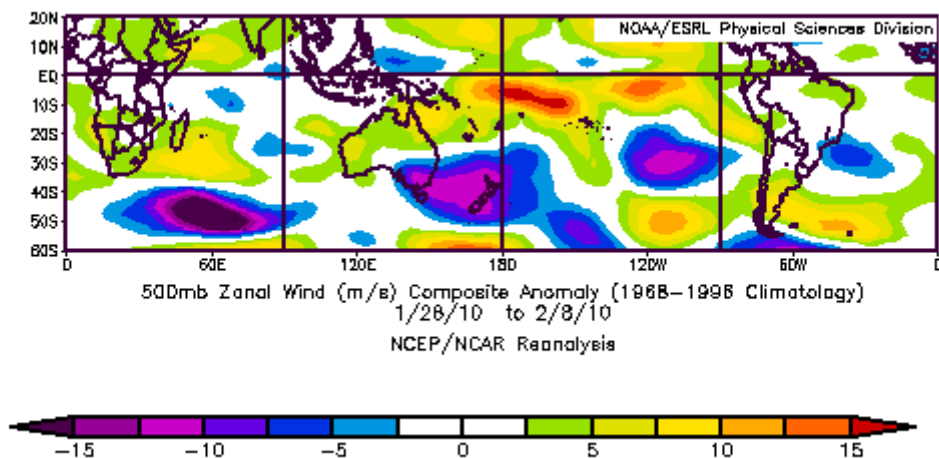
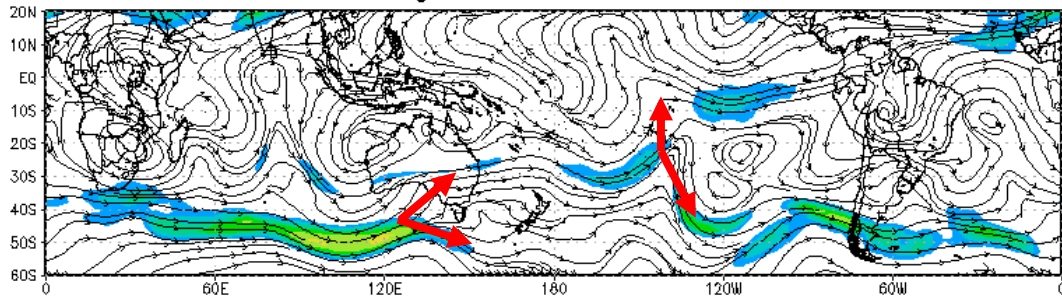


Figura 4.9 – Campo médio da anomalia do vento zonal (m/s) em 500 hPa. Composição para o período de 28/01/2010 a 08/02/2010. Fonte: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/>

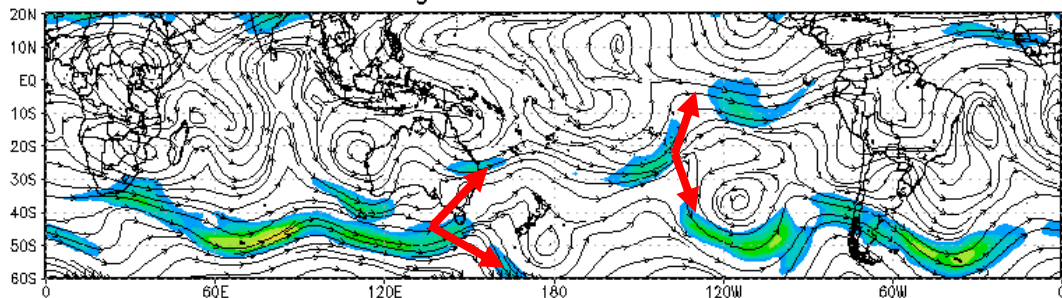
A Figura 4.10 ilustra os campos de linha de corrente e magnitude do vento em 200 hPa, para o período estudado. Como o escoamento é mais zonal nos altos níveis, observa-se mais facilmente a divisão do escoamento de oeste, que está presente em todos os dias estudados, e também a presença de ventos mais intensos sobre o sistema de duplo jato do que na região efetivamente bloqueada.

Linhas de corrente e Mag. do vento em 200 hPa 28JAN2010 00Z



(a)

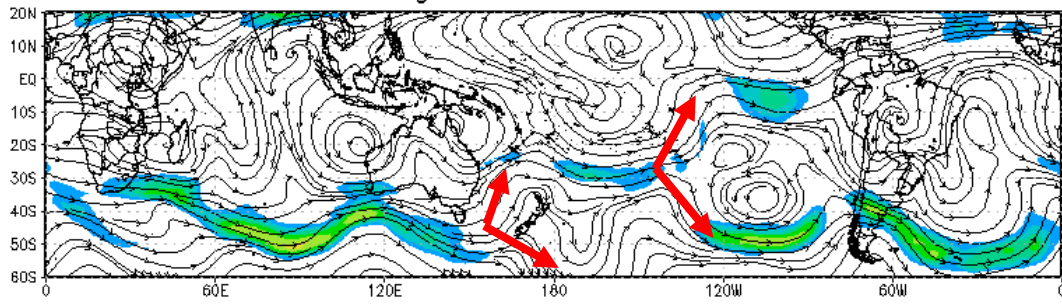
Linhas de corrente e Mag. do vento em 200 hPa 29JAN2010 00Z



(b)

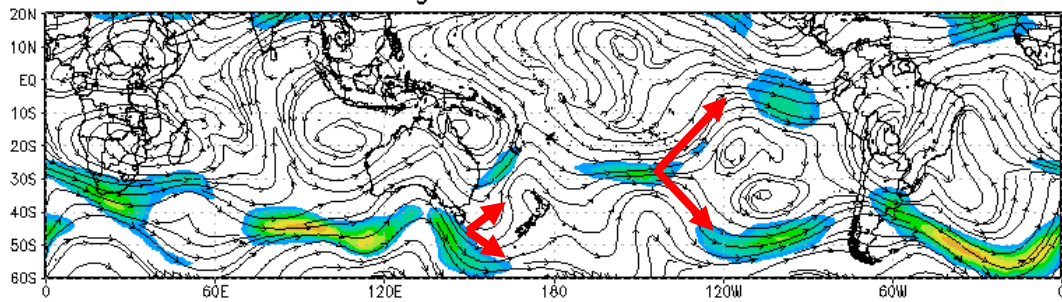
Figura 4.10 - Campo de linhas de corrente e magnitude do vento (sombreado em m/s) em 200 hPa, às 00 Z, para os dias: (a) 28/01/2010, (b) 29/01/2010, (c) 30/01/2010, (d) 31/01/2010, (e) 01/02/2010, (f) 02/02/2010, (g) 03/02/2010, (h) 04/02/2010, (i) 05/02/2010, (j) 06/02/2010, (l) 07/02/2010, (m) 08/02/2010.

