

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**



Dissertação

**Configuração meteorológica do verão (2013-2014) anormalmente quente das
regiões Sul e Sudeste do Brasil**

Jeymison Margado Bezerra

Pelotas, 2016

JEYMISON MARGADO BEZERRA

Configuração meteorológica do verão (2013-2014) anormalmente quente das regiões Sul e Sudeste do Brasil

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr° André Becker Nunes

Pelotas, 2016

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

B574c Bezerra, Jeymison Margado

Configuração meteorológica do verão (2013-2014)
anomalamente quente das regiões sul e sudeste do Brasil /
Jeymison Margado Bezerra ; André Becker Nunes,
orientador. — Pelotas, 2016.

97 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação
em Meteorologia, Faculdade de Meteorologia, Universidade
Federal de Pelotas, 2016.

1. Sistemas de bloqueios atmosféricos. 2. Anomalias de
circulação atmosféricas. 3. Variabilidade climática. I.
Nunes, André Becker, orient. II. Título.

CDD : 551.6

Elaborada por Maria Beatriz Vaghetti Vieira CRB: 10/1032

Banca Examinadora:

Prof. Dr. André Becker Nunes (Orientador)
Doutor em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Dr. Leonardo José Gonçalves Aguiar (Membro Interno)
Doutor em Meteorologia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa

Dr. Fabrício Pereira Härter (Membro Externo)
Doutor em Computação Aplicada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

A minha esposa, filha, mãe e avós.

Agradecimento

A Deus, presença constante, pela existência, pela capacidade de desenvolver este trabalho, pelas oportunidades e por guiar-me a cada passo, a cada e decisão em minha vida. Sei que tudo são planos Dele em minha vida.

A minha família por tudo feito em minha vida, em especial, minha esposa Isis e filha Isabella por me aturar durante todo o período do curso.

A todos os amigos do PPGmet, em especial a turma de 2014 por momentos impares durante todo o curso. Ao Mateus Dias Nunes pela ajuda com o NCL e CDO, além de ter sido um irmão nos últimos meses.

Ao Prof. Dr. André Becker Nunes, que além da orientação, demonstrou confiança e extrema paciência durante a execução deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Fabrício e Dr. Leonardo na avaliação deste projeto.

Aos funcionários do CPPmet.

À Universidade Federal de Pelotas e ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, pela oportunidade de realizar este trabalho.

A FAPERGS, pela concessão de bolsa de estudo.

Resumo

Bezerra, Jeymison Margado. Configuração meteorológica do verão (2013-2014) anormalmente quente das regiões Sul e Sudeste do Brasil. 97 f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em meteorologia. Universidade Federal de Pelotas.

Neste trabalho são apresentados os resultados de um estudo sinótico sobre o comportamento anômalo da temperatura do ar nas regiões sul e sudeste do Brasil para o período referente aos meses de dezembro (2013), janeiro, fevereiro e março (2014). Aqui, optou-se pelo verão astronômico (janeiro, fevereiro e março, JFM), pois o trimestre de dezembro, janeiro e fevereiro apresentou locais com significativas anomalias negativas. Foram usados dados de reanálise do projeto MERRA do período de 1979 a 2008 para os referidos meses, com o objetivo de se obter a climatologia e as anomalias das variáveis meteorológicas. De acordo com os resultados das anomalias de temperatura, foram observadas na região sudeste as maiores variações espaciais de anomalias positivas, sendo os maiores valores na região litorânea, assim como na região sul, no entanto, se expandido praticamente sobre todo o Rio Grande do Sul (RS), sendo este o Estado com os maiores valores positivamente anômalos da região. Em baixos níveis (850 hPa), no sudeste, foi observada anomalia negativa (atmosfera seca) e no sul positiva (atmosfera úmida) resultado do escoamento anômalo do vento norte em 850 hPa e das anomalias de pressão ao nível médio do mar, que mostraram deslocamento mais para sul da região ciclogênica da América do Sul (AS) e deslocamento para oeste do Anticiclone semipermanente do Atlântico. Observou-se fortes anomalias positivas de altura geopotencial em 500 hPa no Atlântico e no Pacífico, em que a primeira influenciou diretamente a circulação continental. Em 250 hPa notou-se a formação de um bloqueio do tipo dipolo sobre a região de estudo. Para comparação, ainda foi feito o estudo das anomalias dos cinco verões (1984, 2001, 2003, 2006 e 2010)

anomalamente quentes nas referidas regiões. Percebeu-se que em superfície, em verões anomalamente quentes há o surgimento de anomalia positiva de pressão ao nível médio do mar próximo à costa sudeste da AS relacionado com o deslocamento para oeste e intensificação da Alta subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Foi possível observar, ainda, que a Alta Subtropical do Pacífico Sul se intensificou provocando situação de bloqueio. Em 250 hPa, percebeu-se o enfraquecimento do jato subtropical, indicando diminuição ou menor frequência das instabilidades baroclínicas na região.

Palavras-chave: Sistemas de bloqueios atmosféricos, anomalias de circulação atmosférica, variabilidade climática.

Abstract

Bezerra, Jeymison Margado. **Meteorological configuration of the anomalously warm summer (2013-2014) in Southern and Southeastern Brazil**. 2015. 97 f. Thesis (MSc) - Postgraduate Meteorology Program. Federal University of Pelotas, Pelotas.

This work presents the results of a synoptic study of the anomalous behavior of the air temperature in the south and southeast of Brazil for December (2013), January, February and March (2014). It was, we opted for the astronomical summer (January, February and March, JFM), because the quarter December, January and February showed places with significant negative anomalies. Project MERRA reanalysis data were used from 1979 to 2008 for those months, in order to obtaining the climatology and the anomalies of meteorological variables. According to the results of temperature anomalies have been observed in the Southeast the highest spatial variations of positive anomalies, being the highest values in the coastal region, as well as in the South, however, expanded over the practically whole Rio Grande do Sul (RS) - the State with the highest positively anomalous values in the region. At low levels (850 hPa), in Southeast a negative anomaly was observed (dry atmosphere) and in the South was observed a positive (humid atmosphere), resulting from an anomalous northern flow and from anomalies of mean sea level pressure, which showed a shifting further south of South American cyclogenetic region and a shift to the west of the semi-permanent Atlantic anticyclone. Strong positive anomalies of geopotential height at 500 hPa over the Atlantic and the Pacific was observed, in which the first one influenced directly the continental circulation. At 250 hPa was observed the formation of a dipole blocking system on the study area. In compare, we have made the study of anomalies of the five anomalously warm summers (1984, 2001, 2003, 2006 and 2010), in these referred regions. In anomalously warm

summers there is a sea level pressure positive anomaly near the southeast coast of AS associated with the displacement to the west and intensification of the South Atlantic subtropical high. We also observed that the South Pacific subtropical high intensified causing a blocking situation. At 250 hPa, the weakening of the subtropical jet indicating a decay or lower frequency of baroclinic instabilities over the region.

Keywords: atmospheric blocking systems, atmospheric circulation anomalies, climatic variability.

Lista de figuras

Figura 1	Regiões Sul (RS, SC e PR) e Sudeste (SP, MG, RJ e ES).....	28
Figura 2	Anomalia de temperatura média do ar (°C) a 2 metros da superfície para os trimestres (a) DJF e (b) JFM.....	33
Figura 3	Anomalia de temperatura mínima do ar (°C) a 2 metros da superfície para os trimestres (a) DJF e (b) JFM.....	34
Figura 4	Anomalia de temperatura máxima do ar (°C) a 2 metros da superfície para os trimestres (a) DJF e (b) JFM.....	35
Figura 5	Anomalia de pressão ao nível médio do mar (hPa) para o trimestre JFM.....	37
Figura 6	Anomalia de altura geopotencial (m _g p) em 500 hPa para o trimestre JFM.....	38
Figura 7	Campos de linha de corrente em 850 hPa: Climatologia 1979-2008 (a) e verão observado (b) para o trimestre JFM.....	40
Figura 8	Anomalia de linha de corrente em 850 hPa para o trimestre JFM....	41
Figura 9	Campos de linha de corrente em 250 hPa: Climatologia 1979-2008 (a) e verão observado (b) para o trimestre JFM.....	42
Figura 10	Anomalia de linha de corrente em 250 hPa para o trimestre	

JFM.....	43
Figura 11 Anomalia de umidade especifica (g/Kg) média no nível de 850 hPa para o trimestre JFM.....	44
Figura 12 Anomalia de umidade especifica (g/Kg) em 850 hPa as 9 UTC para o trimestre JFM.....	45
Figura 13 Anomalia de umidade especifica (g/Kg) em 850 hPa as 18 UTC para o trimestre JFM.....	46
Figura 14 Anomalia Pressão ao nível médio do mar (hPa) para o trimestre JFM: (a)1984; (b) 2001; (c) 2003; (d) 2006; (e) 2010.....	49
Figura 15 Anomalia de altura de geopotencial (mgp) em 500 hPa para o trimestre JFM: (a)1984; (b) 2001; (c) 2003; (d) 2006; (e) 2010.....	51
Figura 16 Anomalias de linha de corrente em 850 hPa para o trimestre JFM: (a)1984; (b) 2001; (c) 2003; (d) 2006; (e) 2010.....	53
Figura 17 Anomalias de linha de corrente em 250 hPa para o trimestre JFM: (a)1984; (b) 2001; (c) 2003; (d) 2006; (e) 2010.....	55
Figura 18 Anomalias de umidade especifica (g/Kg) média no nível de 850 hPa para o trimestre JFM: (a)1984; (b) 2001; (c) 2003; (d) 2006; (e) 2010.....	57

Lista de tabela

Tabela 1	Índices ONI e MEI.....	58
Tabela 2	Índice de AAO.....	59

Lista e abreviaturas de siglas

AAO	Oscilação antártica
AB	Alta da Bolívia
AGCM	Atmospheric General Circulation Model
AS	América do sul
ASAS	Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
ASPS	Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul
BC	Baixa do Chaco
CDC	Climate Diagnostics Center
CPC	Climate Prediction Center
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DJF	Dezembro- janeiro-fevereiro
DISME	Distrito de Meteorologia
EMC	Environmental Modeling Center
ENOS	El Niño Oscilação Sul
ES	Espirito Santo
ESMF	Earth System Modeling Framework
FBDS	Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável
FF	Frente Fria
ForTraCC	Forecast and Tracking the Evolution of Cloud Clusters
GEOS-5	Goddard Earth Observing System Model, Version 5
GSI	Interpolação Estatística GridPoint
GMAO	Global Modeling and Assimilation Office
GES DISC	Centro de Serviços de Informação Goddard Earth Sciences

INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Intergovernmental Painel on Climate Change
JBN	Jatos de Baixos Níveis
MEI	Multivariate ENSO Index
MERRA	Modern Era-Retrospective Analysis For Research and Applications
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
ONI	Oceanic Nino Index
PR	Paraná
PSA	Pacific South America
RS	Rio Grande do Sul
SCM	Sistema Convectivo de Mesoescala
SC	Santa Catarina
SP	São Paulo
UTC	Universal Time Coordinated
UH's	Usinas Hidroelétricas
VCAN	Vórtices ciclônicos de Altos Níveis
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCOU	Zona de Convergência de Umidade

SUMÁRIO

1	Introdução.....	17
2	Revisão de literatura	20
2.1	Circulação Atmosférica	20
2.2	Sistemas Frontais (SF).....	21
2.3	Bloqueios Atmosféricos	22
2.4	Ciclones extratropicais.....	22
2.5	Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM's).....	23
2.6	Vórtices ciclônicos de Altos Níveis (VCAN).....	24
2.7	Onda de calor	25
2.8	Oscilações climáticas	25
2.8.1	ENOS (El Niño Oscilação Sul).....	25
2.8.2	Oscilação Antártica (AAO).....	26
3	Metodologia	28
3.1	Regiões de estudo	28
3.2	Dados	29
4	Resultados e discussão.....	32
4.1	Verão 2013/2014	32
4.2	Verões anormalmente quente segundo dados observados do INMET	46
5	Análise das oscilações climáticas.....	58
5.1	El Niño Oscilação Sul (ENOS).....	58
5.1.1	Índice ONI e MEI	58
5.1.2	Índice de Oscilação Antártica (AAO).....	58
6	Conclusão.....	60

Referências	62
Apêndices	75

1 Introdução

A região sul do Brasil é caracterizada por ter as estações bem definidas ao longo do ano. Segundo Firpo (2008), o verão climático desta região normalmente dura três meses, restrito a dezembro, janeiro e fevereiro, sendo janeiro o mais representativo da estação. Já a região sudeste, devido à sua localização latitudinal, caracteriza-se por ser uma região de transição entre os climas quentes de latitudes baixas e o clima mesotérmico do tipo temperado das latitudes médias (NIMER, 1971).

As regiões sul e sudeste do Brasil são afetadas por diversos sistemas meteorológicos de diferentes escalas de tempo e espaço. Dentre estes sistemas destacam-se aqueles contidos na escala sinótica e mesoescala, tais como: sistemas frontais, ciclones extratropicais, anticiclones, vórtice ciclônico de alto nível, sistema convectivo de mesoescala e complexo convectivo de mesoescala. Estes sistemas podem sofrer influência de bloqueios atmosféricos e das oscilações climáticas. A característica sinótica de bloqueios corresponde a uma anomalia persistente de alta pressão (anticiclone de bloqueio), que tem o deslocamento meridional como característica em relação às trajetórias normais zonais das perturbações atmosféricas nos subtrópicos e latitudes médias (AMBRIZZI et al. 2009).

Segundo Grimm (2003), a região sudeste do Brasil tem o máximo de precipitação durante o verão, enquanto que a região sul experimenta o pico de precipitação no final do inverno e na transição do verão para o outono. Neste mesmo estudo, a autora ressalta que na região mais austral do Brasil a precipitação tem uma distribuição uniforme devido à penetração frontal associada com ciclones extratropicais migratórios. Entretanto, Coelho et al. (2015) estudando a precipitação no trimestre janeiro, fevereiro e março de 2014, encontrou anomalias negativas superiores a 200 mm no sudeste brasileiro e até 100 mm no noroeste, norte e leste do Paraná (PR), leste e oeste de Santa Catarina (SC), noroeste e centro-oriental do

Rio Grande do Sul (RS), o que indica que tal região é vulnerável às variabilidades climáticas.

Durante o verão 2013-2014 as regiões sul e sudeste do Brasil apresentaram intensas ondas de calor, que são caracterizadas pela persistência de anomalias positivas de temperatura do ar por vários dias consecutivos (RUSTICUCCI; VARGAS, 2001; PETER et al. 2003; RADINOVIC; CURIC, 2012) provocando recordes de temperaturas em algumas cidades (INMET, 2014). Os elevados valores de temperatura durante esta estação associados com o déficit de precipitação provocaram impactos em setores da economia tais como: agricultura, pecuária, abastecimento hídrico e energético (COELHO et al. 2015). As altas temperaturas e a escassez hídrica ocorrido no verão 2013-2014 surpreenderam o governo e o setor produtivo, acarretando no aumento do risco de racionamentos de água e energia, pressionando ainda mais a inflação e trazendo prejuízos à atividade econômica, sendo o custo maior da energia elétrica o mais perceptível.

Em Portugal, por exemplo, o Instituto da Segurança Social, criou um plano de contingência para temperaturas extremas adversas voltado para o que eles definiram como Módulo Calor, afim de integrarem diversas entidades das áreas de saúde, da proteção civil e apoio social, baseado em um sistema de previsão, alerta e respostas, para eventos de ondas de calor (MCGEEHIN; MIRABELLI, 2001).

As temperaturas do ar máximas, mínimas e médias, não ocorrem de forma homogênea nos Estados das regiões sul e sudeste devido a diversos mecanismos atmosféricos atuando de maneira heterogênea sobre as regiões; logo, cada região sofre influência tanto de sistemas de escala global quanto de escala local. Por exemplo, com relação aos sistemas frontais, os mesmos possuem uma frequência de 5 a 7 eventos por mês nestas regiões (OLIVEIRA, 1986). Com isso as temperaturas do ar se comportam de maneira distinta em cada mesorregião. Dada tais informações, o objetivo geral deste trabalho é verificar a configuração sinótica do verão 2013-2014, notadamente mais quente que o normal, nas regiões sul e sudeste do Brasil.

Observando a climatologia do período de 1979 a 2008 a fim de se verificar a influência das variáveis meteorológicas e os seus comportamentos anômalos para os meses de dezembro 2013, janeiro, fevereiro e março de 2014 – devido ao verão ter início no dia 21 de dezembro 2013 e fim dia 19 de março de 2014, houve a necessidade de um estudo mais detalhado para todos os meses que esta estação

se faz presente. Este período de estudo ganhou repercussão devido à falta de chuvas sobre áreas que concentram usinas hidroelétricas (UH's), provocando uma baixa nos reservatórios, e o aumento significativos das temperaturas do ar e dias consecutivos com temperaturas sempre acima da normal climatológica. Como objetivos específicos, primeiramente este trabalho pretende comprovar as anomalias positivas de temperatura na estação em questão. Além disso, serem analisadas não somente as anomalias da configuração sinótica desta estação com relação à climatologia, como também as anomalias desta estação comparadas com outros verões anormalmente quentes.

2 Revisão de Literatura

2.1 Circulação Atmosférica

A Circulação Atmosférica é o processo de movimentação do ar, ocasionado pelas diferenças de pressão e temperatura existentes na atmosfera terrestre. Portanto, as massas de ar estão geralmente associadas aos sistemas de baixa e alta pressão. Logo, conhecer o comportamento de sistemas frontais, bloqueios atmosféricos, ciclones extratropicais, sistemas convectivos de mesoescala e os vórtices ciclônicos de altos níveis (VCAN's), e suas interações que podem ter provocado o comportamento positivamente anômalo da temperatura do ar será de fundamental importância na explicação do verão 2013-2014.

Alessandro (2008), estudando a circulação atmosférica e analisando os campos médios de altura geopotencial nos níveis de 500 e 1000 hPa e suas anomalias que provocaram déficit de precipitação e anomalias positivas de temperatura durante o ano de 2003 e o primeiro trimestre de 2004 sobre pelo menos 10 províncias argentinas, concluiu que o déficit de precipitação se associa principalmente às anomalias de geopotencial no nível de 500 hPa, que mostraram um fluxo dominante de SW que atravessa o país diagonalmente entre 45°S e 30°S (onda de Rossby). Em 1000 hPa o anticiclone subtropical do Atlântico se encontrou enfraquecido, deslocado para o norte e afastado do continente, enquanto que o anticiclone subtropical do Pacífico estava mais intenso e deslocado para leste da sua posição normal. A seca no primeiro trimestre de 2004 ocorreu principalmente devido à presença de uma crista no nível de 500 hPa posicionada no centro do país. As anomalias positivas de temperatura em 2003 foram resultado da contribuição do fluxo de N-NE desde o norte do país, e à subsidência ocasionada pelo anticiclone do Pacífico deslocado mais para o interior do continente. No primeiro trimestre de 2004

as anomalias se originaram devido ao fluxo do norte e à frequente circulação anticiclônica no Atlântico ao sul de 35°S.

2.2 Sistemas Frontais (SF)

Durante todo o ano, sobre os continentes, a atmosfera experimenta vários tipos de distúrbios transientes, tanto de origem tropical como extratropical. Os distúrbios transientes extratropicais de alta frequência mais comuns são as frentes frias. Os sistemas frontais (ondas entre 3000 e 7000 Km) são de grande importância devido ao fato de provocarem mudanças significativas no tempo em diversas partes do globo, principalmente na região subtropical e de latitudes médias e altas. No Brasil podem causar chuvas intensas, ventos fortes, geadas, com impactos na agricultura, recursos hídricos, setor econômico e social (ANDRADE, 2005). As frentes frias atuam durante todo o ano, e afetam mais significativamente as Regiões Sul e Sudeste do Brasil sendo responsáveis pelas chuvas e frio, principalmente no sul do país (QUADRO et al. 1996). Além disso, essas regiões são caracterizadas por serem bastante frontogenéticas, como verificado por Mattos (1987). No entanto, como mostrado por Kousky (1979), a penetração de sistemas frontais e seus remanescentes têm um papel importante também na precipitação no sul da Região Nordeste. Tais sistemas podem penetrar até latitudes tropicais e sem dúvida são partes fundamentais dos regimes de precipitação e temperatura em quase todo o continente (LEMOS; CALBETE, 1996; QUADRO et al. 1996). As zonas frontais são identificadas pelo mínimo relativo da pressão, máximo de vorticidade ciclônica ao longo da frente, fortes gradientes horizontais de temperatura, umidade e movimento vertical, forte cisalhamento vertical e horizontal do vento, rápida mudança de cobertura de nuvens e precipitação (CARLSON, 1991). De modo geral, as frentes frias deslocam de oeste para leste, e, em algumas regiões podem sofrer influência da orografia, como no caso da Cordilheira dos Andes na América do Sul (SELUCHI et al. 1998), as montanhas do sudeste Australiano (COLQUHOUN et al. 1985) e a cadeia montanhosa que corta a Ilha do Sul na Nova Zelândia (SMITH et al. 1991).

Durante o verão, os sistemas frontais organizam-se com a convecção tropical e intensa atividade convectiva ocorre sobre a Argentina, Brasil, Bolívia e leste do Peru (SATYAMURTY et al. 1998).

2.3 Bloqueios Atmosféricos

Os bloqueios atmosféricos afetam significativamente as condições meteorológicas na AS, como por exemplo uma interrupção brusca no deslocamento normal dos Sistemas Frontais e Ciclones. Por sua vez, recentes estudos mostraram que a Oscilação Antártica (AAO) tem relação direta com a posição e intensificação dos jatos, podendo interferir nos sistemas transientes (DAMIÃO; CAVALCANTI, 2011). Silvestri e Vera (2003) encontraram que na fase positiva da AAO havia uma diminuição da precipitação no Sudeste da América do Sul, devido ao enfraquecimento da convergência de umidade e da intensificação do anticiclone em altos níveis. Casos de seca extrema no sudeste, associados a anomalias na ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) relacionadas com o trem de ondas Pacific South America (PSA) e com a AAO apresentaram também um padrão de bloqueio no Pacífico Sudeste (VASCONCELLOS; CAVALCANTI, 2010).