Linhas de corrente e Mag. do vento em 200 hPa 30JAN2010 00Z



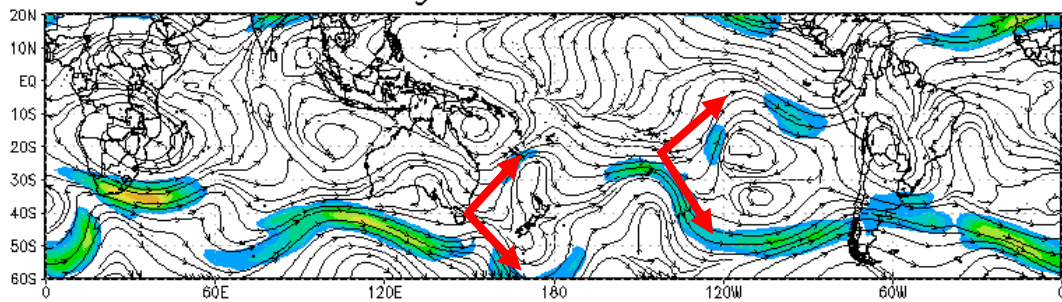
(c)

Linhas de corrente e Mag. do vento em 200 hPa 31JAN2010 00Z



(d)

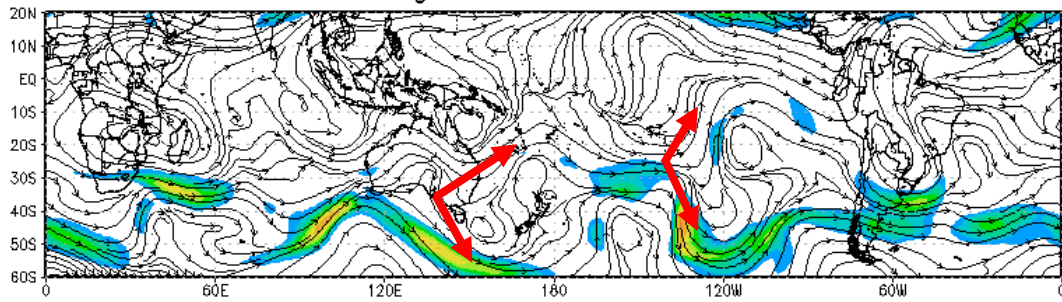
Linhas de corrente e Mag. do vento em 200 hPa 01FEB2010 00Z



(e)

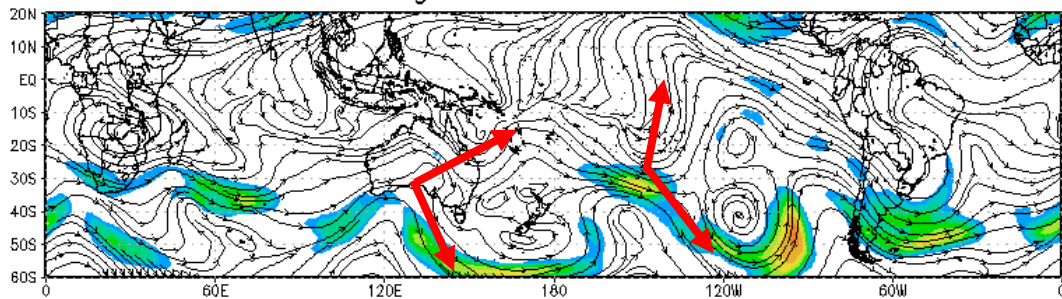
Figura 4.10 – Continuação.

Linhas de corrente e Mag. do vento em 200 hPa 02FEB2010 00Z



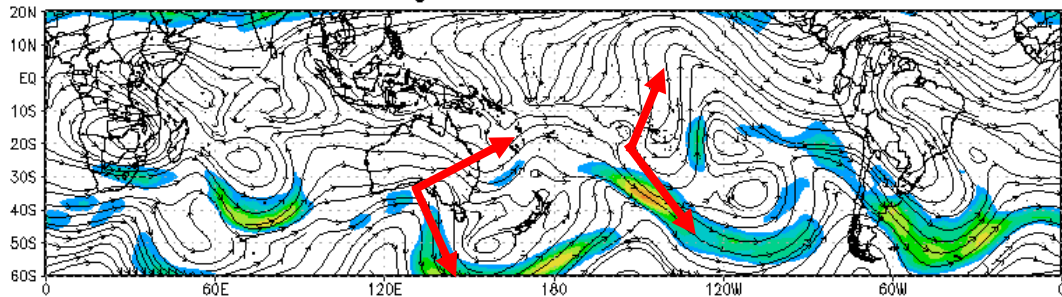
(f)

Linhas de corrente e Mag. do vento em 200 hPa 03FEB2010 00Z



(g)

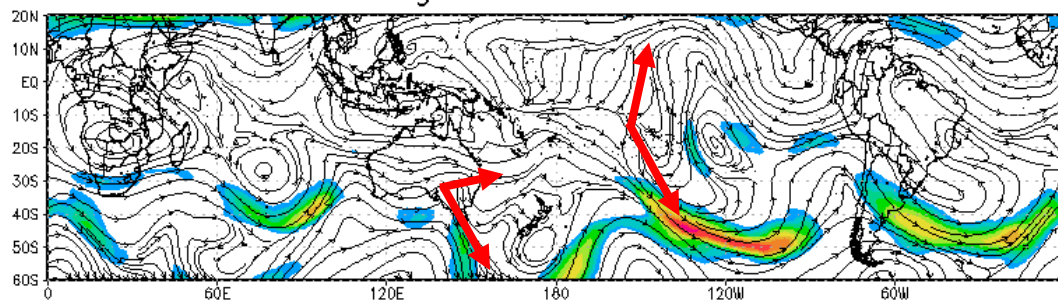
Linhas de corrente e Mag. do vento em 200 hPa 04FEB2010 00Z



(h)

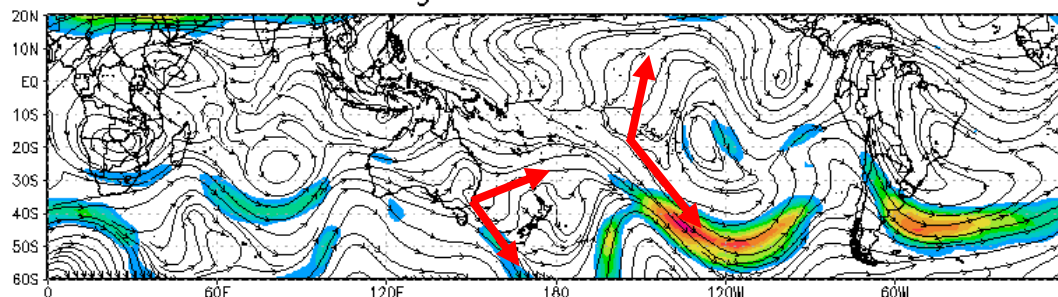
Figura 4.10 – Continuação.