Os bloqueios atmosféricos são sistemas que podem causar precipitações intensas ou estiagens no sul do Brasil, sul do Paraguai e Uruguai, dependendo da sua localização. A circulação atmosférica de latitudes médias tem uma tendência a flutuar entre dois extremos: é caracterizada pela predominância do movimento zonal ou do movimento meridional. Em condições normais o movimento meridional é muito menor que o movimento zonal e, assim, tem-se o livre deslocamento para leste de ciclones e anticiclones. Quando um anticiclone permanece quase estacionário por um tempo, perturba a corrente zonal, impedindo a propagação dos sistemas para leste, com isso há uma bifurcação do escoamento zonal em dois ramos, que adquire componentes meridionais. Nesta situação, o anticiclone recebe o nome de anticiclone de bloqueio (CLIMANÁLISE, 1986 Apud Reboita, 2010).

2.4 Ciclones extratropicais

Os ciclones extratropicais são sistemas de baixa pressão caracterizados por grandes regiões de circulação ciclônica, cujo período de formação é designado por ciclogênese. O primeiro modelo conceitual sobre ciclones foi apresentado em 1922 (BJERKNES; SOLBERG, 1922 Apud MENDES, 2009), que através de observações à superfície verificaram a presença de sistemas de baixa pressão (depressões), sob

a forma de perturbações ondulatórias que se propagam ao longo de um sistema frontal.

Os mecanismos dominantes para ciclogênese em superfície são a advecção de vorticidade no nível não divergente e o aquecimento diferencial entre a superfície e o nível de não divergência (SUTCLIFFE, 1947 Apud PETTERSEN, 1956). Petterssen (1956) deu continuidade às pesquisas de Sutcliffe, incluindo o efeito do aquecimento e resfriamento, e concluiu que o desenvolvimento dos ciclones ocorre onde e quando a advecção de vorticidade ciclônica nos níveis médios superpõe-se a uma zona baroclínica nos baixos níveis.

Os ciclones também desenvolvem um papel fundamental no sistema climático da Terra, pois regulam os contrastes de temperatura entre os polos e o equador e mantêm os ventos de oeste nas latitudes médias contra a dissipação friccional (HAKIM, 2003). Isto se deve ao processo de transferência de energia cinética dos distúrbios para o escoamento médio durante a fase de dissipação dos mesmos (DUTRA, 2012).

2.5 Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM's)

A denominação de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM's) é dada ao conjunto de sistemas de aglomerados de nuvens convectivas, principalmente do tipo cumulonimbus, observadas em diferentes estágios de ciclo de vida e apresentam escalas horizontais da ordem de 2.000 km e são responsáveis pela maior parte da precipitação nos trópicos e em várias localidades de latitudes médias durante a estação quente (LLOPART, 2012).

Campos e Eichholz (2011) utilizaram a técnica ForTrACC (Forecast and Tracking the Evolution of Cloud Clusters) para estudar as características físicas dos SCM's que afetaram o Rio Grande do Sul entre os anos de 2004 e 2008 e concluíram que esses sistemas apresentam maior número de ocorrência no período mais quente do ano (verão), devido ao aparecimento de condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento de nuvens convectivas, geralmente associadas a um JBN (Jatos de Baixos Níveis) que transposta calor e umidade da região amazônica para a região subtropical. Portanto, em princípio, um verão anormalmente quente propiciaria uma maior frequência de ocorrência de SCM na região.

2.6 Vórtices ciclônicos de Altos Níveis (VCAN)

A circulação dos vórtices ciclônicos de altos níveis surge inicialmente nas partes mais altas da troposfera, estendendo-se gradualmente para baixo e o centro da circulação fechada inclina-se, na vertical, na direção do ar mais frio. Os ventos máximos ocorrem próximos a 200 hPa diminuindo em direção aos baixos e médios níveis (PALMER, 1951; CARLSON, 1967; Apud CONDE; SILVA DIAS, 2000). Sobre o continente ou águas oceânicas quentes, a dissipação do vórtice ciclônico de altos níveis se dá devido ao aquecimento em superfície (calor sensível) que, junto com o núcleo frio do vórtice (em médio e altos níveis) criam uma situação suficientemente instável que se sobrepõe aos efeitos da subsidência no centro do vórtice que libera calor latente no centro do vórtice (KOUSKY; GAN, 1981). Ainda Segundo Kousky e Gan (1981), os VCAN's do Nordeste do Brasil, formam-se devido à intensificação simultânea da crista associada à Alta da Bolívia e o cavado corrente abaixo sobre o Oceano Atlântico. Isto ocorre quando um sistema frontal proveniente do sul do Brasil, ao penetrar nos subtropicais, provoca forte advecção de ar quente no seu lado leste, amplificando a crista de nível superior e, por conservação de vorticidade absoluta, o cavado que está a jusante também é intensificado, formando-se o ciclone na alta troposfera.

Geralmente, a cobertura de nuvens associada ao sistema vórtice de altos níveis e frente fria possui uma forma de "S" (KOUSKY; GAN, 1981). É importante ressaltar que os vórtices ciclônicos de altos níveis podem ou não conter uma banda convectiva em seu redor. Gan (1982) classificou-os como vórtices secos ou úmidos de acordo com a existência ou não da banda convectiva.

Silva et. al. (2008) estudando a convecção linear organizada na área de Petrolina no nordeste brasileiro, analisou a estrutura termodinâmica através de sondagens diárias de ar superior e evidenciou mudanças significativas no período de estudo (27 a 29 de março de 1985): um grande aumento no teor de umidade na camada limite planetária e o enfraquecimento da inversão de subsidência típica da região. Os resultados indicam que convergência do fluxo de umidade em grande escala e aquecimento radiativo, são fatores determinantes na evolução e desenvolvimento dos VCANs, visto que estes sistemas se desenvolvem devido a advecção de ar frio trazida por um sistema frontal vindo do Hemisfério Sul, torna-se fundamental o estudo deste sistema.

2.7 Onda de calor

Onda de calor, é a persistência de temperatura acima da normal climatológica por vários dias consecutivos. Norte et al. (2007) estudando uma onda de calor extrema a leste dos Andes na região subtropical da AS ocorrida na última semana de Janeiro de 2003 a partir de simulações numéricas realizadas com o modelo regional Eta/CPTEC avaliou os termos da Equação da Termodinâmica e concluiu que o forte aumento da temperatura foi provocado pelo aquecimento por compressão adiabática, produto da subsidência, e pelo aquecimento superficial imediatamente a leste dos Andes. Analisando ainda a Equação Ômega esses autores observaram subsidência de grande escala se deveu fundamentalmente ao avanço de uma crista de onda longa nos níveis médios da atmosfera. Além disso, as observações e as simulações numéricas apontaram para a ocorrência de subsidência forçada (vento Zonda) a leste dos Andes, associada ao deslocamento de um cavado de onda curta imerso na crista de onda longa, a aproximação de uma frente fria e ao deslocamento para o sul da Baixa Termo-orográfica.

2.8 Oscilações climáticas

2.8.1 ENOS (El Niño Oscilação Sul)

El Niño Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno de grande-escala que ocorre no Oceano Pacífico tropical. O fenômeno refere-se a uma combinação de dois mecanismos que demonstram o vínculo existente entre o oceano e a atmosfera. O El Niño representa o componente oceânico do fenômeno, monitorado principalmente através da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) em regiões definidas ao longo da região equatorial do Oceano Pacífico. Já a Oscilação Sul representa a contrapartida atmosférica e o Índice de Oscilação Sul (IOS) é utilizado no monitoramento deste componente, sendo definido como a diferença entre os desvios normalizados da pressão na superfície entre as regiões do Oceano Pacífico: Taiti e Darwin (BERLATO; FONTANA, 2003).

A região compreendida entre o nordeste Argentino (NE), juntamente com o sul do Brasil, Uruguai e norte do Chile, torna-se uma região na América do Sul que é

afetada em eventos de La Niña e El Niño. Estes fenômenos são associados a uma tendência de déficit e excesso de chuvas respectivamente (ACEITUNO 1988; DIAZ et al 1998; FONTANA et al. 1997; GRIMM et al. 1996; PISCIOTTANO et al. 1994; RUTLLANT et al. 1991; ROPELEWSKI et al. 1987) e são diferentes uns dos outros, tanto em duração e intensidade (TRENBERTH, 1997), causando diferente impactos para a área afetada.

Como o El Niño e a La Niña modificam a estrutura da circulação atmosférica é de esperar-se que estes eventos alterem também as temperaturas à superfície. Pittock (1980) encontrou uma correlação negativa significativa entre a temperatura anual da superfície e o índice de oscilação sul sobre a parte central do Chile e sua costa Sul. Ao fazerem uma análise global dos padrões de temperatura à superfície associados com ENOS, Halpert e Ropelewski (apud BARROS E SCASSO, 1994) encontraram conexões entre anomalias negativas (positiva) de temperatura com a fase positiva (negativa) do ENOS em alguns meses na parte leste da Argentina, Sul do Brasil e sobre a Costa do Pacífico (30°S), e um resultado aproximadamente similar entre a anomalia positiva de temperatura e a fase negativa do ENOS.

2.8.2 Oscilação Antártica (AAO)

A Oscilação Antártica (AAO), também chamada de Modo Anular do Sul (SAM), uma das teleconexões mais importantes do HS, foi documentada primeiramente por Walker (1928). Caracteriza-se por um padrão tipo oscilação no cinturão de pressão que cruza o Chile e a Argentina em oposição ao Mar de Weddell e ao Mar de Bellingshausen, mares que circundam o continente antártico. A AAO representa o modo dominante da circulação atmosférica extratropical no HS e influencia diversos componentes do sistema climático neste hemisfério (KIDSON, 1988; LIMPASUVAN; HARTMANN, 2000; THOMPSON; WALLACE, 2000).

Damião e Cavalcanti (2011), estudando influência da Oscilação Antártica nos bloqueios ocorridos no Pacífico Sudeste e Atlântico Sul a partir dos modelos HADCM3, GFDL e ECHAM5 e fazendo uma comparação dos eventos e de dias com bloqueios simulados por modelos IPCC, para o período de 1960 a 2000, mostraram uma relação entre a AAO e os bloqueios atmosféricos, principalmente no Pacífico Sudeste, com uma maior duração na fase negativa. Em relação à duração dos eventos de bloqueio foi possível verificar diferenças para cada fase da AAO,

observando-se uma forte variação sazonal. Finalmente, percebeu-se que os três modelos tendem a superestimar os bloqueios atmosféricos (eventos e duração) no Pacífico Sudeste e Atlântico Sul, porém, representam bem a variabilidade sazonal, com maior atividade no inverno e menor atividade no verão. Esses bloqueios atmosféricos ao interromperem o escoamento zonal de oeste inibem a propagação de massas de ar frio chegue as regiões sul e sudeste do Brasil, assim, as temperaturas tendem a aumentar devido o avanço de massas de ar quente vindas da região norte do Brasil.

3 Metodologia

3.1 Regiões de estudo

Segundo o censo realizado no ano de 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), as regiões Sul e Sudeste (Figura 1), juntas compreendem 55% da população brasileira. Destaca-se ainda a importância econômica destas duas regiões na participação do PIB nacional (ROCHA et al. 2012).

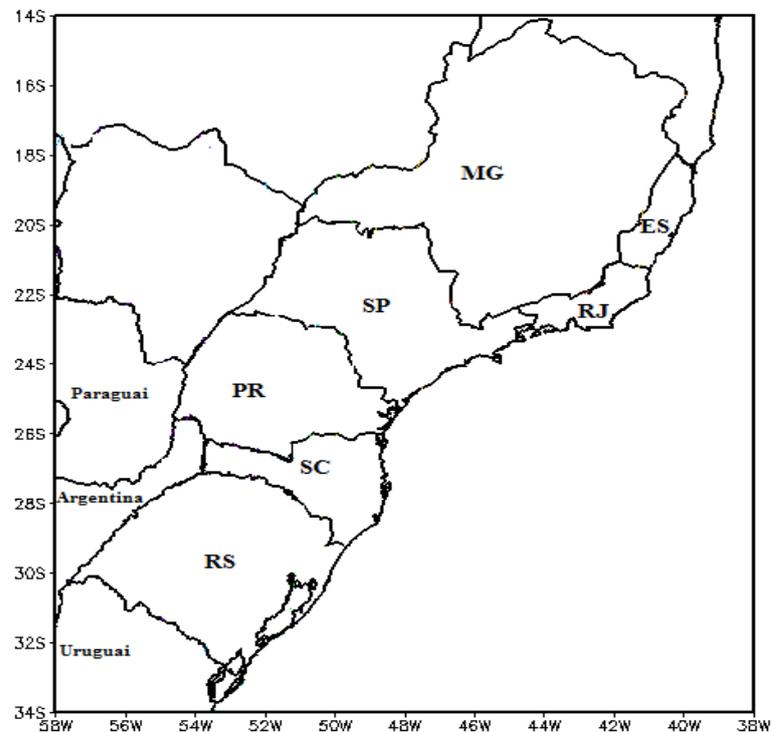


Figura 1. Regiões Sul (RS, SC e PR) e Sudeste (SP, MG, RJ e ES)

3.2 Dados

Neste trabalho foram utilizados dados de reanálises do projeto MERRA (Modern Era Retrospective-Analysis for Research and Applications) desenvolvido no Goddard Space Flight Center/National Aeronautics and Space Administration (GSFC/NASA) (RIENECKER et al. 2011). Assim como outras gerações de reanálises como a do National Oceanic and Atmospheric Administration/National Centers for Environmental Prediction (NOAA/NCEP) (KALNAY et al. 1996), European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) (UPPALA et al. 2005) e a Japanese Reanalysis (JRA-25) (ONOGI et al. 2007), a reanálise do MERRA prova ser uma importante ferramenta científica para pesquisas de tempo e clima. Além disso, esta nova geração de análise integra uma variedade de sistemas com modelos numéricos de observação para produzir uma síntese temporal e espacialmente consistente de observações de variáveis que não são facilmente observadas, incluindo ainda, avanços importantes tais como: frequência de saída dos dados a cada uma hora e resolução espacial final de $1/2^\circ$ de latitude x $2/3^\circ$ de longitude, logo dando maior acurácia que as reanálises com resoluções mais grosseiras ($2,5^\circ$ graus de latitude e longitude) e 72 níveis verticais de observações.

O projeto MERRA tem como objetivo dar suporte à Divisão de Ciências da Terra da NASA, através de observações de satélite – Earth Observing System – para pesquisas relacionadas ao clima e o ciclo hidrológico utilizando sistemas de assimilação de dados globais ao longo do tempo, isto é, cobrindo a era moderna dos dados de sensoriamento remoto (1979 até o presente). Atualmente o sistema aplicado é o Goddard Earth Observing System Model, Versão 5 (GEOS-5), sendo o estado-da-arte da assimilação dos dados que inclui muitos sistemas de observações modernos dentre eles o Earth Observing System (EOS) (RIENECKER et al. 2008). O EOS é uma série coordenada de satélites de baixa inclinação e baixa órbita polar para observações da Terra. Os dados MERRA ainda, são resultados de um sistema de modelos integrados utilizando o ESMF (Earth System Modeling Framework), GEOS-5 AGCM (Atmospheric General Circulation Model) com a análise de Interpolação Estatística GridPoint (GSI) atmosférico desenvolvido em conjunto com NOAA/NCEP/EMC (Environmental Modeling Center).

As reanálises do MERRA são empregadas em vários trabalhos, como por exemplo em Quadro et al. (2012), Wei et al. (2013), Avila et al. (2015) e Cossetin et

al. (2016), sendo, também, comparadas com outras reanálises (KENNEDY et al. 2011; HODGES et al. 2011, entre outros) ou comparadas com dados de satélite (POSSELT et al. 2012; NAUD et al. 2014, entre outros). Tais características fizeram com que este tipo de reanálise fosse usado neste trabalho.

Primeiramente, foi escolhido este período referente aos meses de dezembro, janeiro e fevereiro (2013-2014), como representativo do verão devido ao mês de dezembro ser climatologicamente mais quente que o mês de março nas regiões de estudo. No entanto, também considerou-se o período de janeiro, fevereiro e março de 2014 (JFM), o verão astronômico, haja vista que março de 2014 apresentou consideráveis anomalias positivas, além de que, astronômicamente, possui mais dias de verão do que dezembro. Foram coletados dados do período de 1979-2008 para se obter a climatologia de geopotencial em 500 hPa, pressão ao nível médio do mar, umidade específica em 850 hPa, temperatura do ar a 2 metros da superfície, além da direção e magnitude do vento em 250 e 850 hPa. O cálculo de anomalias (diferença entre o referido verão e o verão climatológico) é referente às 09 e 18 UTC (Universal Time Coordinated) afim de se verificar seus comportamentos anômalos com relação às consideradas temperaturas mínimas (09 UTC) e máximas (18 UTC).

Os verões anormalmente quentes foram escolhidos baseado nas anomalias de temperatura média trimestral do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que segue as recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM), que exige o descarte de séries mensais com dados faltantes em 3 dias consecutivos ou 5 dias alternados. A adoção desta regra se refere a variáveis como a temperatura do ar e umidade relativa, pois são variáveis que representam valores médios diários – como temperatura máxima, temperatura mínima, pressão atmosférica, velocidade do vento e umidade relativa do ar. No entanto, o INMET, optou por adotar, para a variável “temperatura média”, o cômputo da média simples entre temperaturas máximas e mínimas e para computo de temperaturas mínima e máxima diárias o INMET optou também por média simples de valores mínimos e máximos observados na coleta dos dados realizadas as 00, 12 e 18 UTC de suas estações disponível na página do sitio eletrônica do INMET. Neste trabalho, a seleção dos verões anormalmente quentes levou em conta os casos em que não foi encontrado nenhum ponto sobre a região de estudo com anomalia negativa.

O Índice Oceânico Niño (ONI) refere-se às anomalias de temperatura da superfície do mar na região do niño 3.4 compreendida entre as latitudes 5°N-5°S e

longitude 120-170°W. O CPC (Climate Prediction Center), ligado ao National Weather Service pertencente a NOAA, considera o fenômeno ENOS consolidado quando as anomalias de TSM atingem o limiar +/- 0,5°C em um período mínimo de cinco meses consecutivos. O ONI é uma medida do El Niño-Oscilação do Sul, outros índices podem confirmar se as características são consistentes com um fenômeno acoplado oceano-atmosfera acompanhado nesses períodos.

O Índice MEI (Múltivariate ENOS Index) é outro índice oceânico-atmosférico definido para analisar o comportamento do ENOS através de observações no Pacífico Tropical. Foi desenvolvido pelo CDC (Climate Diagnostics Center, da NOAA), sendo determinado por 6 variáveis atmosféricas: pressão ao nível do mar, componente zonal e meridional do vento em superfície, temperatura da superfície do mar, temperatura do ar e um indicador de nebulosidade. Este índice oscila entre valores positivos e negativos, que indicam a fase quente e fase fria, respectivamente, determinando assim a intensidade relativa de eventos El Niño e La Niña. É obtido através da primeira componente principal não rotacionada de todos os seis campos observados e combinados (LOPES, 2006, apud SILVA, 2011).

Verificou-se ainda o Índice de Oscilação Antártica (AAO) para avaliar a fase positiva e negativa do modo anular do sul. A AAO é um tipo de oscilação no cinturão de pressão no nível de 700 hPa que cruza o Chile e a Argentina em oposição ao Mar de Weddell e ao Mar de Bellingshausen (KIDSON, 1988; LIMPASUVAN; HARTMANN, 2000; THOMPSON; WALLACE, 2000).

4 Resultados e Discussão

4.1 Verão 2013/2014

A figura 2a apresenta o campo de anomalia de temperatura média do ar a 2 metros para o trimestre DJF (2013/2014). Observa-se que durante este período as anomalias positivas se concentraram sobre os Estados de MG, RJ, SP, sul do ES, norte do PR, litoral de SC, além do litoral e sul do RS. As anomalias positivas se concentraram praticamente em todo o sudeste brasileiro, variando entre 1,0° C no centro-norte e leste-sudoeste de MG, centro-sul de SP e ES, chegando a 4,5° C sobre o sul do RJ. Na região sul do Brasil as anomalias positivas variaram entre 0,5° C no extremo norte e litoral do PR e litoral de SC, atingindo 2,5° C no litoral do RS. Porém, este trimestre foi marcado por anomalias negativas no noroeste do RS, centro-oeste de SC e sudoeste do PR com valores variando entre 0,5° C e 1,5° C abaixo da climatologia sobre estes Estados. Na região sudeste do Brasil, apenas no norte do ES e nordeste de MG houve uma leve anomalia negativa de 0,5° C.

Já para o trimestre JFM (Figura 2b) observa-se a presença de anomalias positivas sobre todos os estados em estudo. No entanto, houve variações no interior de cada estado, sendo observados valores entre 0,5° C e 3,0° C em quase toda MG, enquanto que no RJ os valores ficaram em torno de 4,5° C. Em SP as maiores anomalias positivas foram observadas na fronteira nordeste, na divisa com o RJ, chegando a 4,0° C e no noroeste, na divisa com MG, além do sudoeste paulista, com valores variando entre 1,5° C e 2,5° C. No ES, neste trimestre foi observada uma leve anomalia positiva, com regiões de neutralidade (valores próximos a zero) sobre a parte norte; no entanto, na parte sul do estado e no litoral capixaba foram observadas anomalias positivas variando entre 0,5° C e 1,5° C. Nos estados da região sul do Brasil, as anomalias positivas foram observadas em todo o litoral, sendo os maiores valores encontrados no litoral gaúcho (até 3° C acima da normal), além do noroeste do RS na fronteira com a Argentina. Em SC os valores positivos

foram observados no leste (1,0° C) e oeste catarinense (1,5° C) e no PR as anomalias positivas variaram entre 1,0° C e 2,0° C no litoral e oeste, respectivamente. Este trimestre foi marcado por neutralidade no nordeste de MG, norte do ES, centro-sul do PR, centro e parte leste catarinense além de parte do nordeste do RS. Não foi observado nenhum ponto das regiões sul e sudeste com anomalia negativa de temperatura média do ar.