Linhas de corrente e Mag. do vento em 200 hPa 05FEB2010 00Z



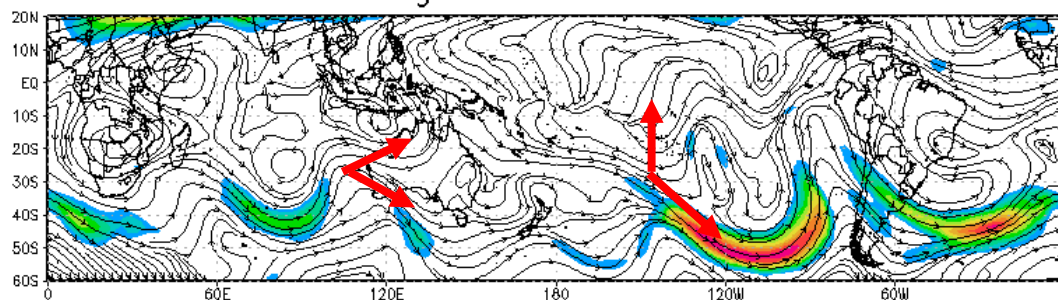
(i)

Linhas de corrente e Mag. do vento em 200 hPa 06FEB2010 00Z



(j)

Linhas de corrente e Mag. do vento em 200 hPa 07FEB2010 00Z



(l)

Figura 4.10 – Continuação.

Linhas de corrente e Mag. do vento em 200 hPa 08FEB2010 00Z

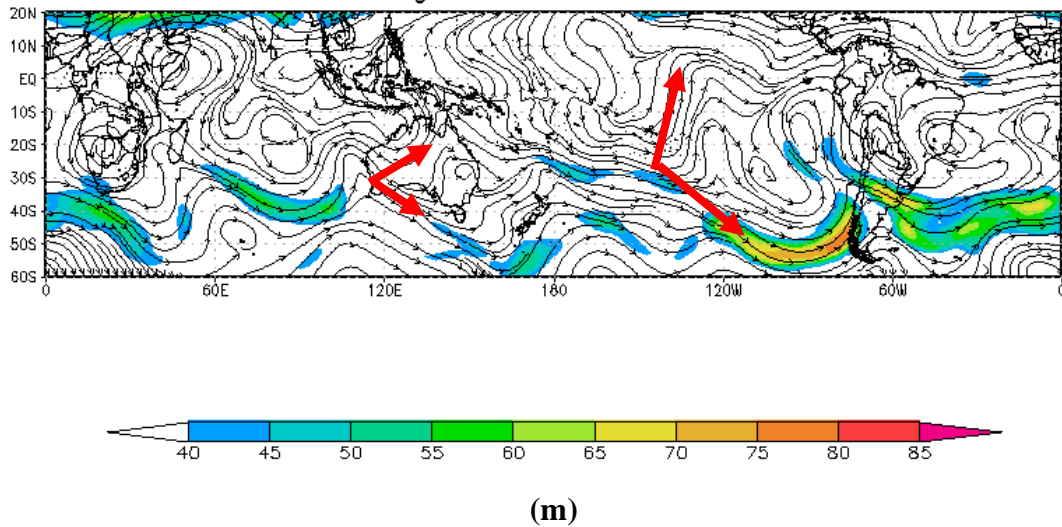


Figura 4.10 – Final.

A Figura 4.11 mostra o campo médio da anomalia de vento zonal em 200 hPa, para o período de estudo. Mais uma vez observa-se a redução da magnitude do vento zonal nas regiões de bloqueio e a intensificação dessa variável, tanto a norte quanto a sul dos anticiclones de bloqueio.

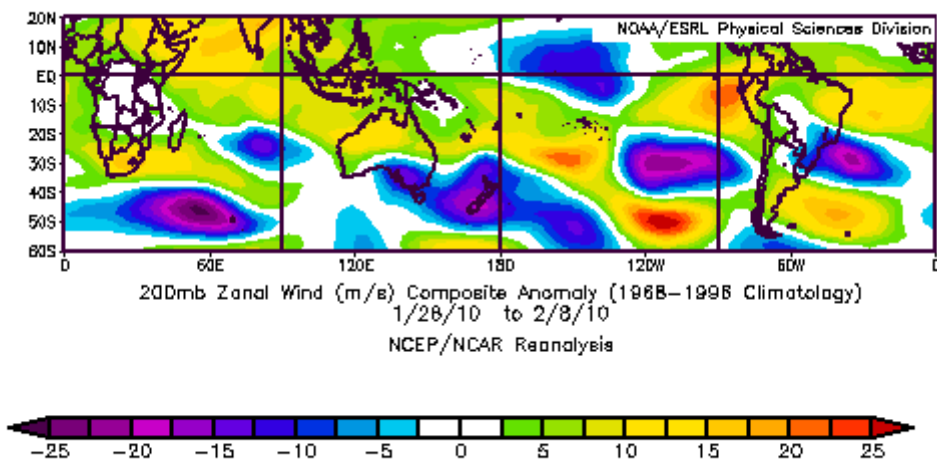


Figura 4.11 – Campo médio da anomalia do vento zonal (m/s) em 200 hPa. Composição para o período de 28/01/2010 a 08/02/2010. Fonte: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/>

A Figura 4.12 ilustra o campo médio da anomalia de temperatura do ar em 1000 hPa, para o período de interesse. Nota-se uma grande semelhança entre os mapas das Figuras 4.5 e 4.12, com as anomalias positivas de temperatura do ar coincidindo com as

regiões de anomalias positivas de altura geopotencial em 500 hPa, ou seja, elevadas temperaturas onde as altas de bloqueio se estabelecem. Na América do Sul predominam anomalias positivas, com máximos superiores a 2 °C na Região Sul do Brasil. Neste período não houve penetração de sistemas frontais no Brasil e, de acordo com o INMET, as temperaturas nas Regiões Sul e Sudeste chegaram a 39 e 41 °C, respectivamente, nas cidades de Porto Alegre (RS) e Rio de Janeiro (RJ).

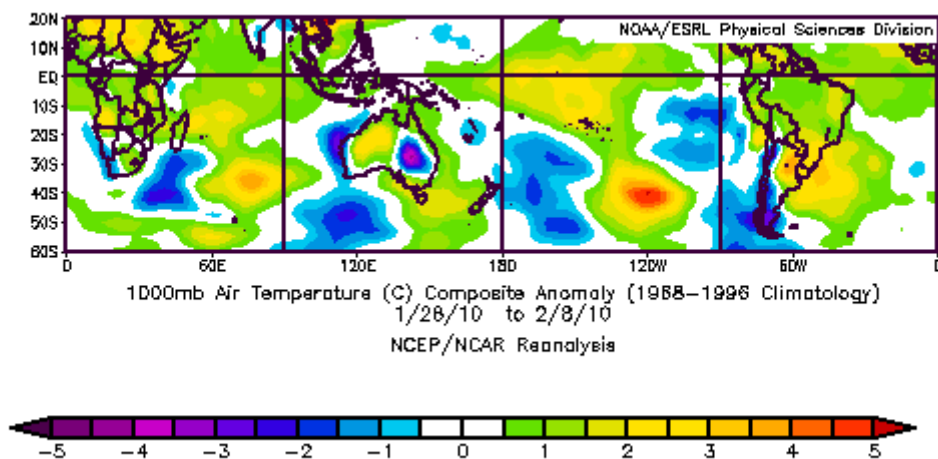


Figura 4.12 – Campo médio da anomalia de temperatura do ar (°C) em 1000 hPa. Composição para o período de 28/01/2010 a 08/02/2010. Fonte: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/>

A Figura 4.13 apresenta a posição dos centros das altas em 200, 500 e 850 hPa no dia 01/02/2010, às 00 Z. As linhas pretas (vermelhas) demarcam as regiões onde estavam posicionados os centros dos anticiclones em 850 (500) hPa. A região sombreada representa o campo em 200 hPa. Nota-se principalmente que a APL apresentou características de um sistema tipicamente barotrópico, acoplado em toda troposfera, o que desfavoreceu seu deslocamento. Este padrão permaneceu durante todo período estudado.

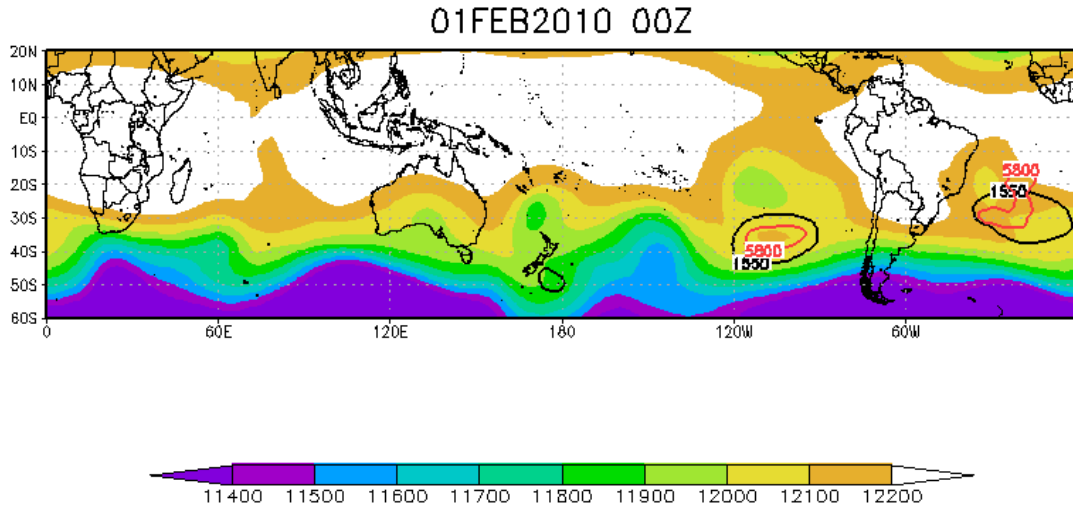


Figura 4.13 – Campo de altura geopotencial (a cada 100 mgp) para 00 Z de 01/02/2010: sombreado em 200 hPa; com linhas vermelhas em 500 hPa e com linhas pretas em 850 hPa, demarcando as posições dos centros das altas em 500 e 850 hPa, respectivamente.

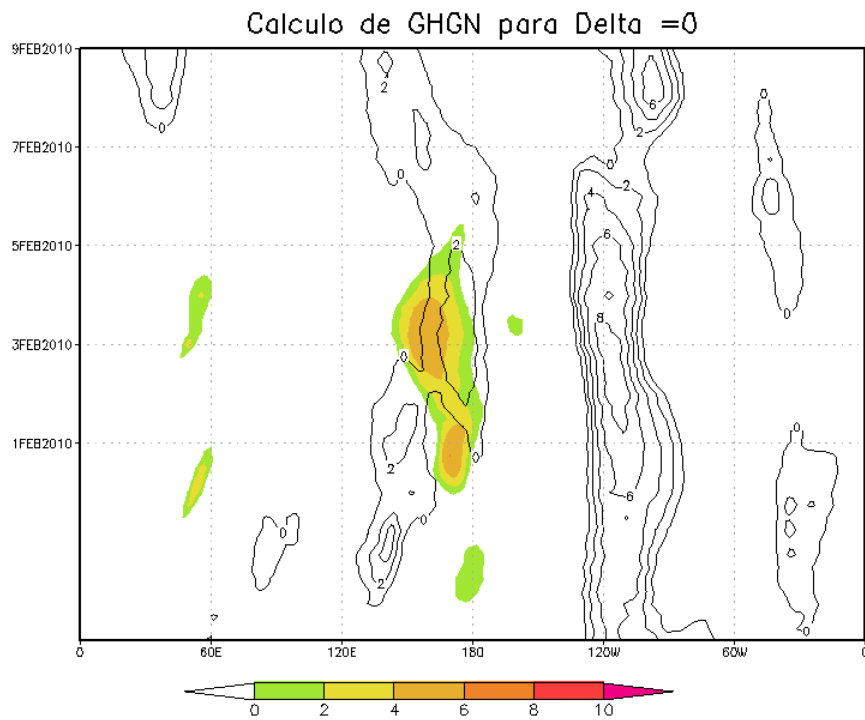
As análises elaboradas anteriormente indicam claramente que a AI não pode ser considerada como uma alta de bloqueio, pois além de não apresentar anomalias de altura geopotencial significativamente elevadas, não indica divisão do escoamento de oeste, em 500 hPa. A AA, apesar de apresentar anomalias positivas de altura geopotencial persistentes no nível de 500 hPa, não apresenta divisão do escoamento de oeste neste nível. Dessa forma constata-se que estes dois sistemas anticiclônicos tratam-se simplesmente de altas subtropicais. Contudo, mesmo não atendendo aos critérios subjetivos de Rex (1950 a, b), a AA apresenta-se como um obstáculo aos sistemas transientes de oeste, caracterizando então um escoamento bloqueado (segundo a definição de Ambrizzi *et al.*, 2009) durante todo período estudado. Os demais sistemas (APO e APL) apresentam as características típicas de sistemas de bloqueio, pois atendem aos critérios de Rex (1950 a, b): (a) subdivisão do escoamento de oeste em dois ramos; (b) transporte de massa significativo por cada ramo; (c) jato duplo estendido por longitude mínima de 45 graus de longitude; (d) transição do escoamento zonal para escoamento meridional região da bifurcação; (e) persistência mínima de 10 dias.