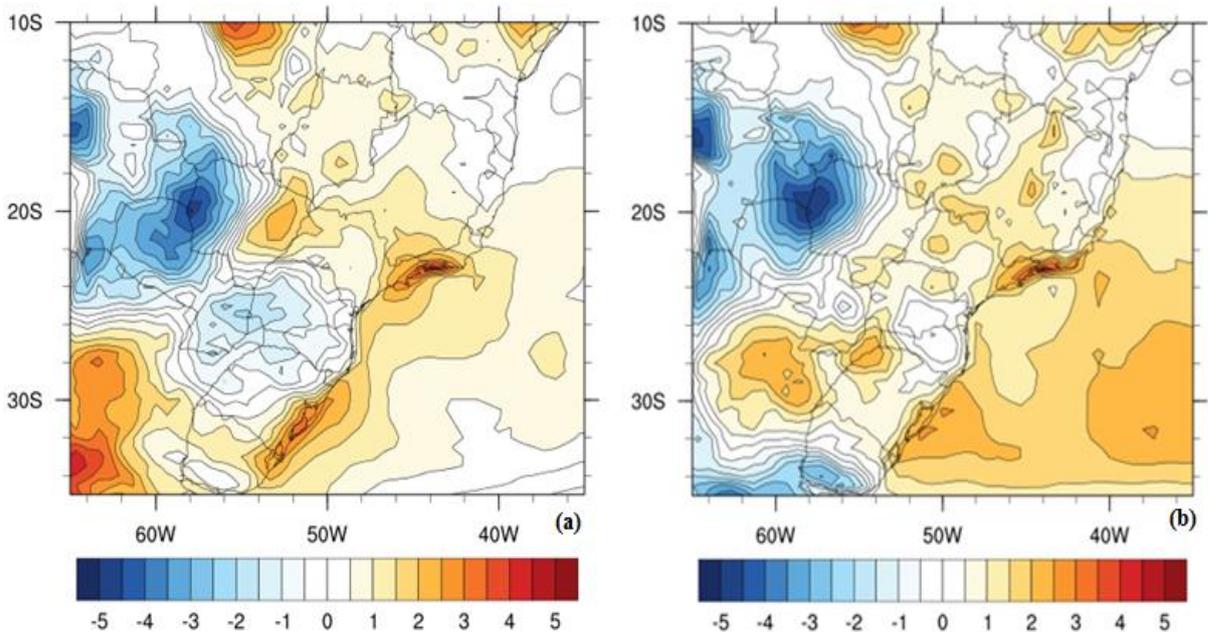


Figura 2. Anomalia de temperatura média do ar (°C) a 2 metros da superfície para os trimestres (a) DJF e (b) JFM.

De acordo com a figura 3a, a qual apresenta a anomalia de temperatura mínima (09 UTC) do ar a 2 metros para DJF, na região sudeste do Brasil é observada uma neutralidade variando para um comportamento anômalo negativo de 2° C em áreas isoladas em MG, enquanto que os Estados do RJ e ES se encontraram neutros. Porém, na região centro-sul do Estado de SP esta variável apresentou anomalia negativa de 6° C. Este comportamento anormalmente negativo também foi observado na região sul, variando a magnitude entre 3° C e 5° C, sendo mais suaves no centro-sul do RS, em média 3° C. No entanto, no extremo noroeste do RS, oeste de SC e PR não foi observado valores anômalos significantes acima de 1° C. Pode-se, ainda, observar um padrão de anomalia positiva da temperatura mínima do ar próximo à fronteira entre Brasil, Argentina e Paraguai, chegando a 5° C no sul do Paraguai.

Na figura 3b observa-se que em JFM esta variável obteve comportamento anormalmente positivo em quase toda a região sudeste variando entre 1° C e 4° C, no sul do RJ, centro-oeste de MG, leste de SP e com tendência a neutralidade no ES, oeste de MG e SP. Somente dois pontos isolados, no interior de SP e norte de ES apresentaram anomalias negativas. No sul, a temperatura mínima comportou-se anormalmente positiva sobre o centro-leste do PR com anomalias positivas de 2° C, chegando a 4° C sobre SC e até 5° C no RS.

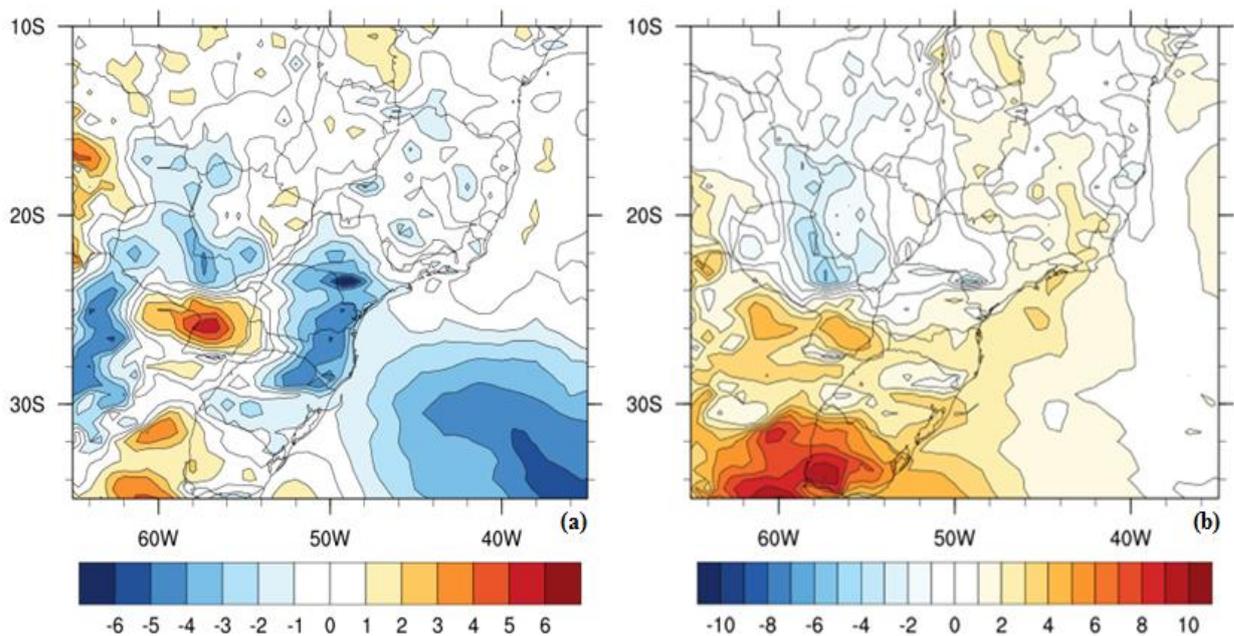


Figura 3. Anomalia de temperatura mínima do ar (°C) a 2 metros da superfície para os trimestres (a) DJF e (b) JFM.

A figura 4a apresenta a anomalia de temperatura máxima (18 UTC) do ar em 2m para o trimestre DJF. Foi observado na região sudeste que as anomalias positivas se encontraram em pontos isolados no noroeste de SP e na fronteira de SP, MG e RJ (entre 2° C e 3° C). Nas demais localidades desta região foram observadas anomalias negativas, como no centro de SP, variando até 3° C, além dos estados de RJ, ES e praticamente toda MG variando entre 1° C e 3° C. No sul do Brasil, no oeste dos Estados do PR e SC, foram observados os maiores valores anômalos positivos, chegando a 5° C. Também foram observadas anomalias positivas de 2° C em pontos isolados, no centro-leste de SC e nordeste do RS. Porém, no sudoeste RS, na fronteira com o Uruguai e Argentina, foram observadas anomalias negativas da temperatura máxima do ar acima de 10° C.

Já pra o trimestre posterior (JFM), representado pela figura 4b, observa-se que na região sudeste do Brasil as maiores anomalias positivas foram observadas no litoral do RJ e SP, oeste de MG e sul do ES com anomalias positivas oscilando entre 2° C no sudeste de MG a 7° C na fronteira dos Estados do RJ e SP. No sul do Brasil, foram observadas anomalias positivas de 1° C no litoral do PR, SC estendendo-se pelo interior deste Estado, norte, leste e sul do RS com anomalias positivas variando entre 3° C em SC e 8° C no litoral do RS. Todavia, também foram observadas regiões com comportamento anormalmente negativo no leste de MG e oeste de SP, com variação de 2° C em MG a 8° C no sudoeste de SP. Na região sul, notou-se que boa parte do PR e parte do oeste gaúcho apresentaram anomalias negativas chegando a 4° C.

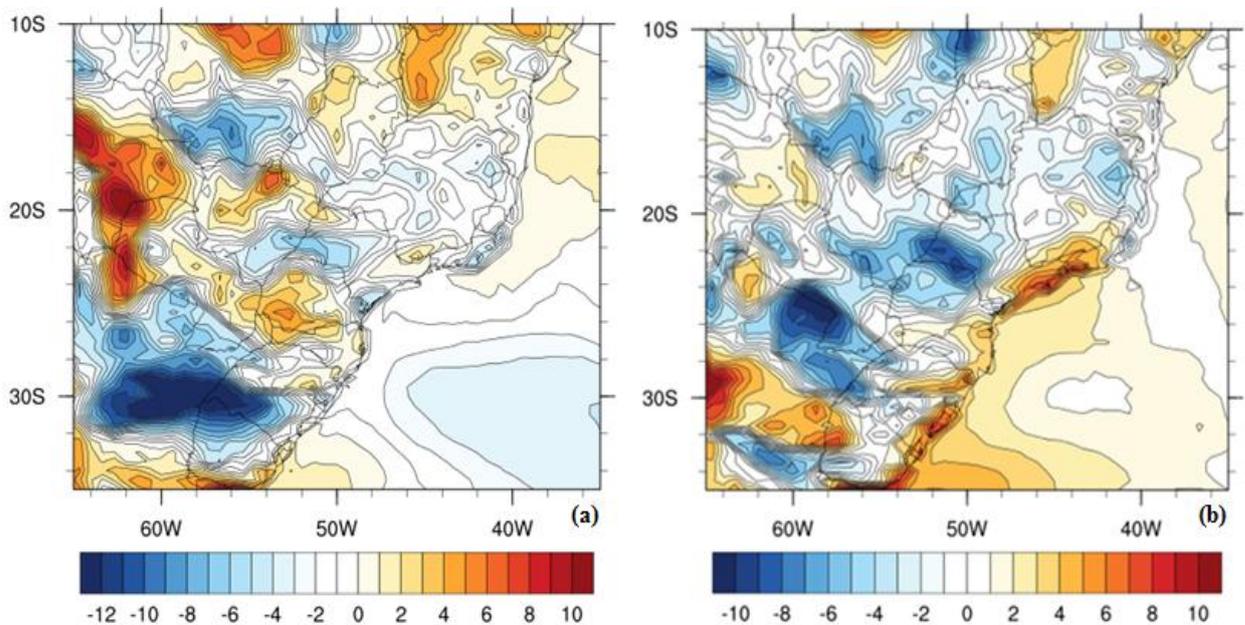


Figura 4. Anomalia de temperatura máxima do ar (°C) a 2 metros da superfície para os trimestres (a) DJF e (b) JFM.

Após análise dos campos de anomalias de temperatura (média, mínima e máxima), observou-se que o verão anormalmente quente se configurou durante o trimestre JFM, pois em DJF ocorreram locais com anomalias negativas, algumas intensas. Portanto, a partir daqui a análise será feita somente para o trimestre JFM.

A figura 5 mostra o comportamento anômalo da pressão ao nível médio do mar (PNMM) para o trimestre JFM de 2014. É observada, neste trimestre, a presença de anomalia positiva intensa no Pacífico, sendo associada com a

intensificação do Anticiclone do Pacífico Sul (ASPS), além de seu deslocamento mais para sul em relação a climatologia (aqui não apresentada). Sabe-se que a região sudeste da AS é uma região ciclogênica e no verão a oclusão concentra-se entre o litoral leste da Argentina até o RS (GAN; RAO, 1991). Porém, foi observado que durante o trimestre e ano de estudo houve um deslocamento da região ciclogênica mais para sudeste de sua região climatológica indicando que as frentes frias e os ciclones associados à elas não conseguiram se propagar até as regiões sul e sudeste do Brasil onde foi observado a presença da anomalia positiva de pressão, associada a anomalia positiva sobre o Atlântico na mesma região que foi observada anomalia de circulação anticiclônica em 850 hPa (Figura 7). Esta anomalia de pressão, indicando uma ASAS mais intensa, intensificou a componente norte do vento no interior do continente que se propagou até o leste da Argentina (Figura 7), estabelecendo condições atmosféricas desfavoráveis a entrada de sistemas frontais. Ressalta-se ainda que de acordo com Satyamurty et al. (1998), baseado em Oliveira (1986), para o período de 1975-1984, foi detectada uma frequência de 15 a 18 casos de sistemas frontais em média para a região de estudo nos meses de JFM, todavia, em 2014 foram observados durante janeiro e fevereiro 4 casos (INMET, 2014) e em março 5 sistemas (CPTE/INPE, 2014), estabelecendo assim menor frequência em relação ao esperado.

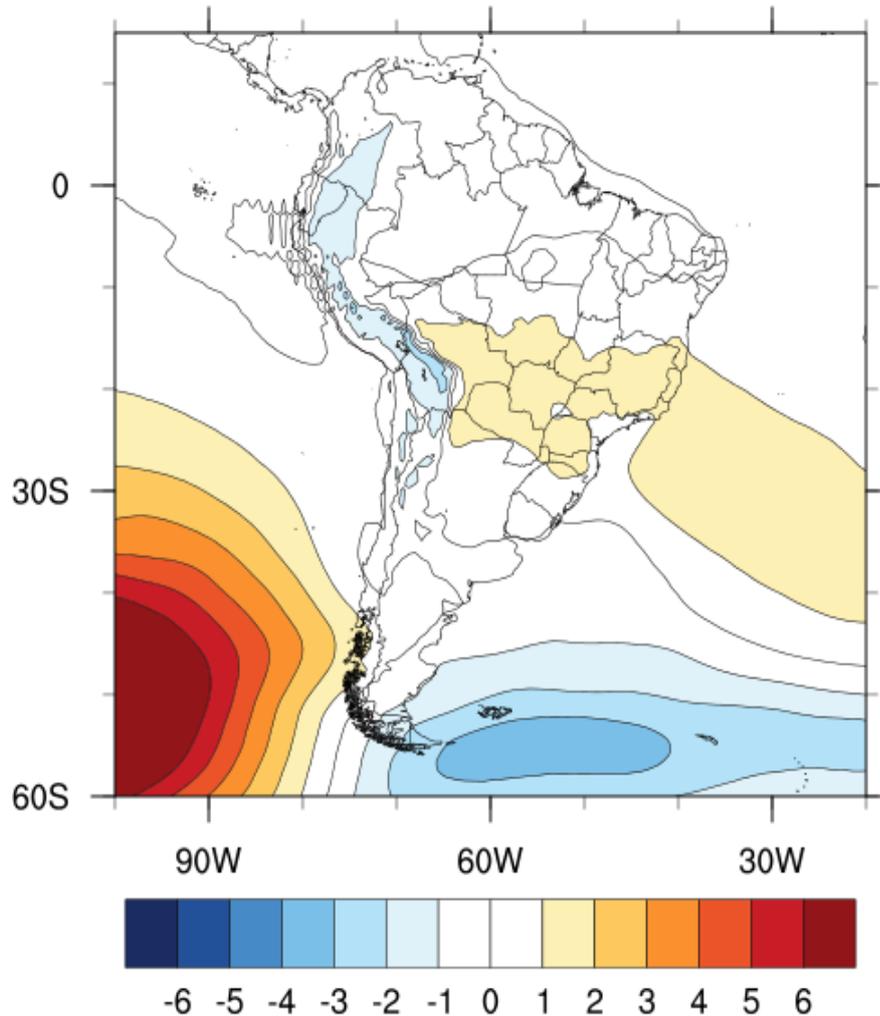


Figura 5. Anomalia de pressão ao nível médio do mar (hPa) para o trimestre JFM.

A figura 6 apresenta o comportamento anômalo de altura geopotencial em 500 hPa para o trimestre JFM. Observa-se sobre todo o litoral sudeste do Brasil o comportamento anômalo positivo de altura geopotencial (circulação anticiclônica), estabelecendo assim para este trimestre sobre esta região um padrão propício ao aquecimento da camada (apesar da leve anomalia positiva de PNMM, como visto na Figura 5). É possível observar ainda outro padrão de anomalia positiva de geopotencial configurada sob o oceano Pacífico ao sudoeste da AS e entre essas duas anomalias positivas de geopotencial é observado anomalia negativa ao sul da AS. As anomalias positivas de geopotencial observado, estão relacionadas com a intensificação dos anticiclones semipermanentes dos oceanos adjacentes. Ressalta-se que a intensificação do ASPS está associada com ondas de frio (RUSTICUCCI; VARGAS, 2001). Porém, as figuras 5 e 6 sugerem que a intensificação e deslocamento para Sul do ASPS, favoreceu um padrão de bloqueio (anticiclone de

bloqueio), assim, os sistemas transientes que vindos do Pacífico atravessam os Andes e se propagam em direção as regiões sul e sudeste do Brasil, propagaram-se pelo extremo sul da AS, a qual foi observada grande anomalia negativa de PNMM e geopotencial em 500 (Figuras 5 e 6), sugerindo que esta região concentrou os sistemas transientes tais como frentes frias e ciclones extratropicais. Valores semelhantes de anomalias de geopotencial de PNMM foram observados por Coelho et al. (2015) e Reboita et al. (2015), estudando o déficit de precipitação sobre a região sudeste do Brasil. A intensificação e deslocamento para oeste ASAS favoreceu ao aparecimento de um padrão de bloqueio sobre as regiões sul e sudeste, sendo assim, dos sistemas transientes que se deslocavam do extremo sul da AS, poucos passaram do paralelo de 40°S, favorecendo o surgimento de anomalias positivas de temperatura (Figura 2b).

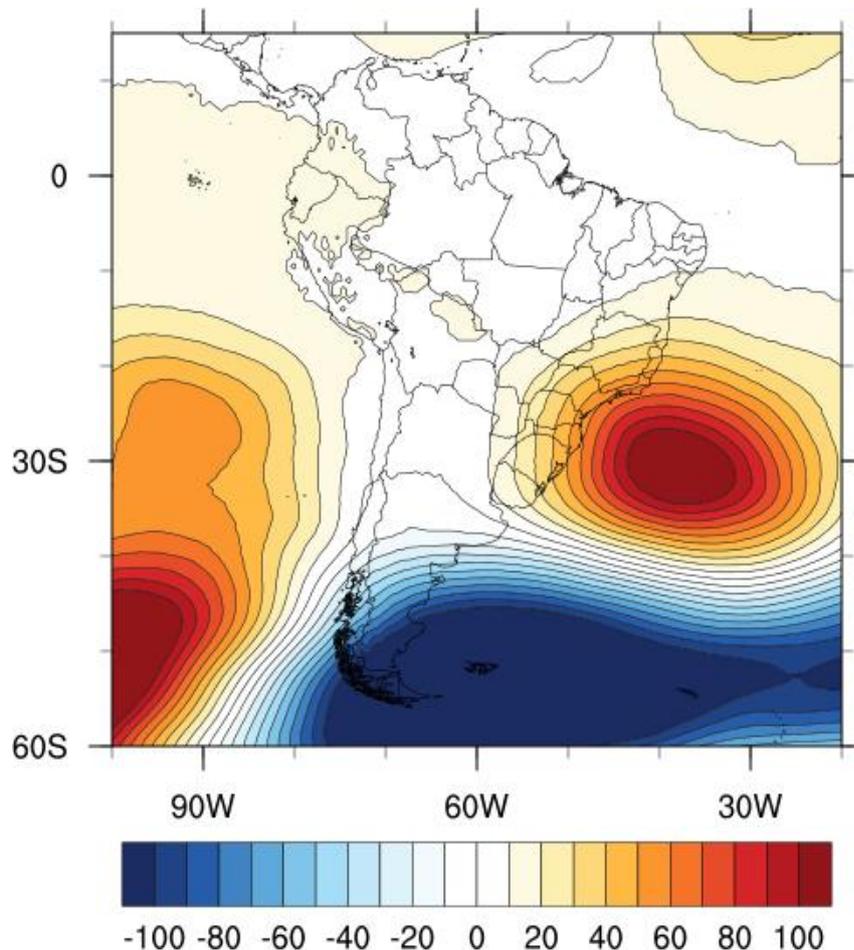


Figura 6. Anomalia de altura geopotencial (mgs) em 500 hPa para o trimestre JFM.

A figura 7a apresenta o campo climatológico de vento através de linhas de corrente para o nível de 850 hPa para o trimestre JFM. No escoamento em baixos

níveis observa-se a presença dos anticiclones sobre os oceanos Pacífico e Atlântico bem configurados assim com os observados por Lemos (2000), para um período de 17 anos, e Reboita et al. (2012), para um período de 30 anos. Observou-se, ainda, a configuração dos ventos alísios de nordeste adentrando o continente, passando pela bacia Amazônica em direção aos Andes. Todavia, parte deste escoamento desloca-se meridionalmente em direção as regiões sudeste e sul do Brasil configurando, quando obedecidos os critérios de Bonner (1968), os Jatos de Baixo Níveis (JBN) (MARENGO et al. 2002; MARENGO; SOARES, 2004). Portanto, com o uso de reanálises mais refinadas daquelas encontradas na literatura em trabalhos climatológicos (por exemplo, LEMOS 2000), foi possível observar um cavado de pequena amplitude sobre o RS, assim como um igualmente pequeno anticiclone a oeste dele. Esta pequena amplitude indica que não se trata de grande advecção fria, pelo contrário – nota-se que a corrente de sul tem pouca extensão, e não é proveniente do sul da Argentina como no inverno. Sabe-se ainda que sistemas frontais ocorrem durante o ano todo (OLIVEIRA, 1986), o que explicaria a presença deste pequeno cavado transiente sobre o RS. O campo referente ao verão em estudo (Figura 7b) mostra a presença dos anticiclones semi-estacionários dos oceanos Pacífico e Atlântico Sul (ASPS e ASAS, respectivamente), que são responsáveis em grande parte pelas condições de tempo sobre a América do Sul (SATYAMURTY et al. 1998), os quais influenciam a propagação de massas de ar polar e tropicais quentes e úmidas, com um leve deslocamento em suas posições, especialmente o do Atlântico, que influencia mais diretamente na circulação continental. O escoamento de norte sobre o centro do continente configurou-se mais intenso que a climatologia se estendendo até o sudeste e sul do Brasil – indicando forte advecção quente sobre a região. Além disso, não foi observado o cavado sobre o RS, tampouco o anticiclone a oeste dele.

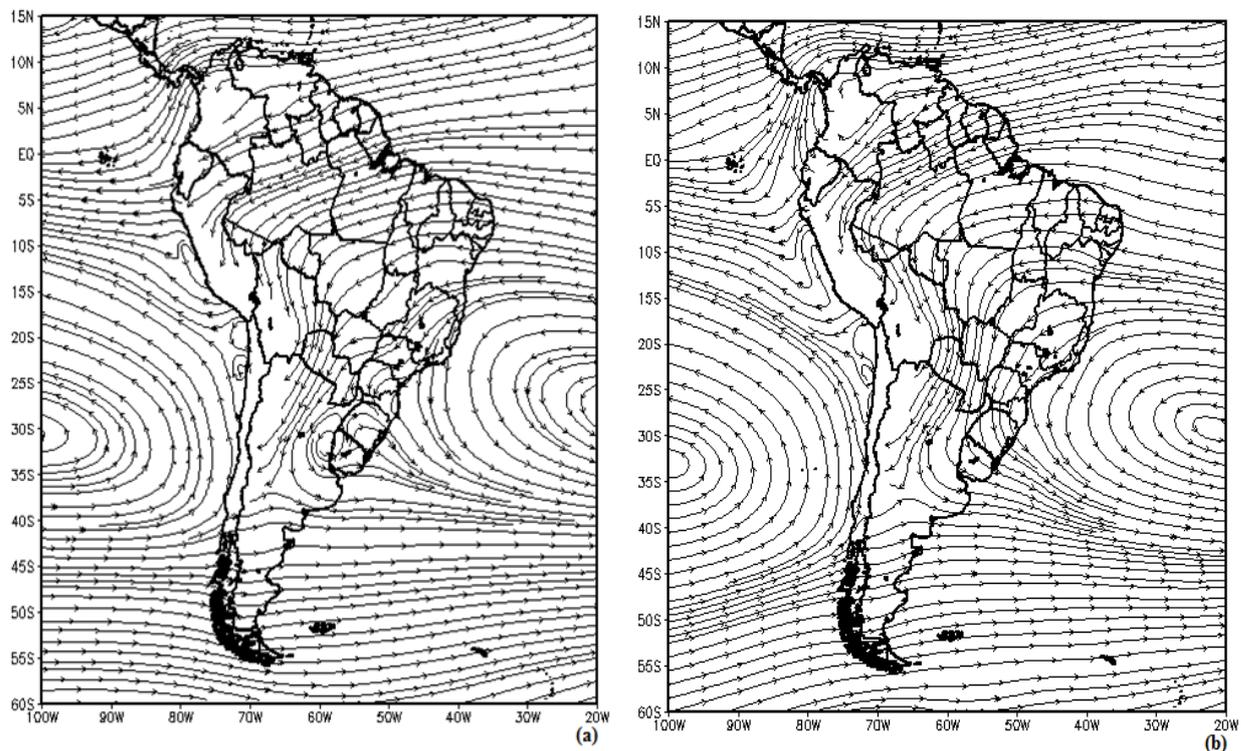


Figura 7. Campos de linha de corrente em 850 hPa: Climatologia 1979-2008 (a) e verão observado (b) para o trimestre JFM.

A figura 8 apresenta o comportamento anômalo do vento por meio do campo de linha de corrente no nível de 850 hPa para JFM. Diferentemente do estudo de Salio et al. (2002), que observou uma convergência de umidade durante o evento do JBN na Planície do Chaco no verão 1997-98, o verão em estudo apresentou esse padrão anormalmente quente para as 18:00 UTC provocado pela advecção de umidade da Amazônia trazida pelo escoamento de norte (representado pela anomalia de vento norte sobre o Paraguai na Figura 8). É observado para este trimestre, uma anomalia de circulação anticiclônica na costa sudeste da AS, região tipicamente próxima da Alta-Semipermanente do Atlântico Sul (ASAS), centrada em 30°S 32°W observado também por Coelho et al. (2015). Nota-se que as isotacas menos intensas de quadrante sudeste-noroeste desde o Atlântico que penetraram sobre o nordeste brasileiro (NEB) contornando até o centro-oeste do Brasil (COB), advectando ar seco destas regiões até os Estados de MG e RJ, o qual apresentou anomalias negativas de umidade específica. No entanto, quando, as isotacas mais intensas propagaram-se até a região amazônica advectando massas de ar quente e úmida da região Amazônica em direção aos Estados da região sul do Brasil, estes apresentaram normalidade com tendência a anomalias positivas de umidade no

nível de 850 hPa (Figura 11). O escoamento anômalo de norte no centro do continente evita a propagação do escoamento meridional de sul (frio) para as regiões sul e sudeste do Brasil.

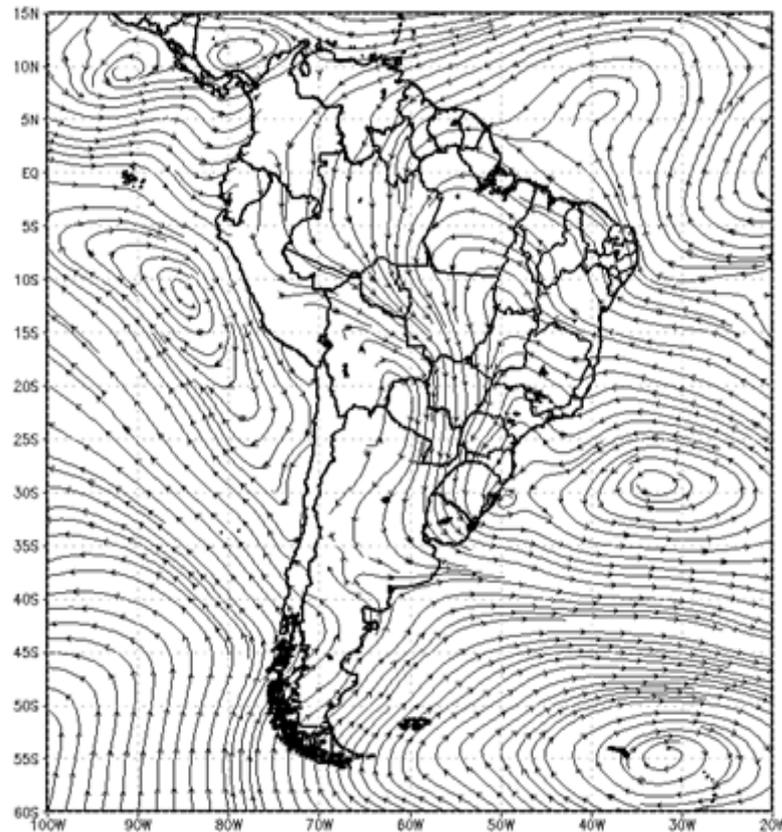


Figura 8. Anomalia de linha de corrente em 850 hPa para o trimestre JFM.

A configuração climatológica dos ventos em altos níveis (250 hPa) através do campo de linhas de corrente sobre a AS representada pela figura 9a para o período de 1979 a 2008 no trimestre JFM, mostrou um sistema fechado de circulação anticiclônica denominado a Alta da Bolívia (AB) (KOUSKY, 1981) e o cavado sobre o NEB (CNEB) (LENTERS; COOK, 1997) que segundo Ferreira et al. (2004) governam a circulação atmosférica de ar superior sobre o Brasil. Ainda segundo Ferreira et al. (2004), o sistema AB/CNEB é responsável pela organização da precipitação na Amazônia e região central e sudeste do Brasil. Todavia, pode se observar que em 2014 (Figura 9b) a AB comportou-se menos intensa e com sua borda leste menos alongada em direção ao NEB, implicando no aparecimento do CNEB mais próximo da costa leste com Brasil, desde o litoral de SP se aprofundando em direção a 5°S 20°W. Esse deslocamento implicaria em mudanças das atividades convectivas (FERREIRA et al. 2004) como observado por Coelho et al. (2015) e Reboita et al.

(2015). A densidade de linhas de corrente indica que o jato, em 2014, está mais ao sul do que o normal, indicando uma menor frequência de instabilidades baroclínicas na região de estudo.

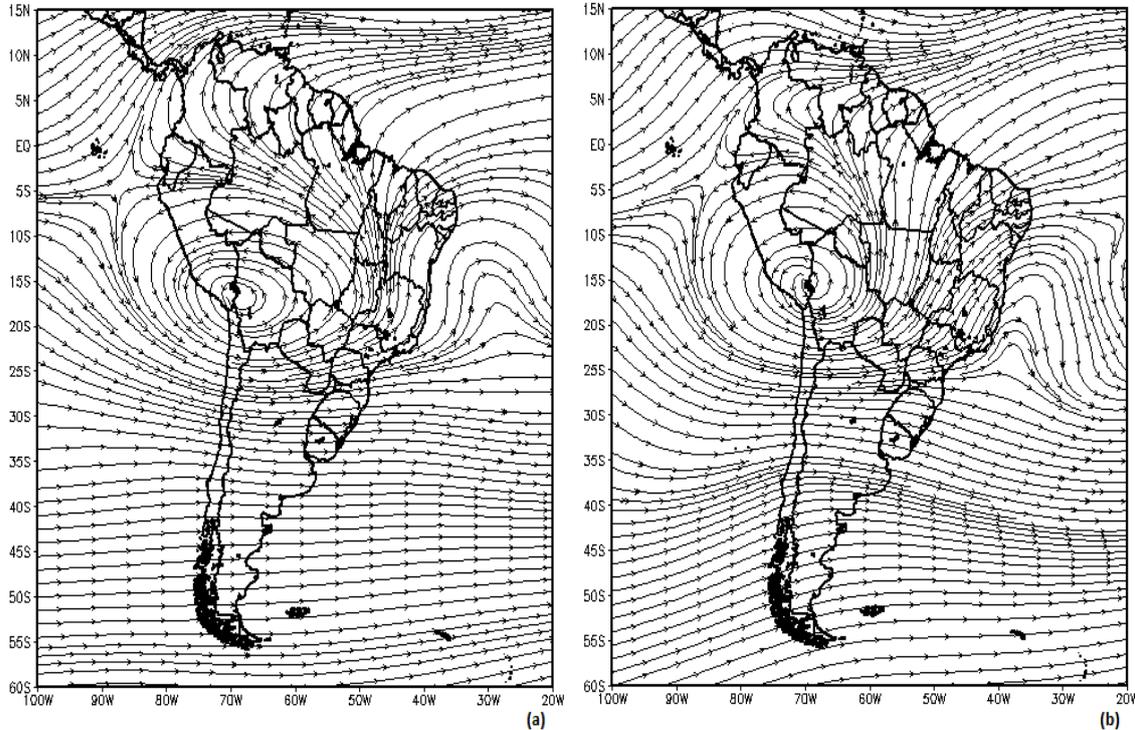


Figura 9. Campos de linha de corrente em 250 hPa: Climatologia 1979-2008 (a) e verão observado (b) para o trimestre JFM.

Quando analisado o comportamento anômalo de linhas de corrente para o nível de 250 hPa (Figura 10), percebe-se o aparecimento de uma anomalia circulação ciclônica centrada sobre o Estado de MG – porém, posicionado sobre todo o sudeste do Brasil – e o anticiclônica a sudeste deste (sudeste da AS), configurando um bloqueio atmosférico do tipo dipolo. A circulação ciclônica inibe a formação de nebulosidade no sudeste brasileiro ocasionando no surgimento de anomalias negativas de umidade sobre esta região (Figura 11). Vale ressaltar que foram observadas durante outras configurações de bloqueio para o trimestre, principalmente durante os meses de janeiro e fevereiro (Apêndice A). Nota-se ainda, o surgimento de uma circulação ciclônica de pequena amplitude no norte da Argentina. Esta circulação sugere uma advecção do norte da Argentina (representada pela componente norte da anomalia), assim favorecendo ao aumento da temperatura do ar (Figura 2b).

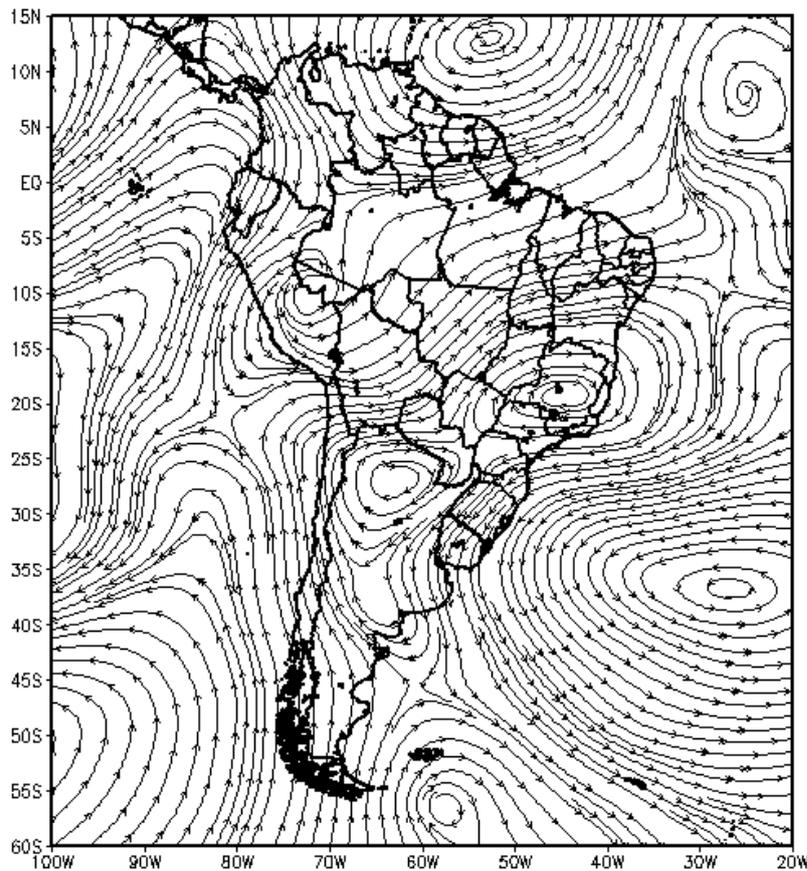


Figura 10. Anomalia de linha de corrente em 250 hPa para o trimestre JFM.

A figura 11 apresenta o comportamento anômalo de umidade específica (média diária) no nível de 850 hPa para o trimestre JFM. Observa-se sobre a região sudeste diminuição da umidade (tempo mais seco) principalmente no litoral capixaba, onde se percebe maiores valores anômalos negativo. Percebe-se ainda uma tendência à diminuição de anomalias negativas à medida que adentra o continente em direção ao norte, centro-sul de MG e ao oeste de SP. Contudo, a partir da região leste de SP, centro sul do PR, SC e RS, a camada atmosférica começa a umedecer, indicando a advecção de umidade pelo escoamento anômalo em 850 hPa a leste dos Andes, como observado na figura 8. Para Paltridge et al. (2009) a tendência no comportamento anômalo positivo de umidade específica em 850 hPa pode ser explicada devido a tendência no sentido de diminuição do lapse rate dentro da camada limite convectiva explicando um aumento da temperatura.

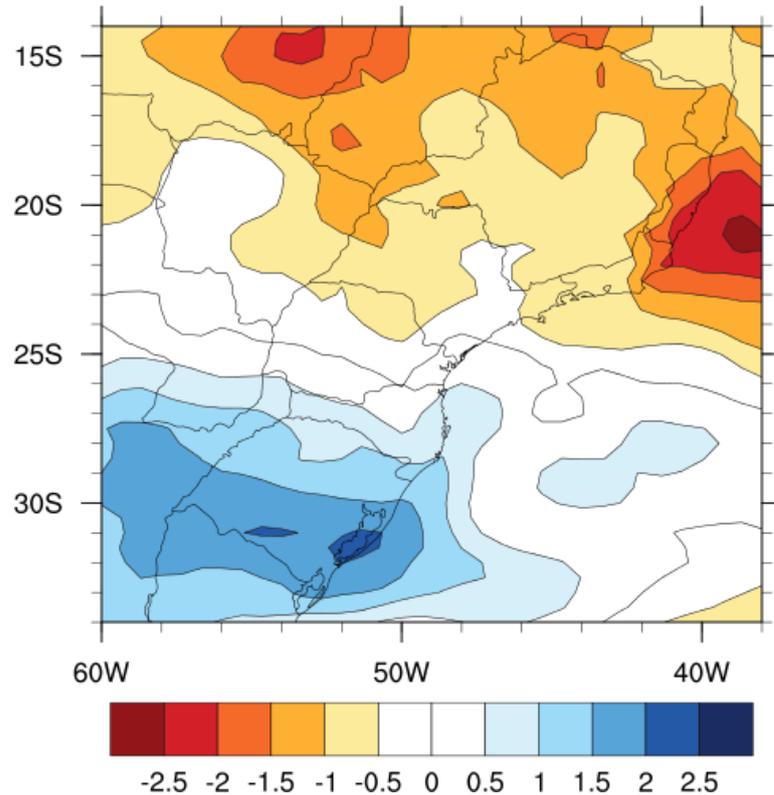


Figura 11. Anomalia de umidade específica (g/Kg) média no nível de 850 hPa para o trimestre JFM.

A figura 12 apresenta o comportamento anômalo da umidade específica no nível de 850 hPa as 9:00 UTC para JFM. Observa-se que, para o referido horário, esta variável apresentou locais com neutralidade e outros com anomalias positivas em toda a região sul, com valores extremos no sul do RS, com exceção da região central a qual apresentou uma anomalia positiva localizada. No Sudeste, o padrão de neutralidade variando a leve anomalia positiva manteve-se parecido com a região sul. Ao comparar as anomalias da umidade específica as 9:00 UTC e temperatura mínima, percebe-se que a umidade específica em 850 hPa favoreceu o aparecimento de anomalias positivas de temperatura mínima em superfície para este trimestre como observado na figura 3b. Isto se deve ao fato de que a umidade em excesso reteve parte da radiação de onda longa nesta parte da camada atmosférica, dificultando a perda radiativa da superfície terrestre, acarretando em temperaturas mínimas não tão baixas quanto o normal.

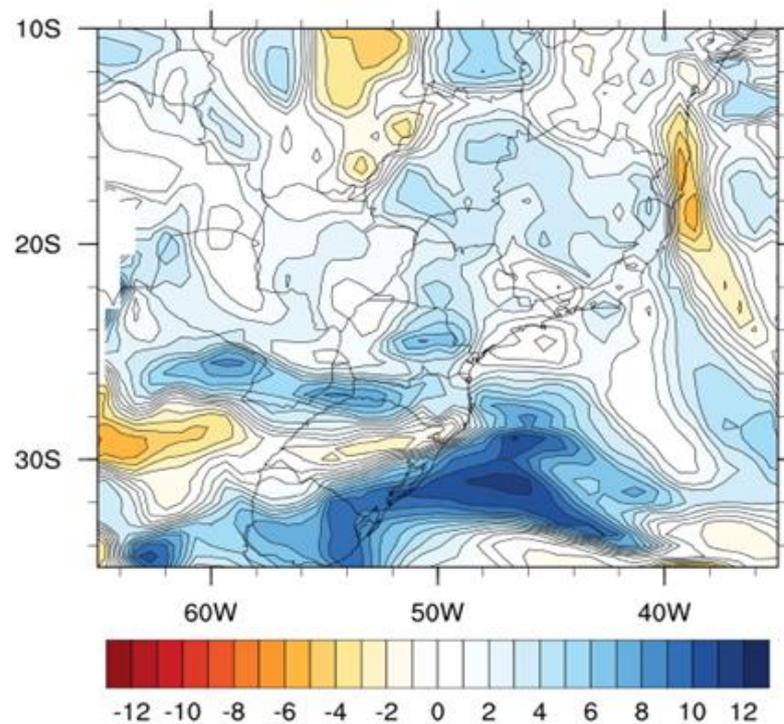


Figura 12. Anomalia de umidade específica (g/Kg) em 850 hPa as 9 UTC para o trimestre JFM.

A figura 13 apresenta o mesmo da figura 12, mas para as 18:00 UTC. Observa-se que neste nível e horário ocorreu uma configuração similar ao encontrado para as 9:00 UTC. A camada atmosférica sobre as regiões sul e sudeste apresentou locais de neutralidade variando a anomalias positivas, bem como aquelas observadas por Salio et al. (2002), porém com o escoamento oriundos de regiões diferentes. Ressalta-se que durante à tarde, em uma atmosfera úmida há tendência em indicar maior presença de nebulosidade convectiva, o que diminui a radiação solar incidente provocando temperaturas máximas menores. Porém, o próprio aquecimento superficial, quando suficientemente intenso, pode gerar nuvens convectivas, típicas de verão, implicando em maiores valores de umidade neste nível.

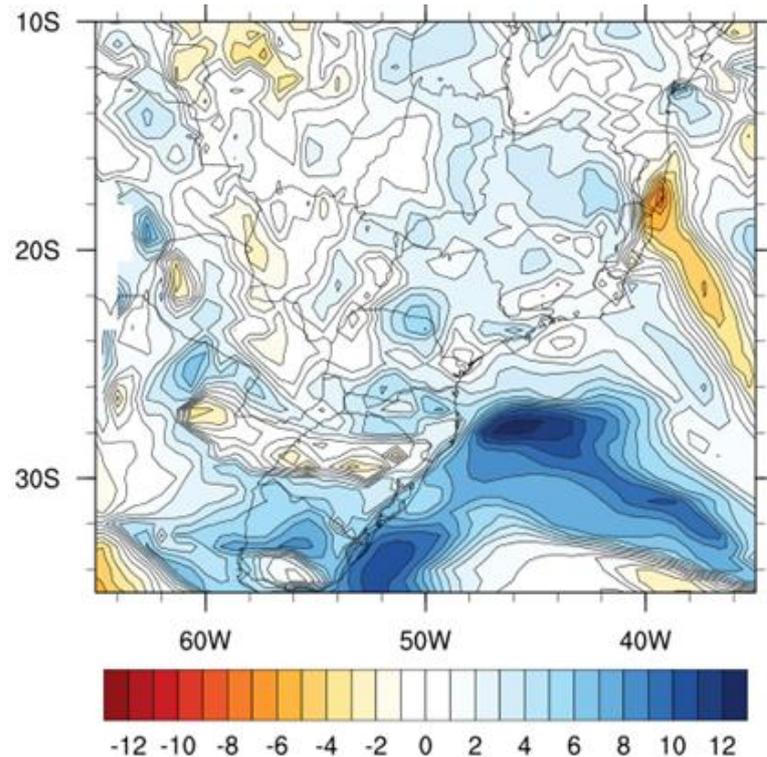


Figura 13. Anomalia de umidade específica (g/Kg) em 850 hPa às 18 UTC para o trimestre JFM.