4.2 Análise objetiva do evento de Bloqueio

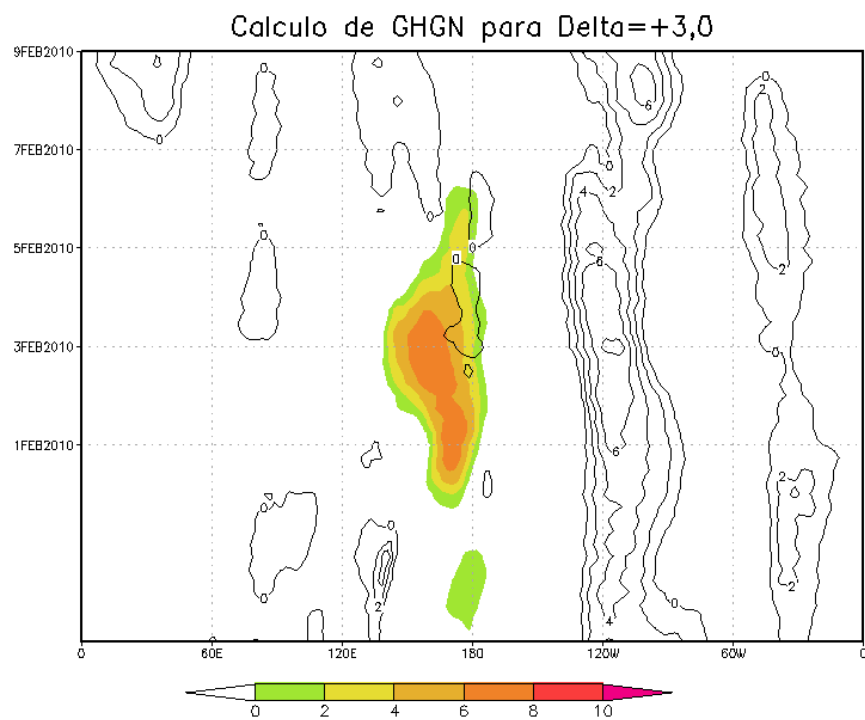
A Figura 4.14 ilustra um diagrama Hovmöller (longitude-tempo) para o termo GHGN do índice adaptado, para o HS, por Tibaldi *et al.*(1994), descrito nas equações

11 a 16 do Capítulo 3. Nesta figura, é feita uma comparação entre o método sugerido (centrado em 50°S), que está representado em sombreado colorido e um método adaptado (centrado em 35°S), em linhas pretas.

Como descrito na metodologia, numa situação de bloqueio o índice GHGN deve ser positivo para no mínimo um valor de Delta. Desta forma, nota-se através da Figura 4.14 que apenas a APO é identificada em GHGN-50°S, com valores superiores a 6 mgp/grau de latitude em torno do dia 03/02, no campo de Delta + 3. De fato, na Figura 4.4 (g a l) é possível observar a latitude preferencial da APO, centrada em aproximadamente 50°S. As demais altas (AA e APL) não são identificadas com valores positivos no campo de GHGN centrado em 50°S (sombreado colorido), por localizarem-se em latitudes subtropicais. Ainda na Figura 4.14, as linhas pretas que representam o índice GHGN centrado em 35°S, mostram áreas com valores positivos na região onde localiza-se a APL e a AA. Na faixa longitudinal referente a localização da APL os valores de GHGN atingem até 8 mgp/grau de latitude nos campos de Delta, Delta + 3 e Delta -3. Para a região da AA os valores de GHGN são também positivos, contudo, de menor magnitude do que em APL, com valores de no máximo 2 mgp/grau de latitude.

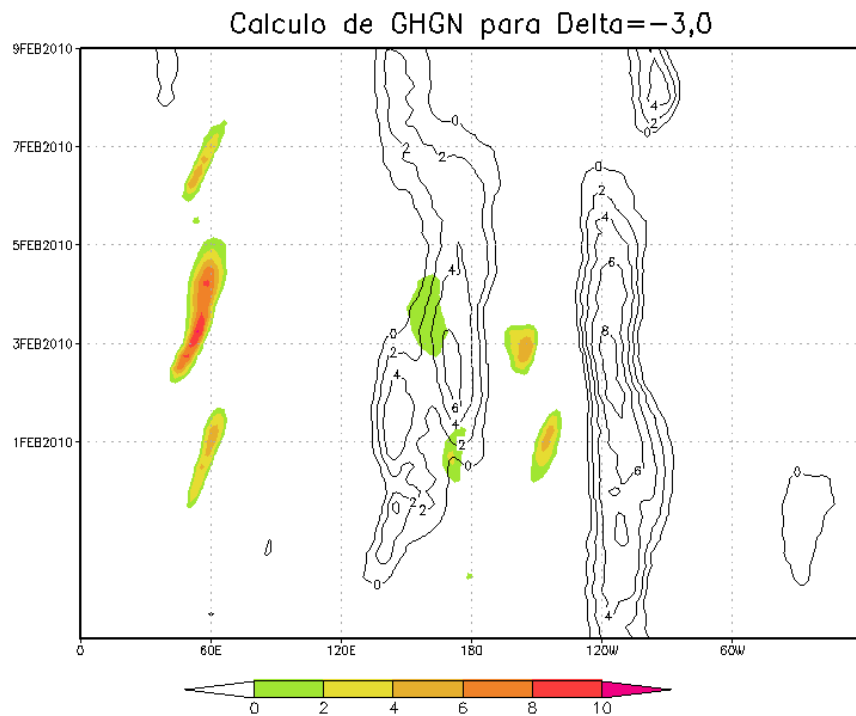


(a)



(b)

Figura 4.14 – Diagrama Hovmöller (longitude-tempo) do cálculo de GHGN (mgp/grau de latitude), entre os dias 28/01/2010 e 08/02/2010. Em sombreado colorido estão os resultados para GHGN centrado em 50°S e as linhas pretas representam os resultados para GHGN centrado em 35°S, para: (a) Delta=0, (b) Delta=+3,0 e (c) Delta=-3,0.