4.2 Verões anormalmente quente segundo dados observados do INMET

De acordo com dados de anomalias de temperaturas médias trimestrais (Figura do Apêndice H) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2016), os anos que obtiveram os trimestres JFM mais quentes, isto é, os que não apresentaram nenhum ponto com anomalia negativa na área de estudo (região sul e sudeste do Brasil) foram: 1984, 2001, 2003, 2006 e 2010. Tal informação levou à análise de anomalias de configuração sinótica em baixos e altos níveis da atmosfera dos respectivos verões.

No campo de anomalia de pressão ao nível médio do mar (PNMM) para os mesmos trimestres e referidos anos, pode-se observar que sobre o continente durante o verão de 1984 (Figura 14a) foi possível observar leves anomalias negativas se estendendo desde o sul da AS até o Paraguai. As anomalias negativas sobre a Argentina indicam menor frequência ou intensidade das altas polares. Já as anomalias negativas sobre o norte da Argentina e Paraguai indicam uma BC mais intensa. Nota-se intensa anomalia negativa sobre todo o sul do Atlântico sul,

indicando ciclones extratropicais mais frequentes ou intensos, mas que, como mostram os demais campos, não influenciaram diretamente na região de estudo. Para o ano de 2001, foi observado sobre continente configuração de anomalia similar ao de 2014 (Figura 5), porém, com maior magnitude, contudo, tal configuração de PNMM indica um deslocamento para oeste da ASAS em relação a climatologia observada por Reboita et al. (2012), além disso, a borda noroeste ASAS atua como um inibidor dinâmico do mecanismo de levantamento, ocasionando verões mais secos principalmente sobre os Estado do RJ, MG e o ES (ESCOBAR, 2014) – no entanto, a presença da ASAS contribui para advectar ar tropical quente e úmido mediante a circulação de quadrante norte, leste e nordeste (VIANELLO et. al, 1986). Além disso, foi observada a intensificação (anomalias negativas de PNMM) da região ciclogênica da AS, encontradas por Gan e Rao (1991), com deslocamento para sudoeste de seu máximo e sobre o continente as anomalias negativas de PNMM foram similares ao ano de 1984. Em 2001 (Figura 14b) percebe-se anomalia positiva de PNMM sobre o Brasil e no sudeste da AS similar ao de 2014, contudo, maior intensificação de anomalia negativa de PNMM no sul da AS. Para o primeiro trimestre de 2003 (Figura 14c), as configurações de PNMM apresentaram maior distinção em relação aos outros verões. Ainda percebe-se anomalia positiva de PNMM sobre o continente, porém foi observado anomalias positivas (negativas) a oeste (leste) da AS, indicando um fortalecimento (enfraquecimento) da ASPS (ASAS), refletindo na maior frequência da atuação de cavados e/ou ciclones atuando desde o sul da AS até a região da ASAS. Contudo, ainda assim os sistemas transientes que se propagaram sobre os Andes (anomalias negativas de PNMM) e deslocaram-se para o Atlântico, indicam maior frequência ou intensidade dos ciclones, contudo, o aumento de temperatura (anomalias positivas de temperatura) indica ausência da alta polar, haja vista que anomalias negativas de PNMM sobre a Argentina indicam enfraquecimento ou pouca frequência das altas polares. Para 2006 (Figura 14d) não foi observado anomalias significativa ou tendência a persistência sobre o continente, contudo, pode se observar um núcleo anômalo positivo de PNMM centrado no Atlântico. Sobre a Argentina, estabeleceu-se um padrão de anomalia negativa indicando anticiclones menos intensos. Já para o ano de 2010 (Figura 14e) as configurações de anomalias de PNMM, assim como nos anos de 2001 e 2006, mostraram-se positivas entorno de 30°S e 35°W, contudo, pode-se observar o deslocamento mais para sul de tal anomalia sobre o Atlântico e

assim como observado em 2014 (Figuras 5 e 8), a configuração de um sistema de bloqueio (Figuras 15e e 15e). Desta forma, as anomalias negativas de PNMM observadas ao sul deste sistema de bloqueio indicam a intensificação e concentração dos sistemas transientes no sul da AS e os poucos que avançavam pelo continente propagavam-se até o Uruguai. Em todos os anos observou-se anomalias negativas sobre a Argentina, indicando altas polares menos intensas ou menos frequentes.

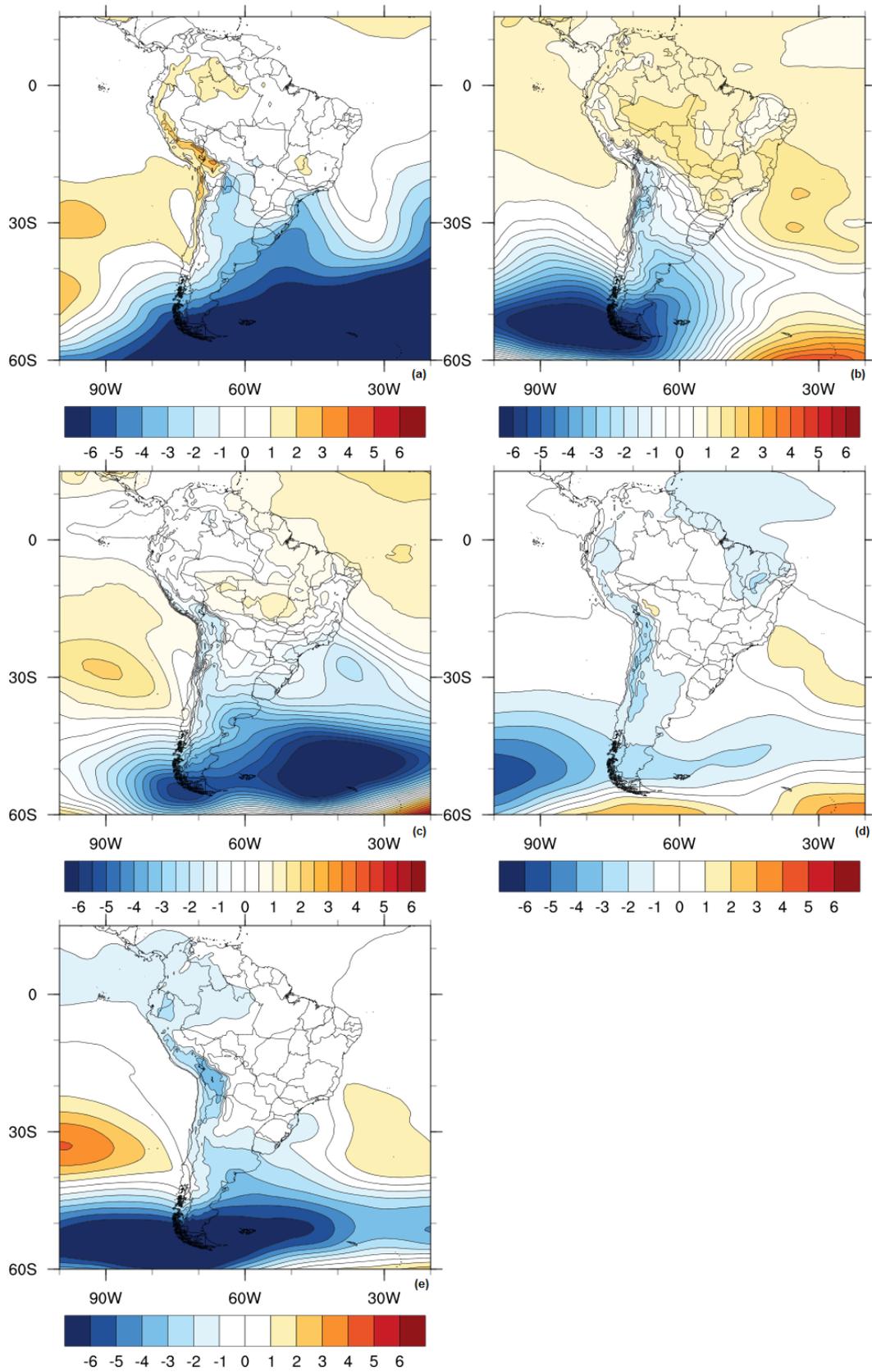


Figura 14. Anomalia Pressão ao nível médio do mar (hPa) para o trimestre JFM: (a)1984; (b) 2001; (c) 2003; (d) 2006; (e) 2010.

A configuração anômala de altura geopotencial em 500 hPa dos verões mais quentes é observada nas figuras abaixo. As anomalias positivas (negativas) de geopotencial indicam região propícia a Advecção de Vorticidade Anticiclônica – AVA – (Advecção de Vorticidade Ciclônica – AVC –) corrente abaixo das mesmas. Por outro lado, tais anomalias podem indicar advecções quentes (frias). No sudeste da AS foi possível observar anomalias positivas intensas, assim como observado em 2014 (Figura 6), que podem atuar como um anticiclone de bloqueio. Da mesma forma, percebe-se tais anomalias positivas no oeste da AS sobre o Pacífico. Contudo, em 500 hPa a configuração de cristas (anomalia positivas) indica advecção quente (especialmente quando associadas à presença de anomalia negativa de PNMM, como mostrado na Figura 14), portanto, indicando o aumento de temperatura. Além disso, esta configuração de alta anômala positiva sobre o Atlântico tende a deslocar os sistemas transientes (como frente frias e ciclones associados a elas) para sudeste da AS, como indicam as anomalias negativas ao sul do continente, devido a intensificação do vento norte resultado do escoamento anômalo de norte.

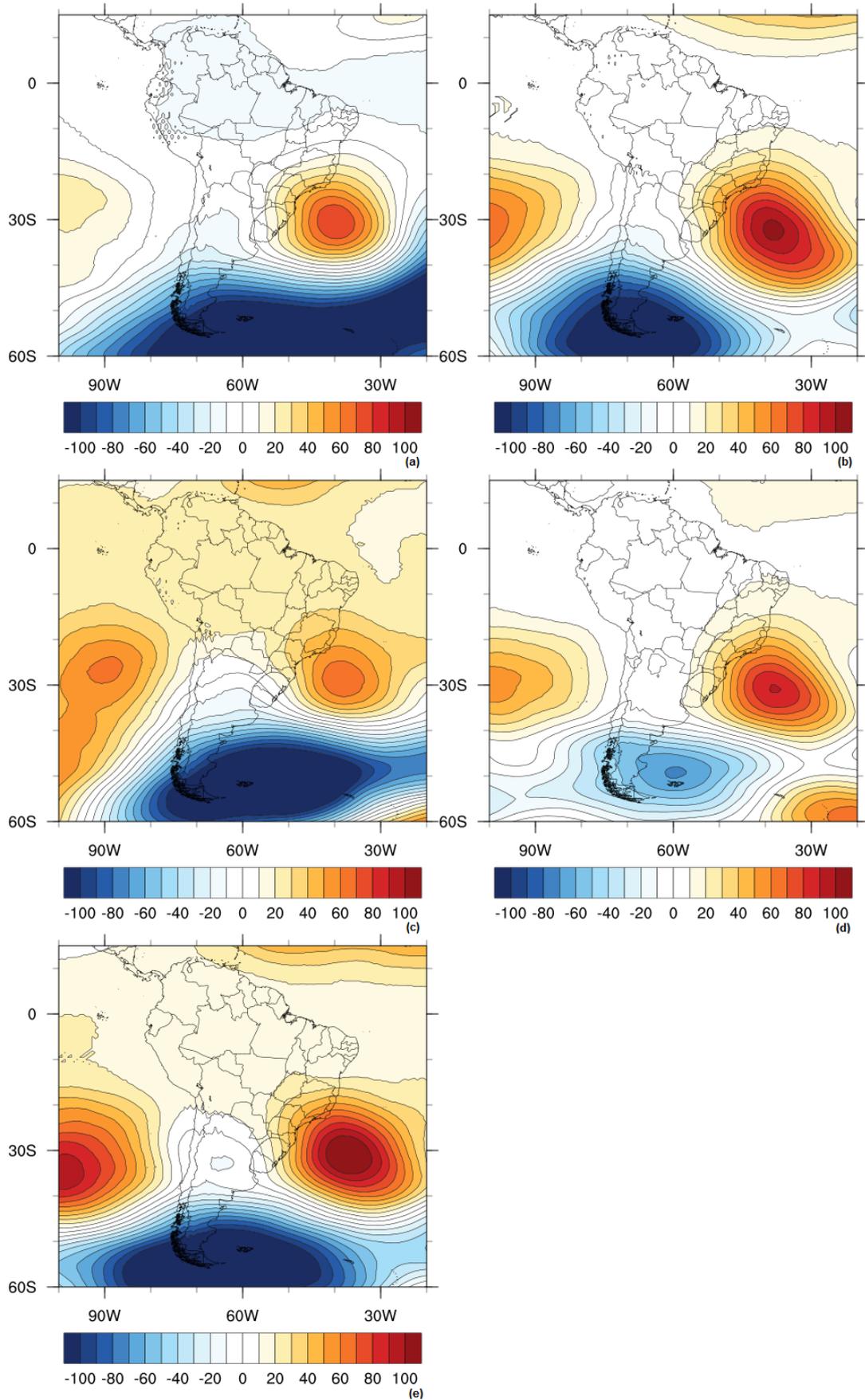


Figura 15. Anomalia de altura de geopotencial (mgp) em 500 hPa para o trimestre JFM: (a)1984; (b) 2001; (c) 2003; (d) 2006; (e) 2010.

Na baixa troposfera, através das anomalias de linhas de corrente para o nível de 850 hPa, pode se observar para o primeiro trimestre dos anos de 1984, 2001, 2003 e 2006 (Figuras 16a, 16b, 16c e 16d) a presença de uma circulação anticiclônica centrada sobre o PR (em 1984) e Goiás (GO) (2001, 2003 e 2006). Em 2010 tal circulação configurou-se no norte da Argentina. Neste ano, a anomalia de circulação anticiclônica agiu como inibidor da entrada de ar frio vindo do sul da AS, haja vista que a componente norte do vento está mais intensa e deslocando-se até o sul do Brasil, assim como em 2001 (Figura 16b), indicando maior advecção de ar quente de origem Amazônica em direção ao sul e sudeste, ocasionando no aumento da temperatura. Em 1984, percebe-se um escoamento de sudeste/noroeste, ou seja, sentido contrário ao corredor de umidade característico da estação, assim, estabelecendo um padrão de tempo mais seco (como verificado na Figura 25a) sobre o sudeste do Brasil, resultado da menor advecção de umidade da Amazônia. Contudo, nota-se escoamento de noroeste sobre o RS, originado na Planície do Chaco, fortalecendo as temperaturas maiores no estado. Percebe-se que nos anos de 2003 (Figura 16c) e 2006 (Figura 16d), além das circulações anticiclônicas sobre o continente, aqui já descritas, nota-se uma configuração organizada de escoamento noroeste/sudeste, o que pode ocasionar em maior incidência de episódios de Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) quando obedecido os critérios de Sacramento Neto et al. (2010) ou a persistência superior a quatro dias para que se configure episódios de Zona de Convergência do Atlântico (ZCAS) como descrito por Kodama (1992), Jones e Carvalho (2002), Chaves e Nobre (2004), Escobar e Carvalho da Costa (2005). Já em 2010 (Figura 16e), este escoamento se encontra mais meridional, o que pode indicar maior configuração de JBN's a leste dos Andes quando obedecidos os critérios de Bonner (1968), logo advectando maior quantidade de vapor d'água da região Amazônica passando pelo centro-oeste e sul do Brasil configurando anomalia positivas de umidade e temperatura.

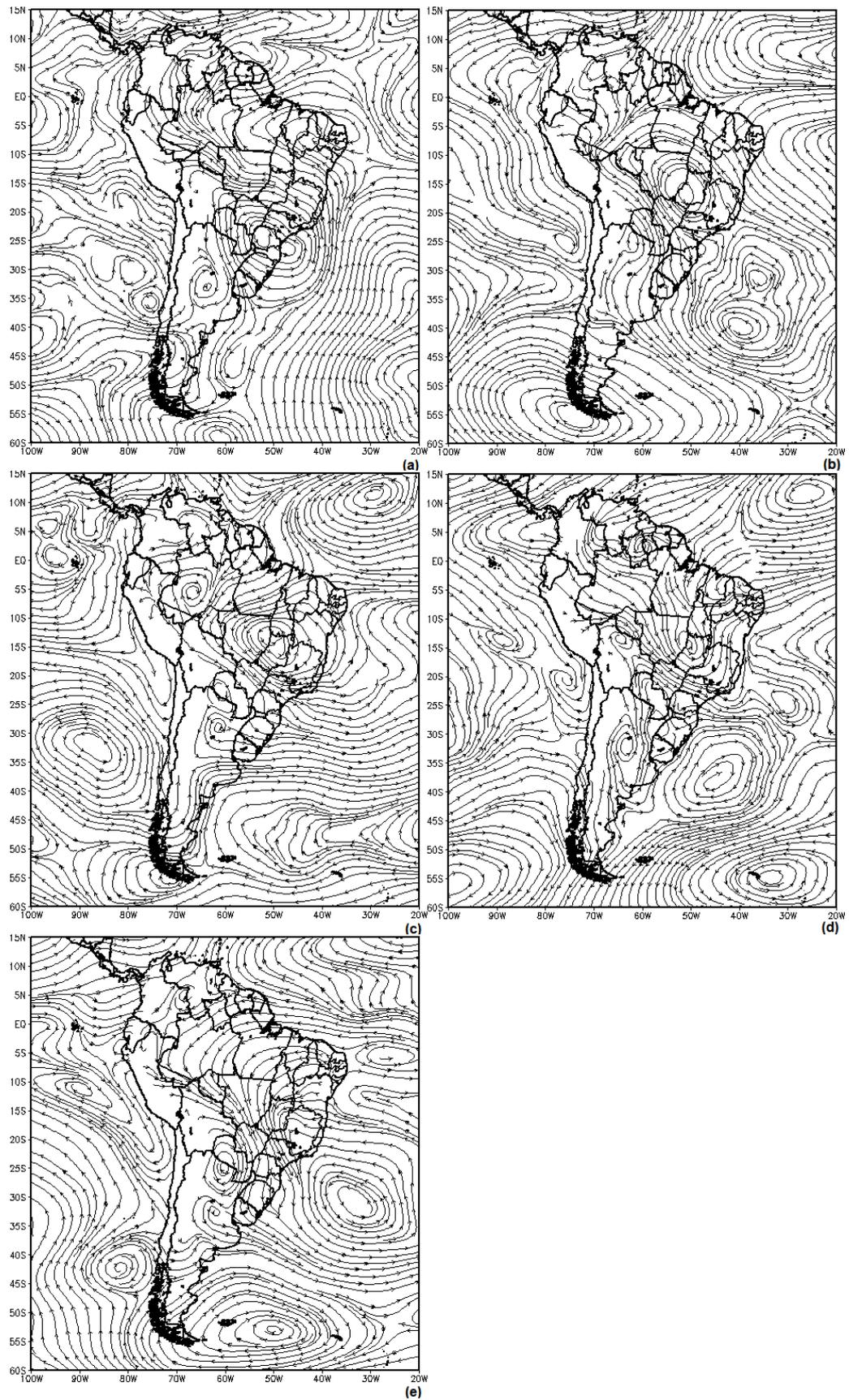


Figura 16. Anomalias de linha de corrente em 850 hPa para o trimestre JFM: (a)1984; (b) 2001; (c) 2003; (d) 2006; (e) 2010.

Na alta troposfera, através das anomalias de linha de corrente no nível de 250 hPa da figura 17, foi possível detectar durante o trimestre JFM dos anos de 1984 (Figura 17a), 2001 (Figura 17b), 2003 (Figura 17c) e 2010 (Figura 17e), a presença de anomalia de circulação anticiclônica centrada sobre ou a leste do RS. Tais anomalias de circulação resultaram em um escoamento anômalo zonal de leste durante estes anos reforçando a configuração do tipo anticiclônico de bloqueio. Além disso, tal circulação anticiclônica anômala pode estar associada a um maior inchamento da camada, devido ao aumento da temperatura no interior da mesma. Já em 2006 (Figura 17d), nesta região observa-se anomalia ciclônica, provavelmente associada a tempo estável. Para o ano de 2010 (Figura 17e) foi observado anomalia de circulação ciclônica sobre o nordeste brasileiro e anticiclônica ao sul deste, indicando bloqueio do tipo dipolo e com escoamento zonal de oeste ao sul do anticiclone e um pequeno cavado a leste dos Andes. Em nenhum caso observou-se anomalia no escoamento padrão de oeste, ou seja, intensificação do jato – inclusive, em 1984 (Figura 17a) e 2001 (Figura 17b) observa-se anomalia no sentido contrário, indicando diminuição nas instabilidades baroclínicas sobre a região de estudo.

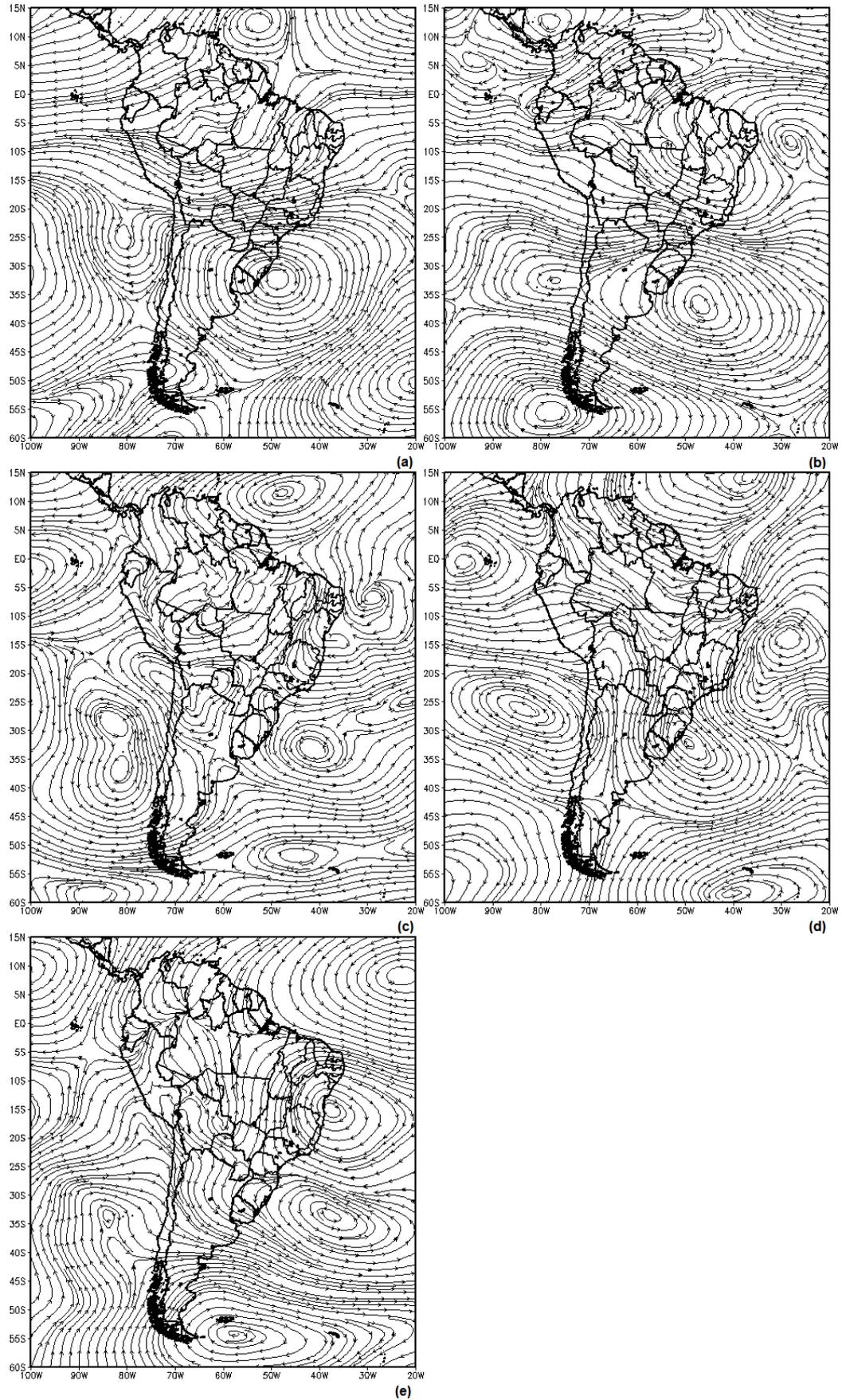


Figura 17. Anomalias de linha de corrente em 250 hPa para o trimestre JFM: (a)1984; (b) 2001; (c) 2003; (d) 2006; (e) 2010.

A figura 18 mostra o comportamento anômalo de umidade específica no nível de 850 hPa nas regiões sul e sudeste para os cinco verões anormalmente quentes. Percebe-se que nos anos de 1984, 2001 e 2006 (Figuras 18a, 18b e 18d) sobre o sudeste brasileiro apresentam anomalias negativas de umidade específica. Em 1984 (Figura 18a), tal comportamento anômalo negativo é resultado do enfraquecimento do escoamento norte do vento, o que ocasionou em maior escoamento no sentido sudeste/noroeste, acarretando em uma menor advecção de umidade da Amazônia. Já em 2001 e 2006, observou-se um padrão anômalo de circulação anticiclônica sobre o norte do sudeste provocando inibição do processo de levantamento do ar, diminuindo a umidade neste nível. Nos anos de 2003 e 2010, a camada atmosférica no nível de 850 hPa sobre o sudeste foi caracterizado por padrão de anomalia positiva em 2003 e uma leve tendência a neutralidade em 2010, esta situação, deve a intensificação do vento norte a leste dos Andes advectando umidade para o sudeste. Percebe-se ainda que em todos os cinco períodos analisados, os Estados do sul do Brasil apresentam comportamento de levemente neutro a úmido – parte devido ao escoamento da Amazônia (1984, 2001 e 2010), parte devido ao escoamento do oceano (2003 e 2006), logo percebe-se que em regiões com anomalias positivas (negativas) estão associadas às regiões mais secas (úmidas).

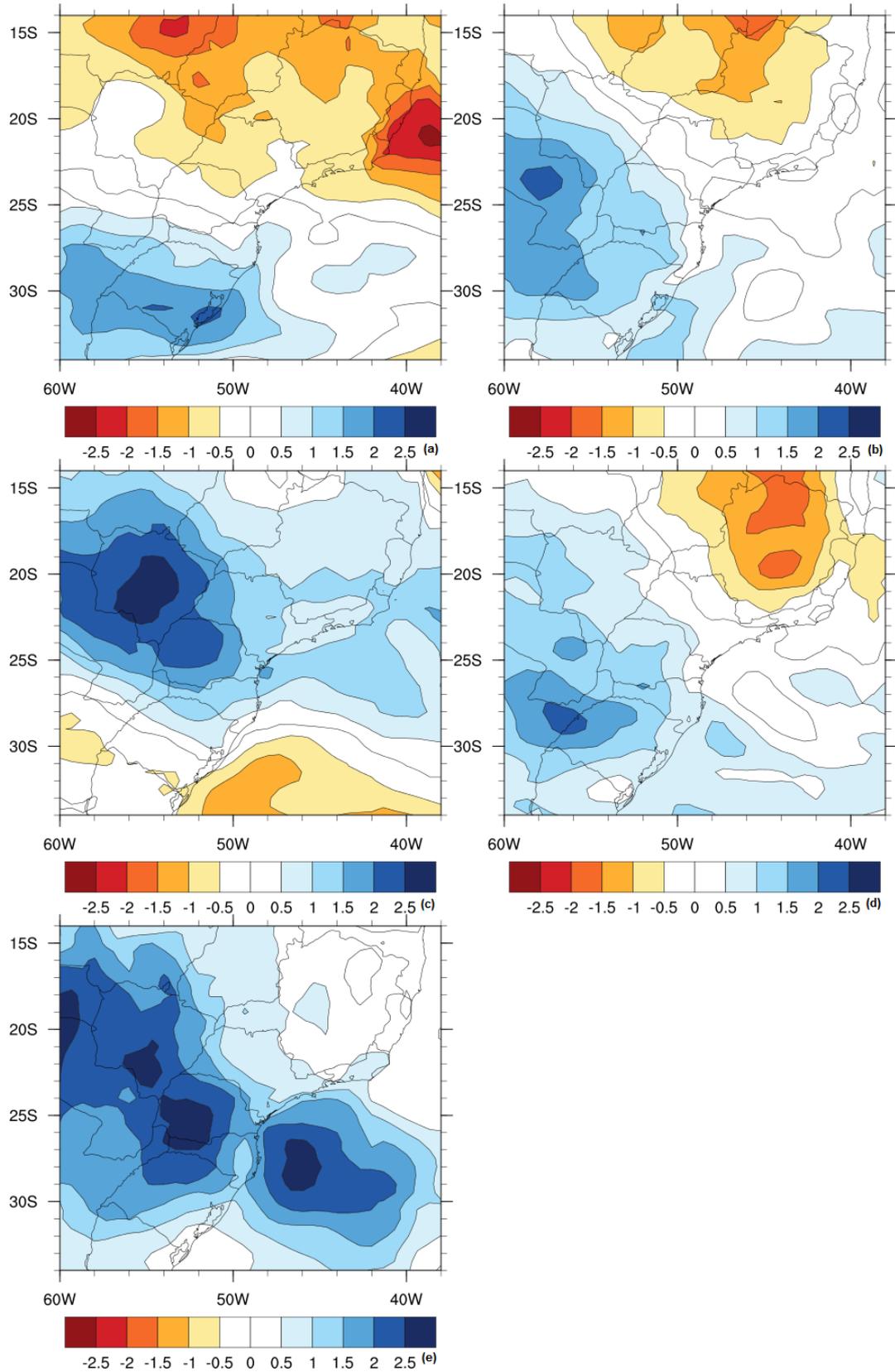


Figura 18. Anomalias de umidade específica (g/Kg) média no nível de 850 hPa para o trimestre JFM: (a)1984; (b) 2001; (c) 2003; (d) 2006; (e) 2010.

5 Análise das Oscilações Climáticas

5.1 El Niño Oscilação Sul (ENOS)

5.1.1 Índice ONI e MEI

De acordo com a tabela 1, que contém os dados do CPC e CDC disponíveis no site da NOAA para os trimestres JFM dos verões anormalmente quentes, percebe-se que em 1984, 2006 e 2014, os valores apresentados pelo ONI não caracterizaram a ocorrência do fenômeno ENOS. Salienta-se que tais anomalias ultrapassaram o limiar descrito anteriormente, mas não caracterizaram o fenômeno pois não houve a persistência de anomalias durante o período mínimo determinado. Porém, percebe-se uma tendência a águas “frias” no oceano Pacífico quando observado o índice MEI. Para o ano de 2001, pode-se observar valores de ONI e MEI semelhantes para trimestre que foi caracterizado pela fase fria do ENOS, logo, reforçando características de tendência a águas “frias”. Contudo, dos seis verões analisados, nos anos de 2003 e 2010 foram observados a fase quente do fenômeno ENOS, com isso não houve padrão de ENOS comum em verões anormalmente quente.

Tabela 1. Índices ONI e MEI

JMF		
Ano	ONI	MEI
1984	-0,3	-0,533
2001	-0,6	-0,669
2003	+0,6	+0,937
2006	-0,6	-0,411
2010	+1,1	+1,521
2014	-0,6	-0,241

5.1.2 Índice de Oscilação Antártica (AAO)

A oscilação antártica é um tipo de oscilação no cinturão de pressão no nível de 700 hPa que cruza o Chile e a Argentina em oposição ao Mar de Weddell e ao

Mar de Bellingshausen (KIDSON, 1988; LIMPASUVAN; HARTMANN, 2000; THOMPSON; WALLACE, 2000). De acordo com os dados do CPC observados na Tabela 2 que durante todos os seis verões analisados, quatro deles foi observado que a AAO esteve na fase negativa, que segundo o estudo de Mendes e Cavalcanti (2011), está relacionado com maior duração de bloqueios no sudeste do Pacífico, o que provocaria uma bifurcação do jato subtropical permitindo o aumento da temperatura do ar na região de estudo.

Tabela 2. Índice de AAO

JMF	
Ano	AAO
1984	-0,46367
2001	-0,43033
2003	-0,511
2006	+0,209667
2010	-0,47467
2014	+ 0,035333

6 Conclusão

Os resultados mostraram que, para ambos trimestres (DJF e JFM) a temperatura do ar foi positivamente anômala principalmente nas áreas litorâneas das regiões sul e sudeste e com maior heterogeneidade no sul do Brasil. As maiores anomalias positivas de temperatura foram observadas no litoral do RS e sobre o Estado do RJ. No entanto, foram observadas para o trimestre DJF anomalias negativas de temperatura sobre o oeste dos Estados do sul do Brasil – tais anomalias não foram observadas no trimestre JFM. Porém, quando observado as anomalias de temperatura mínima e máxima para o trimestre DJF, não se observou anomalias positivas de temperatura mínima, e pouca anomalia positiva de temperatura máxima. No trimestre JFM, as anomalias positivas de temperatura mínima foram observadas, na região sul e leste do sudeste brasileiro, respectivamente, enquanto, as anomalias positivas de temperaturas máximas foram observados no litoral das regiões de estudo. Tais características fizeram que se fizesse a análise sinótica somente o trimestre JFM.

Em 850 hPa, observou-se na região sudeste, tempo seco e úmido no sul resultado do escoamento anômalo de norte a leste dos Andes advectando ar quente e úmido de origem Amazônica para o sul do Brasil ao mesmo tempo o vento norte da região nordeste brasileira advectando ar quente e seco para o sudeste do Brasil. Porém, observou-se condições de tempo úmido para as 9:00 UTC e 18:00 UTC para ambas regiões.

No campo de anomalia de PNMM, foi observado no sudeste da AS uma anomalia negativa pressão ao nível médio do mar, deslocada da região ciclogênica mais para sudeste de sua região climatológica indicando que as frentes frias e os ciclones associados à elas não conseguiram se propagar até as regiões sul e sudeste do Brasil onde foi observado a presença da anomalia positiva de pressão.

As anomalias positivas de geopotencial observado em 500 hPa, indicaram a intensificação dos anticiclones semipermanentes dos oceanos adjacentes a AS configurando um padrão de bloqueio. Além disso, as anomalias no escoamento observado em 250 reforçaram o padrão de bloqueio, o qual foi possível observar o a configuração de circulação ciclônico ao norte de uma circulação anticiclônica (tipo de dipolo), contudo, durante o trimestre JFM, foi possível observar ao longo dos dias (Figuras no apêndice A) configurações atmosféricas distintas que ocasionaram padrão de bloqueio.

A partir do resultado obtidos dos verões anormalmente quentes, percebe-se que em superfície quase sempre houve o padrão de anomalia positiva de PNMM sobre o Brasil e normalmente o deslocamento para oeste da ASAS, todavia, no escoamento em 850 hPa percebe-se a configuração anticiclônica sempre variando de posição ocasionando normalmente tempo seco no sudeste e quase sempre neutro e úmido no sul. Já em 250 hPa, percebe-se a enfraquecimento do jato subtropical, o que indica enfraquecimento ou menor frequência das instabilidades baroclínicas na região de estudo, ocasionando escoamento anômalo de leste e o surgimento de circulação anticiclônica ao sul e sudeste do Brasil sendo tal características similares ao verão de 2014. Na altura geopotencial em 500 hPa, foi possível observar que há um padrão de escoamento quase zonal em todos os 6 verões (Apêndice E).

Os índices climáticos indicam que os verões mais quentes na região podem ocorrer em diferentes fases do fenômeno ENOS ou mesmo em ausência dos mesmos. Já a oscilação antártica apresentou-se na fase negativa em quatro dos seis episódios de verões anormalmente quente, indicando que não há um padrão comum de influência da oscilação antártica em todos os verões, no entanto, foi verificado, que quando a AAO estava na fase positiva, os índices ONI e MEI indicavam o resfriamento anômalo das águas do Pacífico equatorial, no entanto não havia episódio de La Niña (apenas no trimestre JFM de 2001). Porém, houve a presença de bloqueios no Pacífico sul, contudo, as anomalias do modo anular do sul, indicavam fraca intensidade.

Referências

ACEITUNO, P.; On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector, 1, Surface climate, **Monthly Weather Review**, v. 116, n. 3, p. 505-424, 1988.

ALESSANDRO, A. P.; Anomalías de circulación atmosférica en 500 y 1000 hpa asociada a la sequía producida en la argentina durante enero de 2003 a marzo de 2004. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n. 1, p. 12-29, 2008.

ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A. As chuvas na Bacia Amazônica e a temperatura dos oceanos adjacentes. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, CONGRESSO LATINO-AMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA. Belo Horizonte, 8.1994, Belo Horizonte-MG. **Anais do...** Belo Horizonte: SBMET, 1994. v. 2,p. 114-11.

AMBRIZZI, T.; MARQUES, R.; NASCIMENTO, E. Bloqueios Atmosféricos. In: Iracema F. A. Cavalcanti. Oficinas de textos. São Paulo: Oficina de Textos, p279 - 296. 2009.

ANDRADE, K. M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. 2005, 185 p. dissertação (mestrado em meteorologia) – Instituto Nacional de Meteorologia, INPE, São José dos Campos.

ANKOMAH, O. Y., CORDERY, I.; Atlantic sea surface temperatures and rainfall variability in Ghana. .I **Atmospheric Sciency**, v. 7, p. 551-558, 1994.

AVILA, V. D.; NUNES, A. B.; ALVES, R. C. M.; RODRIGUES, B. D. 2015. Analysis of a bombogenesis in South Atlantic summer using Ertel potential vorticity. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA, 6, 2015, Natal-RN, Natal-RN. **Anais do....** Natal: SBMET, 2015.

BARBIERI, P. R. B. **Caracterização da estação chuvosa nas regiões Sul e Sudeste do Brasil associado com a circulação atmosférica.** 2007, 116 p. Dissertação (Mestrado em meteorologia) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, São Paulo.

BARROS, V. R.; GRIMM, A. M.; DOYLE, M. E. Relationship between temperature and circulation in Southeastern South and its influence from El niño and La Niña events. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 80, n. 1, p. 33-44, 2002.

BARROS, V. R.; SCASSO, L. M.; Surface pressure and temperature anomalies in Argentina in connection with the Southern Oscillation. **Atmósfera**, v. 7, n. 3, p. 159-171, 1994.

BONNER, W.D. Climatology of the low level jet. **Monthly Weather Review**, v. 96, n. 12, p. 833-850, 1968.

CAMPOS, C.R.J.; EICHHOLZ, C.W. Características físicas dos sistemas convectivos de mesoescala que afetaram o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 29, n. 2, p. 331-345, 2011.

CARLSON, T.N. **Mid-latitude weather systems.** London: Harper Collins Academic, 1991, v. 1, 314p. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=f51QCiiAWYQC&pg=PA312&lpg=PA312&dq=midlatitude+weather+systems+carlson+1991&source=bl&ots=KTPvYYhRXr&sig=743yhNnkOahmLRUTiThTezOYCP0&hl=ptPT&sa=X&ei=rhJtVJCXCMOegwTKn4OYDw&ved=0CF8Q6AEwCQ#v=onepage&q=mid-latitude%20weather%20systems%20carlson%201991&f=true>> Acesso em: 19 nov.2014.

CAVALCANTI, I. F. A. Casos de intensa precipitação nas regiões Sul e Sudeste do Brasil no período de inverno de 1979 a 1983. São José dos Campos: INPE, p. 47, 1985.

CAVALCANTI, I. F. A.; V. KOUSKY, V. E.; Drought in Brazil During Summer and Fall 2001 and Associated Atmospheric Circulation Feature. **Climanálise**, São Paulo, v. 2, n.1, p. 1-10, 2004.

CHAVES, R. R.; NOBRE, P. Interactions between sea surface temperature over the South Atlantic Ocean and the South Atlantic Convergence Zone. **Geophysic Research Letters**. v. 31, n. 3, 2004.

COELHO, C.A.S; OLIVEIRA, C. P.; AMBRIZZI, T; REBOITA, M.S.; CARPENEDO, C.B.; CAMPOS, J.L.P.S; TOMAZIELLO, A. C. N.; PAMPUCH, L. A.; CUSTODIO, M.S.; DUTRA, L. M.; ROCHA, R. P. DA.; REHBEIN, A. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. **Climate Dynamics**, v. 46: doi: 10.1007/s00382-015-2800-1, 2015.

COLQUHOUN, J.R.; SHEPHERD, D.J.; COULMAN, C.E.; SMITH, R.K.; MCINNES, K. The southerly buster of south eastern Australia: an orographically forced cold front. **Monthly Weather Review**, v. 113, n. 12, p. 2090-2107, 1985.

CONDE, F. C.; SILVA DIAS, M. F. Vórtices ciclônicos de ar superior: um estudo de caso através de balanço de Vorticidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DEMETEOROLOGIA, 8. 2000, Rio de Janeiro-RJ. **Anais do....** Rio de Janeiro: SBMET, 2000. v. 3, p. 1876-1883.

CPTEC/INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em:<
[http://www1.cptec.inpe.br/buscasite.shtml#sintese sinotica 2014](http://www1.cptec.inpe.br/buscasite.shtml#sintese_sinotica_2014)>. Acesso em 10 jan. 2016.

COSSETIN, F.; NUNES, A.B. & TEIXEIRA, M. Análise do movimento vertical sob

duas configurações de altos níveis da troposfera. **Ciência e Natura**. (*in press*). 2016

DIAZ, A. F., STUDZINSKI, C. D., MECHOSO C. R. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brasil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Ocean. **Journal of Climate**, v. 11, n. 2, p. 251-271, 1998.

DUTRA, L. M. M. **Ciclones subtropicais sobre o Atlântico sul: análise da estrutura dinâmica de eventos**. 2012, 144 p. Dissertação (mestrado em meteorologia) - IAGUSP, São Paulo.

ESCOBAR, G., C., J. e Carvalho da Costa, I. Situações meteorológicas associadas a episódios da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). In: IX Congresso Argentino de Meteorología. 2005, Buenos Aires. **Anais do....** Buenos Aires.

FERREIRA, N. J.; SANCHES, M.; SILVA DIAS, M. A. F. Composição da Zona de Convergência do Atlântico Sul em Períodos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.1, p. 89-98, 2004.

FIRPO, M. Â. F. **Ondas de frio e de calor para o Rio Grande do Sul e sua relação com El Niño e La Niña**. 2008. 118f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

FONTANA, D. C., GRIMM, M. A.: Influencia do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação Pluvial no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 127-132, 1997.

FUNDAÇÃO BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – FBDS.
Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil.

Disponívelem:<<http://www.fbds.org.br/IMG/pdf/doc-17.pdf>> acesso em: 15 out. 2014.

GAN, M. A. **Um estudo observacional sobre as baixas frias de alta troposfera, nas Latitudes subtropicais do Atlântico Sul e leste do Brasil**. 1982, 65 p.

Dissertação (Mestrado em meteorologia) - Instituto Nacional de Meteorologia, INPE, São José dos Campos.

GAN, M. A., RAO, V. B.; Surface cyclogenesis over South American. **Monthly Weather Review**, v.119, n.5, p. 1293-1302, May. 1991

GRIMM, A. M., SILVA DIAS, P. L.: Sea surface temperatures in the Pacific and rainfall over part of Southern Brasil. Part 1: Correlations. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 1996. v. 68, p 3-9.

HAKIM, G. J. **Cyclogenesis. Encyclopedia of Atmospheric Science**. San Diego: Edited by James R. Holton, Judith A. Curry and John A. Pyre: Academic Press, 1988, v.6, p. 589-594.

HASTENRATH, S., HELLER, L. **Dynamcs of climatic hazards in northeast Brazil**. Journal of the Royal Meteorological Society, 1977. v.103, p. 77-92.

IBGE. 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<http://censo2010.ibge.gov.br/> (acessado em 20 de janeiro de 2015).

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <
<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso: 10 jul. 2015.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <
<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/imprensaBoletim>>. Acesso: 8 jul. 2015.