(c)

Figura 4.14 – Final.

Seguindo a mesma metodologia aplicada na análise de GHGN, foram elaborados os campos GHGS-50°S e GHGS-35°S (ver equações 17 a 22 da Metodologia), apresentados na Figura 4.15. Para este índice, os valores nas regiões bloqueadas devem ser menores do que -10 mgp/grau de latitude. Observa-se pela figura que tanto GHGS-50°S quanto GHGS-35°S (para os três valores de Delta), apresentam predominantemente valores negativos e inferiores a -10 mgp/grau de latitude.

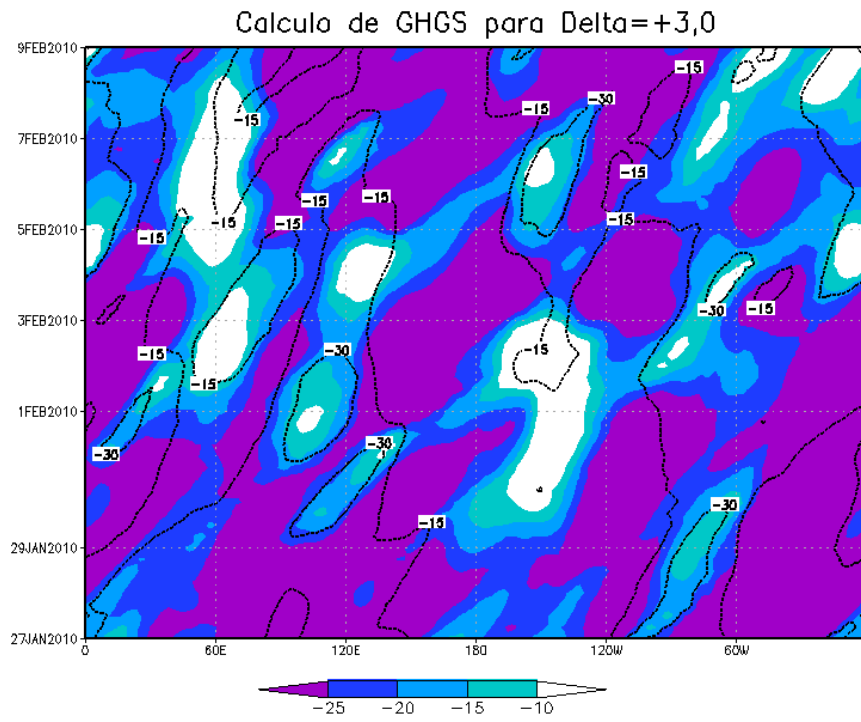
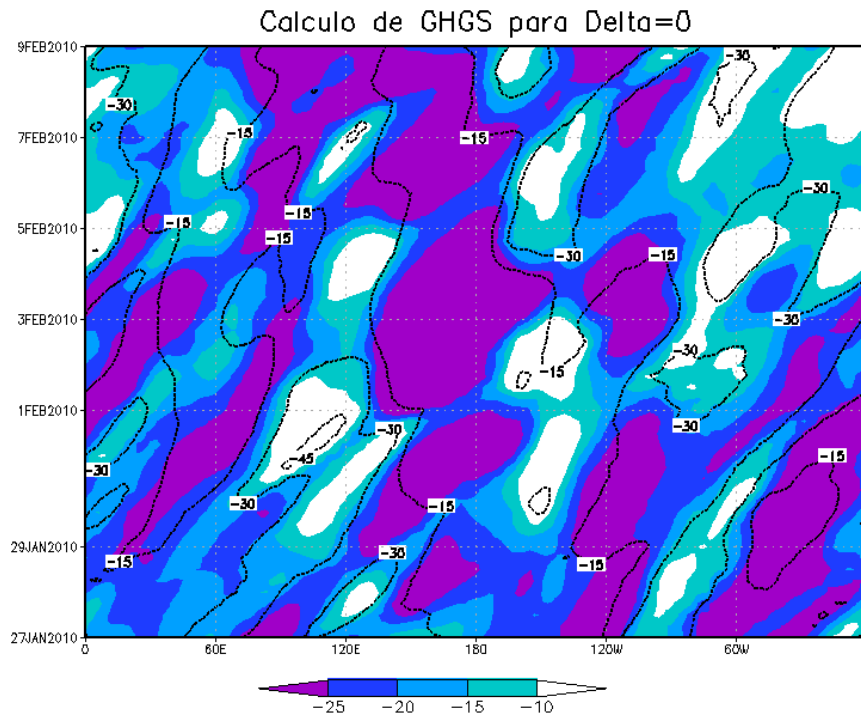
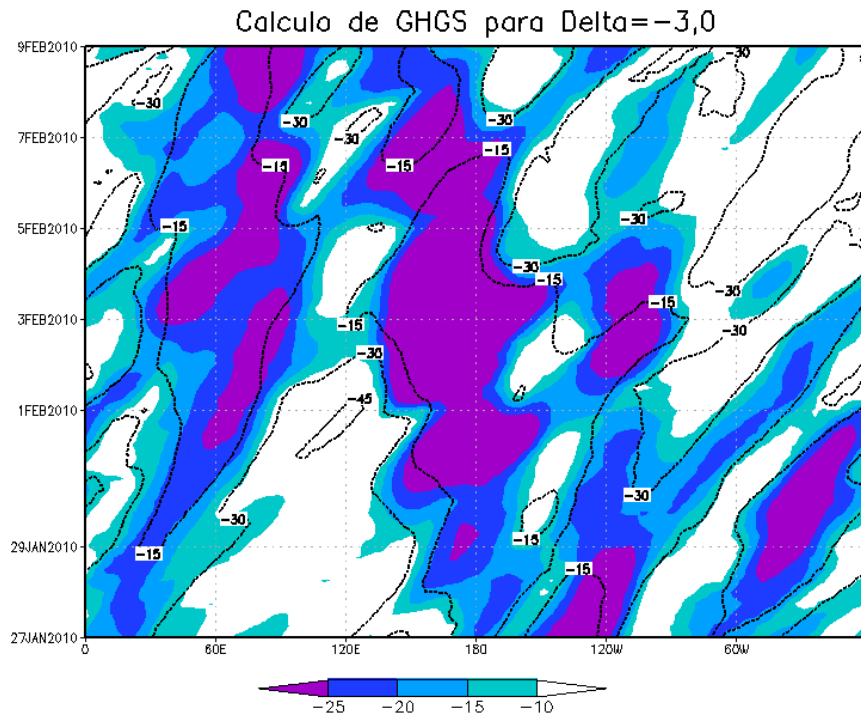