IPCC. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the FourthAssessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: HOUGHTON, J.T. (Ed.). **Climate Change**. New York: Cambridge University Press, 2007.

GAN, M.A.; RAO, V. B. Surface Cyclogenesis over South America. **Monthly Weather Review**, v. 119, p. 1293-1302. 1991.

HODGES KI, L. R.W. & BENGTSSON, L. A comparison of extratropical cyclones in recent reanalyses ERA-Interim, NASA MERRA, NCEP CFSR, and JRA-25. **Journal of Climate**. v. 24, p. 4888-4906. 2011.

JONES, C.; CARVALHO, L. M. V. Active and break phases in the South American monsoon system. **Journal of Climate**, v. 15, p. 905-914, 2002.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; ZHU, Y.; CHELLIAN, M.; EBISUZAKI, W.; HIGGINS, W.; JANOWIAK, J.; MO, K. C.; ROPELEWSKI, C.; WANG, J.; LEETMAA, A.; REYNOLDS, R.; JENNE, R.; JOSEPH, D.; The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v. 77, n. 3, p. 437-471. 1995.

KENNEDY, A.D.; DONG, X.; XI, B.; XIE, S.; ZHANG, Y.; CHEN, J. A comparison of MERRA and NARR reanalyses with the DOE ARM SGP data. **Journal of Climate**. v. 24, p. 4541-4557. 2011.

KIDSON, J. W.: Interannual Variations in the Southern Hemisphere Circulation. **Journal of Climate**, v. 1, p. 1177–1198, 1988.

KODAMA, Y. Large-Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: Characteristics of Subtropical Frontal Zones. *Journal Meteorological Society*. v. 70, p. 813-836, 1992.

KOUSKY, V. E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.107, n. 9, p. 1140-1153, Sept. 1979.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A.: Upper tropospheric cyclonic vortices in the Tropical South Atlantic, **Tellus**, v. 33, p. 538-551. 1981.

LEMOS, C. F. 2000. Reanálise das linhas de corrente nos níveis de 1000 hPa, 850 hPa, 500 hPa e 150 hPa sobre a América do Sul no período entre 1979 a 1995 e a análise dinâmica sobre a região do vale do Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO

DE METEOROLOGIA, 11. 2000, Rio de Janeiro. **Anais do...** Rio de Janeiro: SBMET, 2000. p. 672-679.

LEMOS, C. F.; CALBETE, N. O. Sistemas frontais que atuaram no litoral de 1987-1995. **Climanálise**, Edição comemorativa 10 anos, 1996. (INPE-10717-PRE/6178). Disponível em: <<http://tucupi.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/14.html>>. Acesso em: 20 Nov. 2014.

LIMPASUVAN, V., HARTMANN, D. L.; Wave-Maintained Annular Modes of Climate Variability. **Journal of Climate**, v. 13, p. 4414–4429, 2000.

LLOPART, M.; Sistemas meteorológicos atuantes na América do Sul. Disponível em <<http://www.dca.iag.usp.br/www/material/cfmraupp/Climatologia-1/SistemasMetAtuantesNaASul.pdf> >. Acesso em: 20 Nov. 2014.

MARENGO, J. A.; DOUGLAS, M. W.; SILVA DIAS, P.L. The South American low-level jet east of the Andes during 1999 LBA-TRMM and LBA-WET AMC campaign. **Journal of Geophysical Research**. v.107, n. 20, p. 1-11. 2002.

MARENGO, J. A.; SOARES, W. R. Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from the NCEP–NCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability. **Journal of Climate**, v.17, p. 2261-2280. 2004.

MATTOS, L. F. **O papel de formação horizontal na frontogênese na região sul brasileira**. 1987, 118 p. Dissertação (Mestrado em meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos.

MENDES, M. C. D.; CAVALCANTI, I. F. de A. Influência da oscilação antártica sobre os bloqueios atmosféricos e perspectiva para os cenários futuros. **Trabalho online**. Disponível em: <http://mtc-m19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtcm19/2011/11.17.13.31/doc/Dami%e3o;Cavalcanti%20-%20Influencia%20da%20oscila%e7a%f5%20antartica.PDF?languagebutton=pt-BR>>.

Acesso em: 20 nov 2014.

MOURA, A. D., SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a GCM. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 38, p. 2653-2675, 1981.

NAUD, C. M.; BOOTH, J. F.; DEL GENIO, A. D.; Evaluation of ERA-Interim and MERRA cloudiness in the Southern Ocean. **Journal of Climate**. v.27, p. 2109-2124. 2014.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro, IBGE – Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente. v. 4, p. 421, 1979.

NOBRE, P. **On the genesis of anomalous SST and rainfall patterns over the tropical Atlantic Basin**. 1993. 151 p. Tese (Pós-doutorado) - University of Maryland at College Park, Maryland.

NOBRE, P., SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v. 9, n. 10, p. 2464-2479, 1996.

NORTE, F.A., SELUCHI, M.E., GOMES, J.L., SIMONELLI, S.C. Análisis de una ola de calor extrema en La región subtropical de América Del Sur. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 373-386, 2007.

OLIVEIRA, A. S. **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecção na Amazônia**. 1986, 1983 p. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-graduação em Meteorologia - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

ONOGI, K., J.; TSUTSUI, H.; KOIDE, M.; SAKAMOTO, S.; KOBAYASHI, H.; HATSUSHIKA, T.; MATSUMOTO, N.; YAMAZAKI, H.; KAMAHORI, K.; TAKAHASHI, S.; KADOKURA, K.; WADA, K.; KATO, R.; OYAMA, T.; OSE, N.; MANNOJI, R. T.: The JRA-25 Reanalysis. **Journal Meteorologic Society**. Japan, v. 85, p. 369–432.

2007

PALTRIDGE, G.; ARKING, A.; POOK, M.: Trends in middle - and upper-level tropospheric humidity from NCEP reanalysis data. **Theoretical and Applied Climatology**. v. 98, p. 351-359. 2009.

PARKER, D. E.; FOLLAND, C. K. WARD, M. N: Sea surface temperature anomaly patterns and prediction of seasonal rainfall in the Sahel region of Africa. **Nature**, v. 3, p.483-485, 1988.

PETTERSEN, S.: **Weather Analysis and Forecasting: Motion and motion system**. New York, 1956, v. 1, 498 p.

PETER .D.; JAN. K.; KATARZYNA. P.; PREDRAG. P.; TANJA. L. Variability of extreme temperature events in south-central Europe during the 20th century and its relationship with large-scale circulation. **International Journal of Climatology**. v. 23, p. 987–1010. 2003.

PISCIOTTANO, G.; DÍAZ, A. F.; CAZES, G., MECHOSO, R. C.: El Niño-Southern Oscillation impact on rainfall in Uruguay. **Jornal of Climate**, v. 7, n. 8, p. 1286-1302,1994.

PITTOCK, A. B. Patterns of climate variation in Argentina and Chile-II. Temperature. **Monthly Weather Review**, v. 108, n. 9, p. 1362-1369, 1980.

POSSELT, D. J.; JONGEWARD, A. R.; C-Y, H.; POTTER, G. L. Object-based evaluation of MERRA cloud physical properties and radiative fluxes during the 1998 El Niño-La Niña transition. **Journal of Climate**. v.25, p. 7313-7327. 2012

QUADRO, M. F. L.; MACHADO, L. H. R.; CALBETE, S.; BATISTA, N. N. M.; SAMPAIO, G. Climatologia de Precipitação e Temperatura. **Climanálise**, Edição comemorativa 10 anos, 1996. (INPE-10717-PRE/6178). Disponível em:<<http://tucupi.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/chuesp.html>>. Acesso em: 19 nov 2014.

QUADRO, M. F. L.; SILVA DIAS, M. A.; HERDIES, D. L.; GONÇALVES, L. G. G. Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 27, p. 152-162. 2012.

RADINOVIC, D.; CURIÉ, M. Criteria for heat and cold wave duration indexes. **Theoretical and Applied Climatology**. v.107, p. 3–4. 2011.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; DA ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. DA. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terra e Didática**, v.8, p. 34-50. 2012.

REBOITA, M. S.; OLIVEIRA, D. M. de; Freitas, C. H.; OLIVEIRA, G. M. de; PEREIRA, A. A.; Anomalias dos padrões sinóticos da atmosfera na América do Sul nos meses de janeiro de 2014 e 2015. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**. v. 4, p. 1-12. 2015.

REEDER, M. J.; SMITH, R. K.; Topics: Mesoscale meteorology. **Meteorological Monographs**, v. 27, n. 49, p. 201-243, 1998.

RIENECKER, M. M.; SUAREZ, M. J.; GELARO, R.; TODLING, R.; BACMEISTER, J.; LIU, E.; BOSILOVICH, M. G.; SCHUBERT, S. D.; TAKACS, L.; KIM, G.; BLOOM, E.; CHEN, J.; COLLINS, D.; CONATY, A.; SILVA, A. DA; GU, W.; JOINER, J.; KOSTER, R. D.; LUCCHESI, R.; MOLOD, A.; OWENS, T.; PAWSON, S.; PEGION, P.; REDDER, C. R.; REICHLER, R.; ROBERTSON, F.; RUDDICK, A. G.; SIENKIEWICZ, M.; WOOLLEN, J. MERRA: NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. **Journal of Climate**, v. 24, n. 14, p. 3624-3648. 2011.

RIENECKER, M.M.; SUAREZ, M.J.; TODLING, R.; BACMEISTER, J.; TAKACS, L.;

LIU, H.-C.; GU, W.; SIENKIEWICZ, M.; KOSTER, R. D.; GELARO, R.; STAJNER, I.; NIELSEN, J. E.: The GEOS-5 Data Assimilation System — Documentation of versions 5.0.1 and 5.1.0, and 5.2.0. NASA Tech. Rep. Series on Global Modeling and Data Assimilation, v. 27, p. 1-92. 2008.

ROPELEWSKI, C. F., HALPERT, M. S.: Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño-Southern Oscillation, **Monthly Weather Review**, v. 115, p.1606-1626, 1987.

RUTLLANT, J.; FUENZALIDA, H. Synoptic aspects of the central Chile rainfall variability associated with the Southern Oscillation, Int. **Journal of Climatology**, v. 11, p. 63-76, 1991.

RUSTICUCCI, M. M.; VARGAS, W. M. Interannual variability of temperature spells over Argentina. **Atmosfera**, v.14, p. 75-86, 2001.

SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A.; SILVA DIAS, P. L. Topics: South America. **Meteorological Monographs**, v. 27, n. 49, p. 119-139, 1998.

SACRAMENTO NETO, O. B.; ESCOBAR, G. C. J.; da SILVA, P. E. D.: Método objetivo para identificar episódios de Zonas de Convergência de Umidade (ZCOU) no ambiente operacional do Centro de Previsão de Tempo e Estados Climáticos - CPTEC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16. 2010, Belém-PA. **Anais do....** Belém: SBMET, 1994.

SALIO, P.; NICOLINI, M.; SAULO, A. C. Chaco low-level jet events characterization during the austral summer season. **Journal of Geophysical Research**, v. 107: doi:10.1029/2001JD001315. 2002

SATYAMURTY, P.; MATTOS, L. F.; Climatological lower tropospheric frontogenesis in the midlatitudes due to horizontal deformation and divergence. **Monthly Weather Review**, v. 117, n. 6, p. 1355-1364, June 1989.

SELUCHI, M. E.; SERAFINI, Y.V.; LE TREUT, H. The Impact of the Andes on

Transient Atmospheric Systems: a comparison between observations and GCM results. **Monthly Weather Review**, v. 126, n. 4, p. 895-912, Apr. 1998.

SILVA, F. D. dos S.; CORREIA, M. de F.; ARAGÃO, M. R. da S.; SILVA, J. M. da; Convecção linearmente organizada na área de Petrolina, semi-árido do nordeste do Brasil: Aspectos em meso e grande escala. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Brasil, v. 23, n. 3, p. 292-304, 2008.

SILVESTRI, G.; VERA, C. Antarctic Oscillation signal on precipitation anomalies over southeastern South America, **Geophysical Research Letters**, v. 30, n. 21, 2115, 2003.

SMITH, R. K.; RIDLEY, R. N.; PAGE, M. A.; STEINER, J. T.; Sturman, A. P. Southerly Change on the east coast of New Zealand. **Monthly Weather Review**, v.119, n. 5,p.1259-1282, May 1991.

THOMPSON, D. W. J.; WALLACE, J. M.: Annular Modes in the Extratropical Circulation.Part I: Month-to-Month variability. **Journal of Climate**, v. 13, p. 1000-1016. 2000.

TRENBERTH, K. E.: The definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 12, p. 2771-2777, 1997.

UPPALA , S. M.; KALLBERG, P. W.; SIMMONS, A. J.; ANDRAE, U.; BECHTOLD, V. DA COSTA; FIORINO, M.; GIBSON, J. K.; HASELER, J.; HERNANDEZ, A.; KELLY, G. A.; X. ONOGI, LI, K.; SAARINEN, S.; SOKKA, N.; ALLAN, R. P.; ANDERSSON, E.; ARPE, K.; BALMASEDA, M. A.; BELJAARS, A. C. M.; VAN DE BERG, L.; BIDLOT, J.; BORMANN, N.; CAIRES, S.; CHEVALLIER, F.; DETHOF, A.; DRAGOSAVAC, M.; FISHER, M.; FUENTES, M.; HAGEMANN, S.; HOLM, E.; HOSKINS, B. J.; ISAKSEN, L.; JANSSEN, P. A. E. M.; JENNE, R.; MCNALLY, A. P.; MAHFOUF, J.-F.; MORCLETTE, J.-J.; RAYNER, N. A.; SAUNDERS, R. W.; SIMON, P.; STERL, A.; TRENBERTH, K. E.; UNTCH, A.; VASILJEVIC, D.; VITERBO, P.; WOOLLEN, J.: The ERA-40 re-analysis, **Quarterly Royal Meteorological Society**. v. 131, n. 612, p. 2691-3012. 2005.

VASCONCELLOS, F. C.; CAVALCANTI, I. F. A. Extreme precipitation over Southeastern Brazil in the austral summer and relations with the Southern Hemisphere Annular mode, **Atmospheric Science Letters**, v. 11, p. 21-26, 2010.

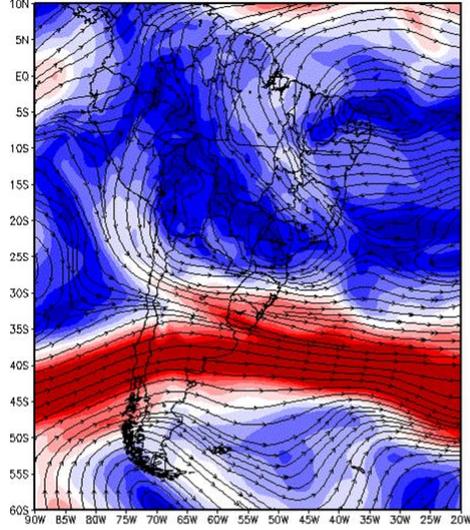
VIANELLO, R. L.; MAIA, L. P. G. Estudo preliminar da climatologia dinâmica do Estado de Minas Gerais. **Revista Informe Agropecuário**. v. 12, n. 138, p. 6-8, 1986.

WALKER, G. T. World weather. **Journal of Royal Meteorological Society**, v. 54, n. 226, p. 9–87, 1928.

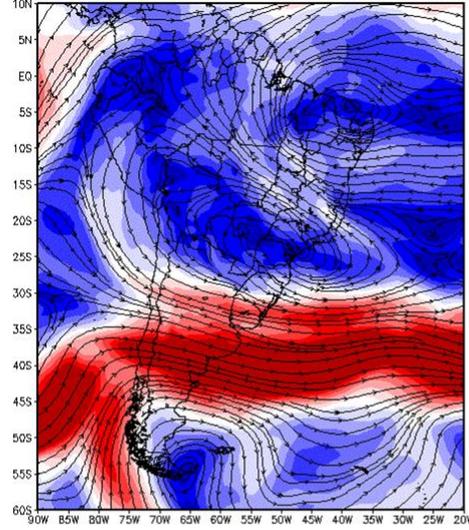
WEI, J.; DIRMEYER, P.A.; WISSER, D.; BOSILOVICH, M.G.; MOCKO, D.M. Where does the irrigation water go? An estimate of the contribution of irrigation to precipitation using MERRA. **Journal of Hydrometeorology**. v.14, p. 275-289. 2013.