Figura 4.15 – Diagrama Hovmöller (longitude-tempo) do cálculo de GHGS (mgp/grau de latitude), entre os dias 28/01/2010 e 08/02/2010. Em sombreado colorido estão os resultados para GHGS centrado em 50°S e as linhas pretas representam os resultados para GHGS centrado em 35°S, para: (a) Delta=0, (b) Delta=+3,0 e (c) Delta=-3,0.



(c)

Figura 4.15 – Final.

Observa-se que, para este caso, o cálculo de GHGN, tanto para latitudes médias quanto subtropicais, foi mais preciso e conclusivo na identificação de regiões bloqueadas que o cálculo de GHGS.

Em resumo, utilizando-se o critério objetivo de Tibaldi *et al.* (1994), os sistemas de alta pressão APO, APL e AA seriam considerados como altas de bloqueio. No entanto, concluímos pela análise subjetiva que a AA não é uma alta de bloqueio e sim uma alta subtropical, evidenciando o grande problema na utilização desse índice: ele detecta também as altas subtropicais, principalmente quando centrado nessas latitudes.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi feito um levantamento das principais definições, características e climatologias de eventos de bloqueio atmosférico. Além disso, foi realizado um estudo de caso para um evento de bloqueio ocorrido no HS entre os dias 28 de janeiro e 08 de fevereiro de 2010. Esta análise consistiu primeiramente de verificações subjetiva (a partir do critério de Rex, 1950 a, b) e objetiva (a partir do critério de Tibaldi *et al.*, 1994), dos sistemas anticiclônicos configurados no HS (AI, APO, APL e AA), a fim de detectar se os mesmos poderiam ser considerados altas de bloqueio.

Os resultados da avaliação subjetiva mostraram que as altas subtropicais AI e AA, no período observado, não podem ser consideradas como altas de bloqueio, por não apresentarem subdivisão do escoamento de oeste, em 500 hPa, característico de eventos de bloqueio. Durante o período estudado, a AA pode ser considerada como um escoamento bloqueado, porém ela é tão persistente quanto um sistema de bloqueio. Isto nos faz pensar nas diferentes visões (operacional e acadêmica) sobre o fenômeno. Os demais sistemas (APO e APL) apresentaram as características típicas de sistemas de bloqueio, pois atenderam aos critérios de Rex (1950 a, b): (a) subdivisão do escoamento de oeste em dois ramos; (b) transporte de massa significativo por cada ramo; (c) jato duplo estendido por longitude mínima de 45 graus de longitude; (d) transição do escoamento zonal para escoamento meridional na região da bifurcação e (e) persistência mínima de 10 dias. A APL caracterizou-se como uma alta de bloqueio subtropical, apresentando inclusive troca de massa inter-hemisférica (como em Casarin, 1982) enquanto a APO posicionou-se em latitudes típicas (aproximadamente 50°S) da ocorrência de bloqueios. Estes dois sistemas anticiclônicos de bloqueio ocorreram simultaneamente no período de 29/01 até dia 06/02/2010, confirmando que embora a maioria dos sistemas de bloqueios ocorram em apenas um setor do hemisfério, eles podem ocorrer simultaneamente como observado por Wiedenmann *et al.* (2002) e Trenberth e Mo (1985). Além disso, esta análise evidencia o padrão bloqueado no HS, indicado pelo CPTEC/INPE para o período estudado.

Os resultados da avaliação objetiva mostraram que utilizando-se o critério de Tibaldi *et al.* (1994) centrado em 50°S, apenas a APO seria considerada uma alta de

bloqueio. A adaptação deste índice para latitudes subtropicais (centrada em 35°S), realizada neste trabalho, indicou os sistemas anticiclônicos APL e AA como altas de bloqueio. Ou seja, foram obtidos valores positivos de GHGN e valores de GHGS inferiores a -10 mgp/grau de latitude, para estes sistemas. No entanto, de acordo com o critério subjetivo, descrito anteriormente, foi observado que a AA não é uma alta de bloqueio e sim uma alta subtropical.

Conclui-se que a utilização de critérios objetivos, como o de Tibaldi *et al.* (1994), devem ser considerados com cautela, uma vez que são fortemente dependentes da localização latitudinal da alta de bloqueio. Recomenda-se que tais critérios sejam utilizados para diferentes faixas de latitude e a seguir os eventos selecionados objetivamente sejam analisados subjetivamente, a fim de confirmar se os sistemas selecionados apresentam a subdivisão do escoamento e a presença do duplo jato.

Ficam como sugestões para trabalhos futuros o estudo das características da atmosfera nos períodos pré e pós bloqueio e a aplicação do critério objetivo para latitudes subtropicais por um período climatológico de 30 anos, com o intuito de avaliar principalmente a frequência de bloqueios nessas latitudes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADANA, F.J.S. e COLUCCI, S.J., 2005: Southern hemisphere blocking onset associated with upper-tropospheric divergence anomalies, *J. Atmos. Sci.* 62, 1614–1625.

AMBRIZZI, T.; MARQUES R. F. C. e NASCIMENTO, E.L., 2009: Bloqueios Atmosféricos. Livro: *Tempo e Clima no Brasil*/ Cavalcanti, I.F.A.; Ferreira, N.J.; Justa da Silva, M.G.A.; Silva Dias, M.A.F. (organizadores). São Paulo, Oficina de Textos, 2009, p. 279-296.

BLUESTEIN, H. B., 1993: Synoptic-dynamic meteorology in midlatitudes. Volume II: Observations and theory of weather systems. New York, Oxford University Press, 594p.

CASARIN, D.P., 1982: Um Estudo observacional sobre os sistemas de bloqueio no Hemisfério Sul. São José dos Campos, INPE. (INPE-2638-TDL/114).

CLIMANÁLISE. Edição especial de 10 anos, 1996. Disponível em <<
<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/bloqueio.html>>>

COUGHLAN, M. J., 1983: A comparative climatology of blocking action in the two hemispheres. *Australian Meteorology Magazine*, 31 (01): 3-31.

DAMIÃO, M. C. M.; TRIGO, R. M.; CAVALCANTI, I. F. A. e DACAMARA, 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.

DAMIÃO, M. C. M.; TRIGO, R. M.; CAVALCANTI, I. F. A. e DACAMARA, C. C., 2008: Blocking Episodes in the Southern Hemisphere: Impact on the Climate of Adjacent Continental Areas. *Pure and Applied Geophysics*, 165, 1-22, DOI 10.1007/s00024-008-0409-4.

DAMIÃO, M. C. M.; CAVALCANTI, I. F.A.; TRIGO, R. M.; MENDES, D.; DACAMARA, C. C.; ARAGÃO, M. R. S., 2009: Episódios de Bloqueios no Hemisfério Sul: Comparação entre Reanálises do NCEP/NCAR e Modelo HADCM3. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.24, n.3, 262-275.

ELLIOT, R. D. e SMITH, T. B., 1949: A study of the effects of large blocking highs on the general circulation in the northern hemisphere westerlies. *Journal of Meteorology*, 6(02): 67-85.

GARRIOT, E. B., 1904: Long range forecasts. *U. S. Weather Bureau Bulletin*, Nº 35, Washington D. S.

HARTMANN, D. L., e S. J. GHAN, 1980: A statistical study of the dynamics of blocking. *Mon. Wea. Rev.*, 108, 1144-1159

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GADIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLEN, J.; ZHU, Y.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; HIGGINS, W.; JONAWIAK, J.; MO, K.C.; ROPELEWISK, C.; WANG, J.; LEETMAA, A.; REYNOLD, R.; JENNE, R.; JOSEPH, D., 1996: The NCEP/NCAR 40- Year Reanalysis Project. *Bulletin of the Meteorological Society*, 77, 437-471.

KAYANO, E., 1999: Southeastern Pacific blocking episodes and their effect on South American Weather, *Met. Atmos. Phys.* 69, 145–155.

LEJENAS, H., 1984: Characteristics of Southern Hemisphere blocking as determined from a time series of observational data. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 110, 967–979.

LEJENAS, H. e OKLAND, H., 1983: Characteristics of northern hemisphere blocking as determined from a long time series of observational data. *Tellus*, 35, 350-362.

LIU, Q., 1994: On the definition and persistence of blocking. *Tellus*, 46A, 286–298.

LUPO, A. R e P. J. SMITH, 1995: Climatological features of blocking anticyclones in the Northern Hemisphere. *Tellus*, 47A, 439–456.

MARQUES R. F. C., 1996: Bloqueio Atmosférico no Hemisfério Sul. Tese de Doutorado. Instituto Espacial de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. Brasil. INPE-6742-TDI/632.

MARQUES, R. F. C. e V. B. RAO, 1999: A diagnosis of a long-lating blocking event over the Southeast Pacific Ocean. *Mon. Wea. Rev.*, 127, 1761-1776.

MARQUES, R. F. C. e RAO, V. B., 2000: Interannual variations of blocking in the Southern Hemisphere and their energetics. *Journal of Geophysical Research*, 105, 4625-4636.

MARQUES, R. F. C. e RAO, V. B., 2001: A comparison of atmospheric blocking over the Southeast and Southwest Pacific Ocean, *J. Meteorol. Soc. Japan* 79, 863–874.

NASCIMENTO, E.L. e AMBRIZZI, T., 2002: The influence of atmospheric blocking on the Rossby wave propagation in Southern Hemisphere winter flows. *J. Meteorol. Soc. Japan* 80, 139-159.

OKLAND, H. e LEJENAS, H. 1987. Blocking and persistence. *Tellus* 39A, 33-38.

RENWINCK, J. A., 1998: ENSO-related variability in the frequency of South Pacific blocking. *Monthly Weather Review*, 126, 3117-3123.

RENWINCK, J.A., 2005: Persistent positive anomalies in the Southern Hemisphere circulation, *Mon. Wea. Rev.* 133, 977–988.

RENWICK, J. A e M. J. REVELL, 1999: Blocking over the South Pacific and Rossby wave propagation. *Mon. Wea. Rev.*, 127, 2233–2247.

REX, D. F., 1950 a: Blocking action in the middle troposphere and its effects upon regional climate I-An aerological study of blocking action. *Tellus*, 2, 196-211.

REX, D. F., 1950 b: Blocking action in the middle troposphere and its effects upon regional climate II-The climatology of blocking action. *Tellus*, 2, 275-301.

SANDERS, R. A., 1953: Blocking Highs Over the Eastern North Atlantic Ocean and Western Europe. *Mon. Wea. Rev.*, 81, 67-73.

SHUKLA, J., e K. C. MO, 1983: Seasonal and geographical variation of blocking. *Mon. Wea. Rev.*, 111, 388-402.

SINCLAIR, M. R. A., 1996: Climatology of anticyclones and blocking for the Southern Hemisphere. *Monthly Weather Review*, 24, 245-263.

TALJAARD, J. J., 1972: Synoptic meteorology of the Southern Hemisphere. In: Newton, C. W. ed. *Meteorology of the Southern Hemisphere*, Meteorological Monographs, Boston, MA, American Meteorological Society, 13, n.35, 139-213.

TIBALDI, S. e MOLTENI, F., 1990: On the operational predictability of blocking. *Tellus*, 42, 343-365.

TIBALDI, S.; TOSI E.; NAVARRA A; PEDULLI L., 1994: Northern and Southern Hemisphere seasonal variability of blocking frequency and predictability. *Monthly Weather Review*, 122, 1971-2003.

TREIDL, R. A.; BIRCH E. C.; SAJECKI P., 1981: Blocking action in the Northern Hemisphere: a climatological study. *Atmosphere-Ocean*, 19, 1-23.

TRENBERTH, K.E., 1986: The Signature of a blocking episode on the general circulation in the Southern Hemisphere. *J. Atm. Sci.*, 43, 2061-2069.

TRENBERTH, K. E., e K. C. MO, 1985: Blocking in the Southern Hemisphere. *Mon. Wea. Rev.*, 113, 3-21.

UPPALA, S. M. et al., 2005: The ERA-40 re-analysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, n.612, v.131, p.2961-3012.

VAN LOON, H., 1956: Blocking action in the Southern Hemisphere. *Notos*, 5, 171–177.

WIEDENMANN, J. M., A. R. LUPO, I. I. MOKHOV, e E. A. TIKHONOVA, 2002: The climatology of blocking anticyclones for the Northern and Southern Hemispheres: Block intensity as a diagnostic. *J. Climate*, 15, 3459–3473.