APÊNDICES

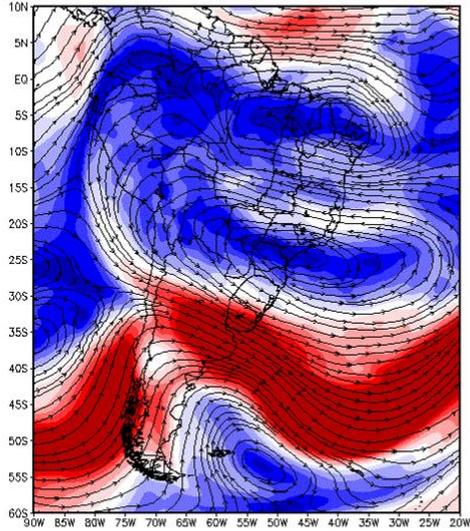
Linha de corrente 250hPa 1/01/2014 00Z



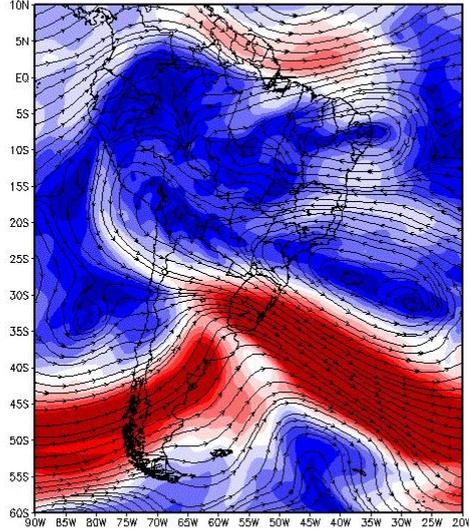
Linha de corrente 250hPa 2/01/2014 00Z



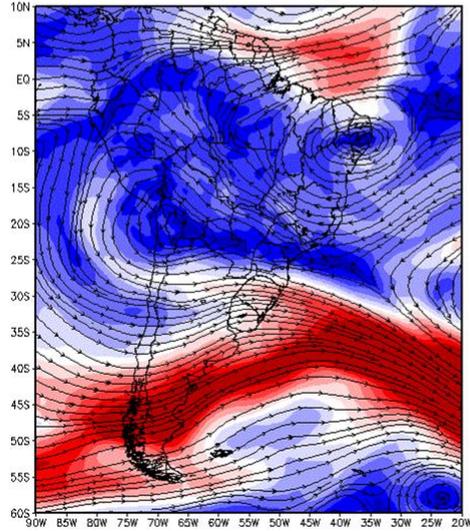
Linha de corrente 250hPa 3/01/2014 00Z



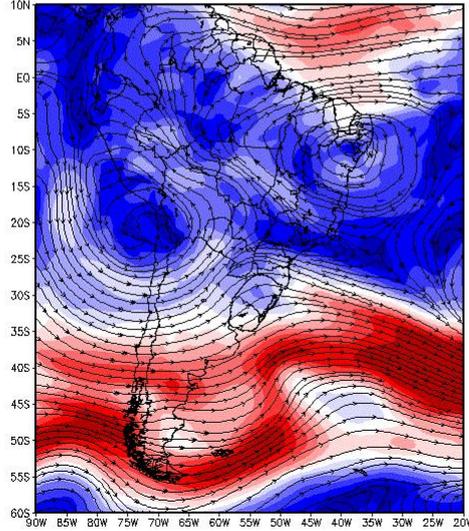
Linha de corrente 250hPa 4/01/2014 00Z



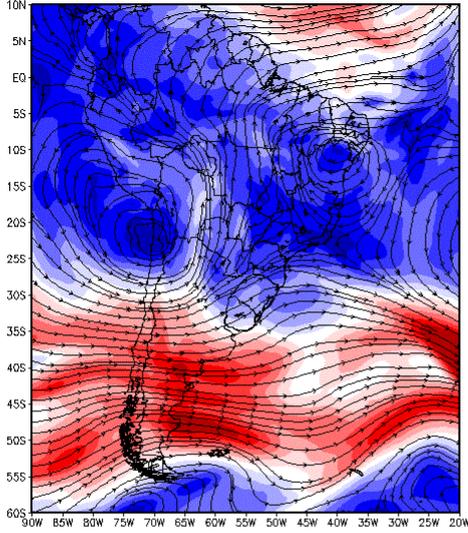
Linha de corrente 250hPa 5/01/2014 00Z



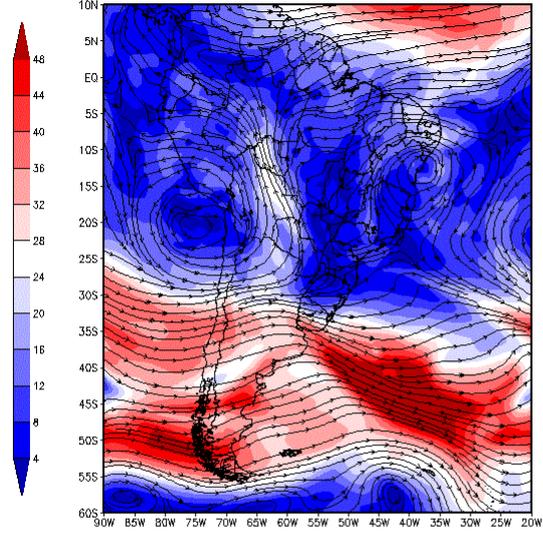
Linha de corrente 250hPa 6/01/2014 00Z



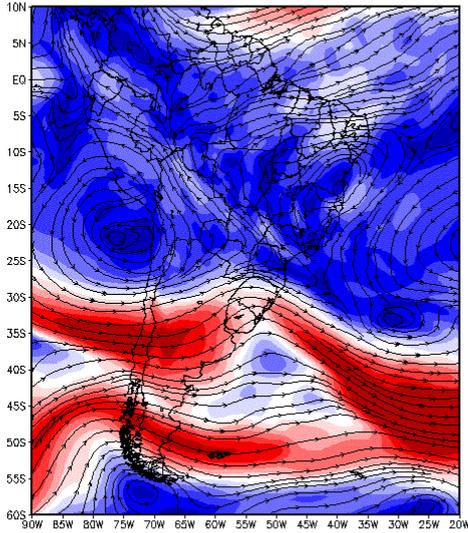
Linha de corrente 250hPa 7/01/2014 00Z



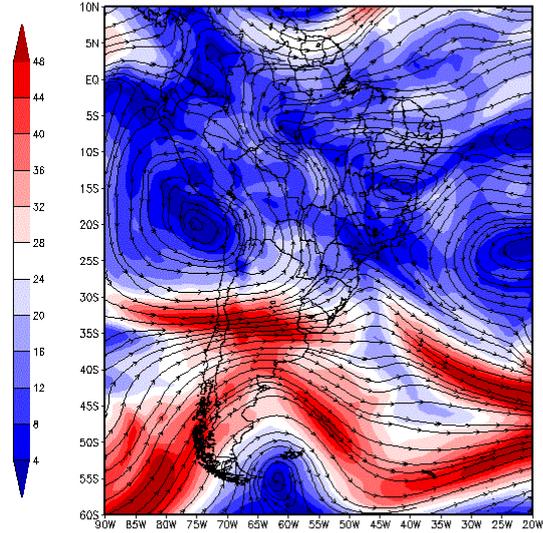
Linha de corrente 250hPa 8/01/2014 00Z



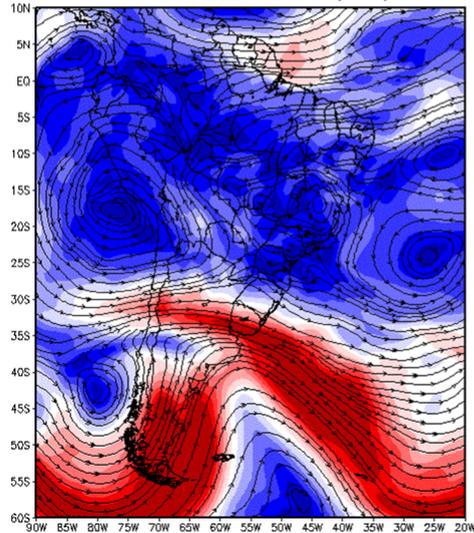
Linha de corrente 250hPa 9/01/2014 00Z



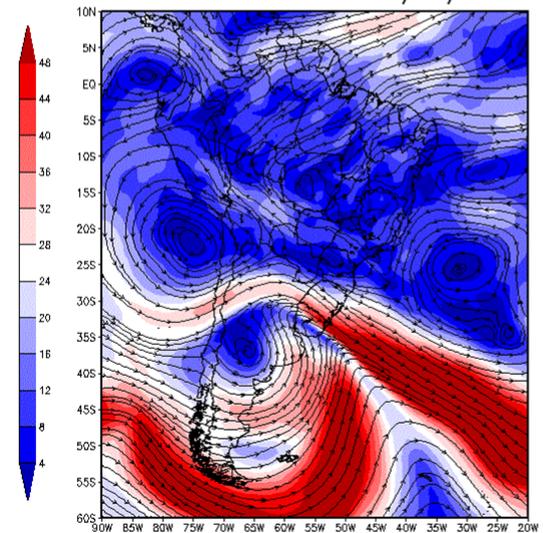
Linha de corrente 250hPa 10/01/2014 00Z



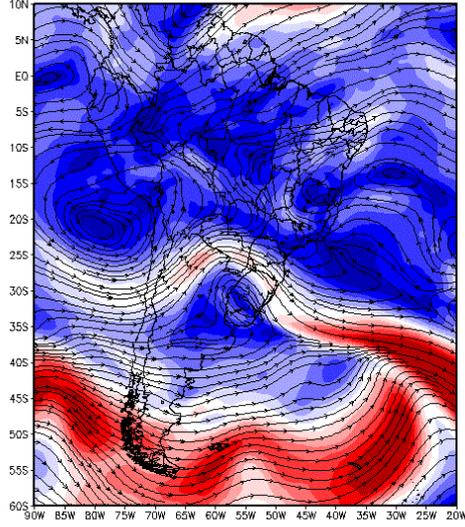
Linha de corrente 250hPa 11/01/2014 00Z



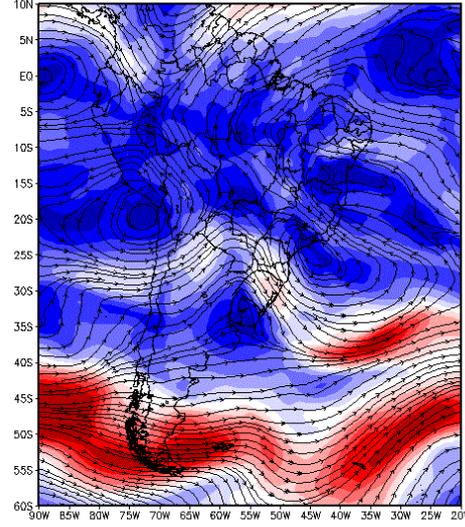
Linha de corrente 250hPa 12/01/2014 00Z



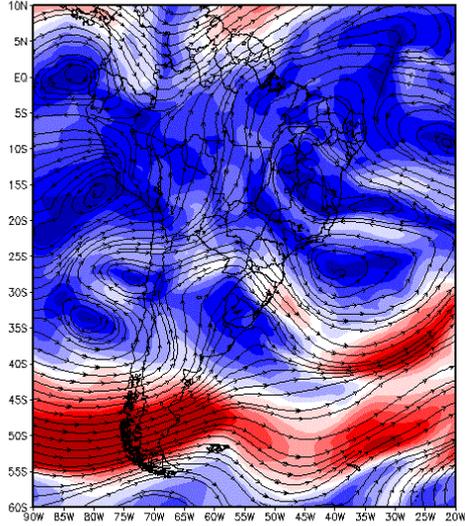
Linha de corrente 250hPa 13/01/2014 00Z



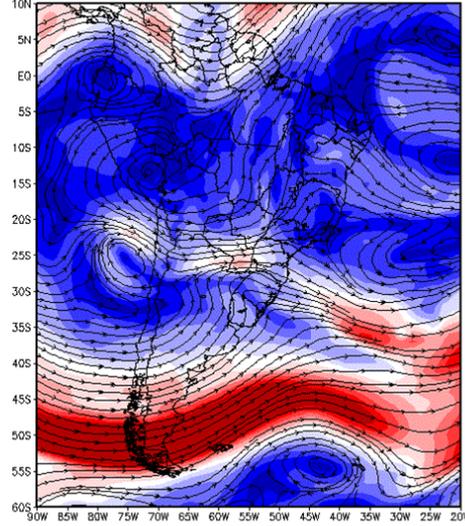
Linha de corrente 250hPa 14/01/2014 00Z



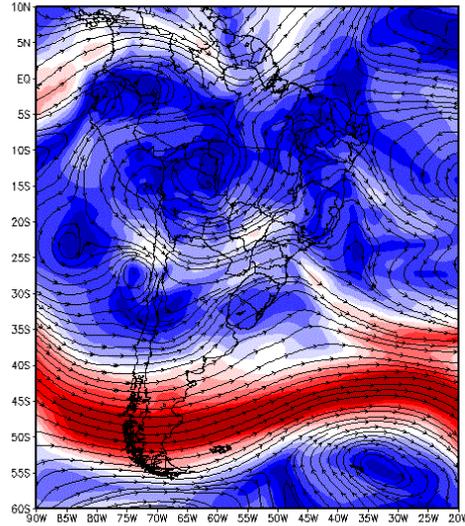
Linha de corrente 250hPa 15/01/2014 00Z



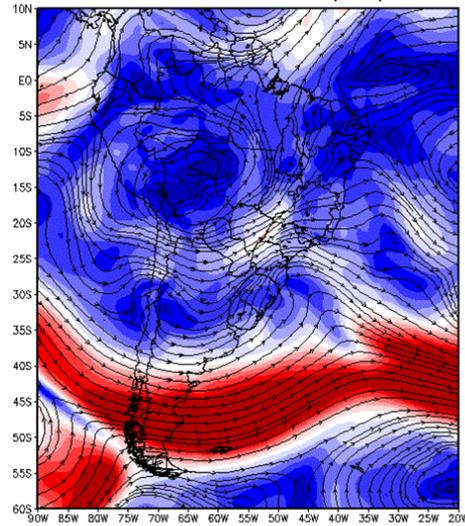
Linha de corrente 250hPa 16/01/2014 00Z



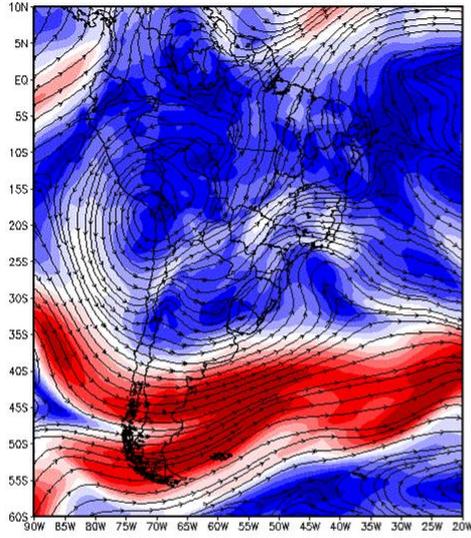
Linha de corrente 250hPa 17/01/2014 00Z



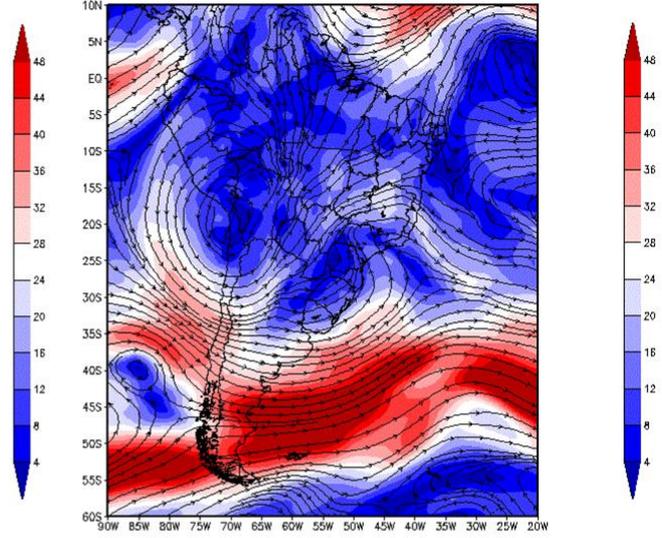
Linha de corrente 250hPa 18/01/2014 00Z



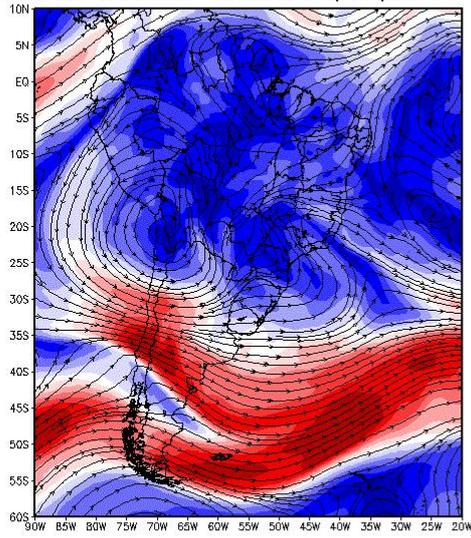
Linha de corrente 250hPa 19/01/2014 00Z



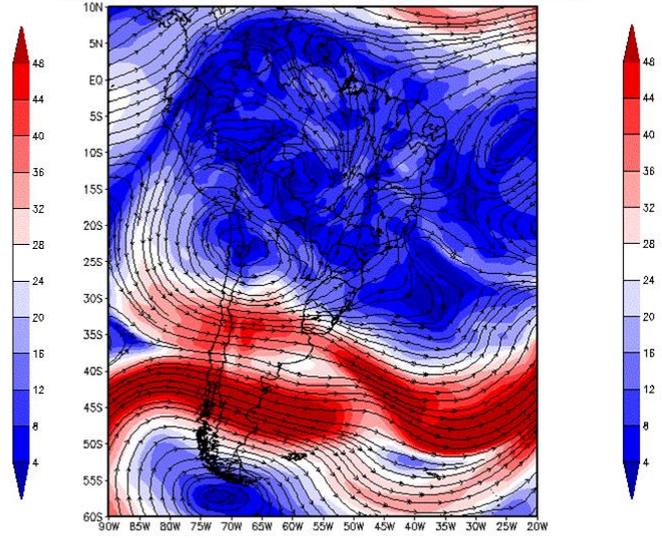
Linha de corrente 250hPa 20/01/2014 00Z



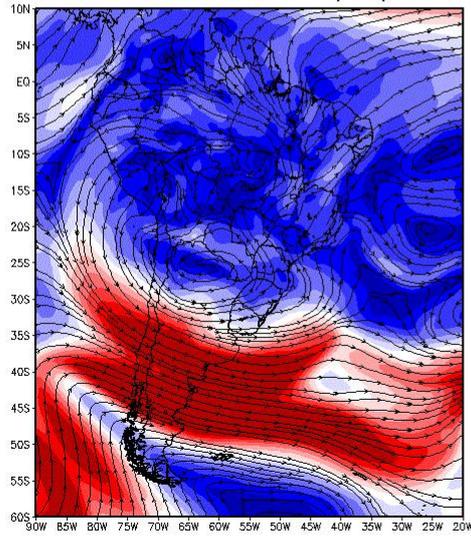
Linha de corrente 250hPa 21/01/2014 00Z



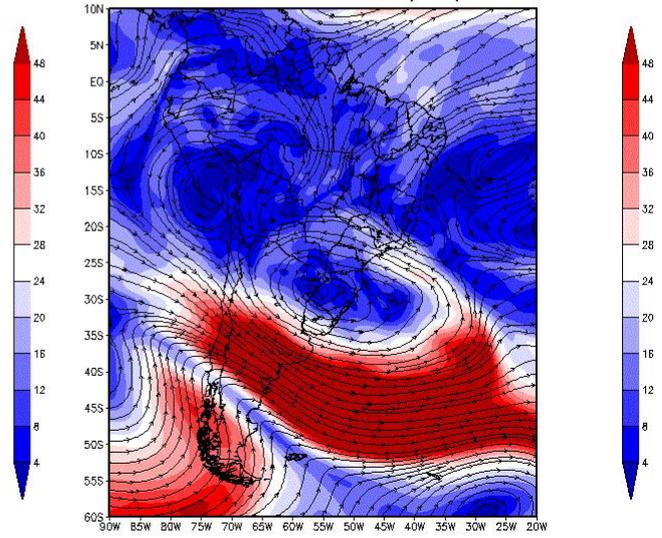
Linha de corrente 250hPa 22/01/2014 00Z



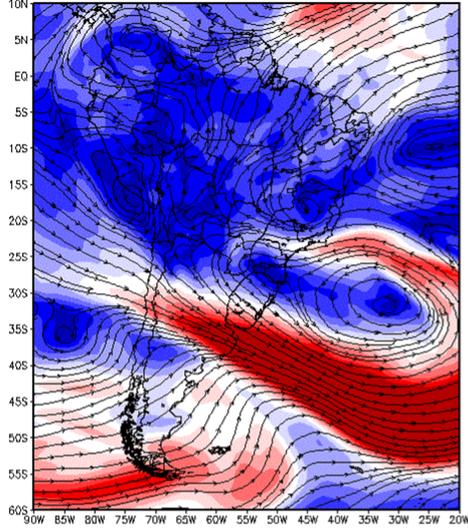
Linha de corrente 250hPa 23/01/2014 00Z



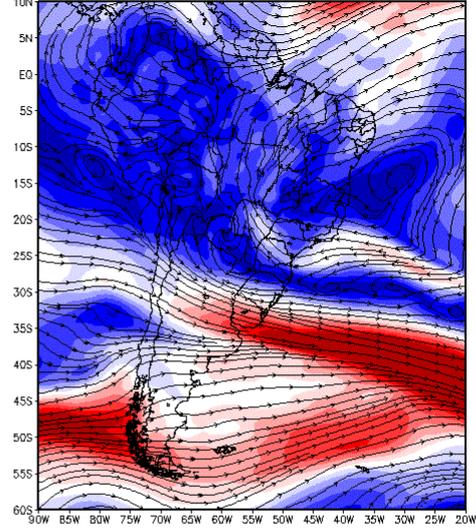
Linha de corrente 250hPa 24/01/2014 00Z



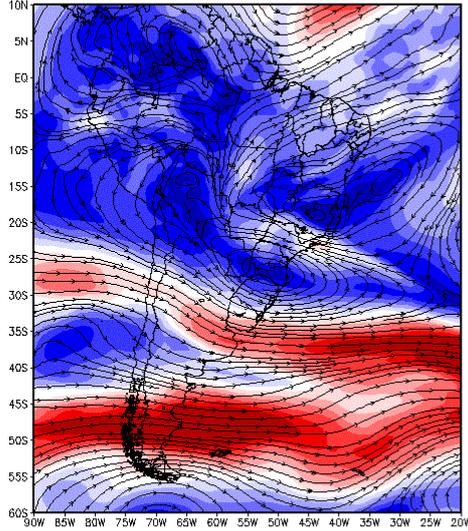
Linha de corrente 250hPa 25/01/2014 00Z



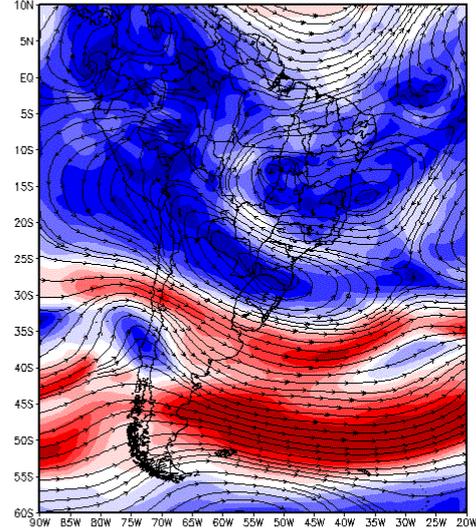
Linha de corrente 250hPa 26/01/2014 00Z



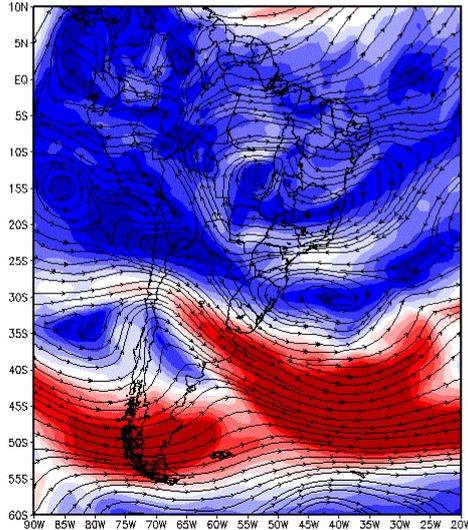
Linha de corrente 250hPa 27/01/2014 00Z



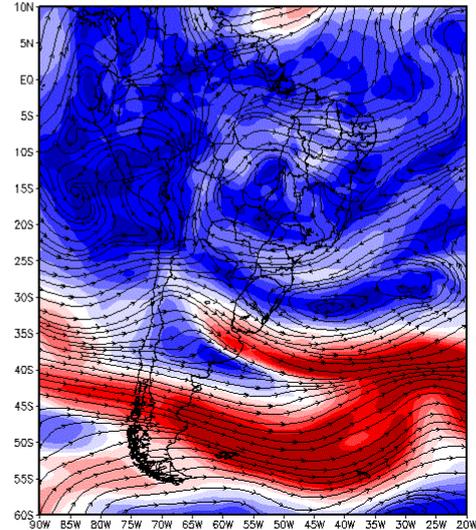
Linha de corrente 250hPa 28/01/2014 00Z



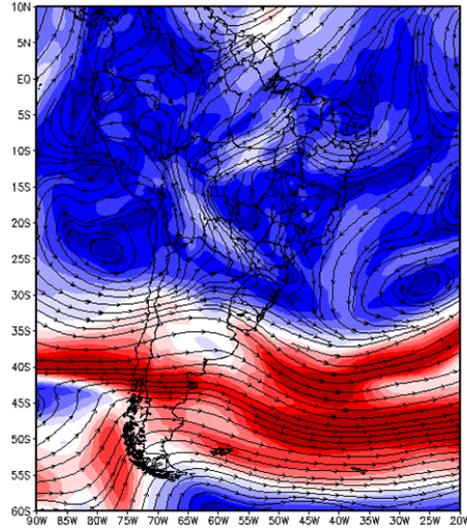
Linha de corrente 250hPa 29/01/2014 00Z



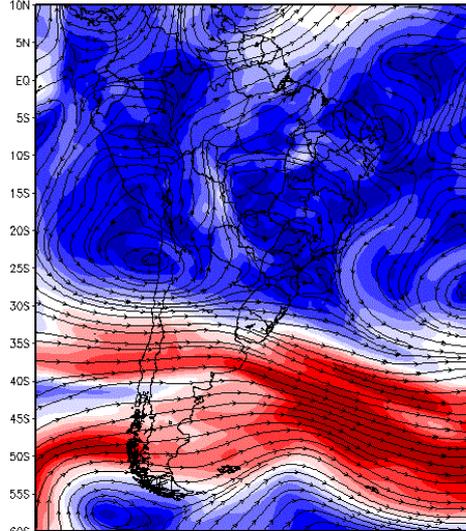
Linha de corrente 250hPa 30/01/2014 00Z



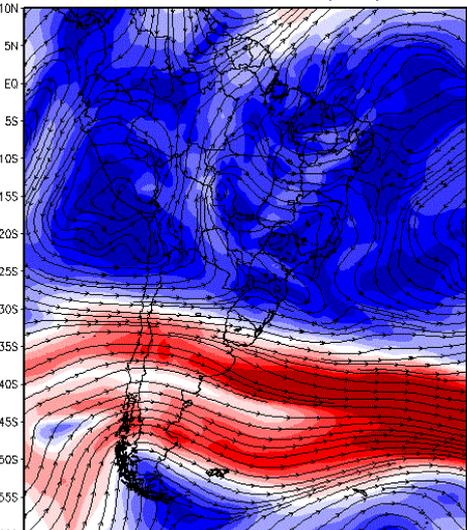
Linha de corrente 250hPa 31/01/2014 00Z



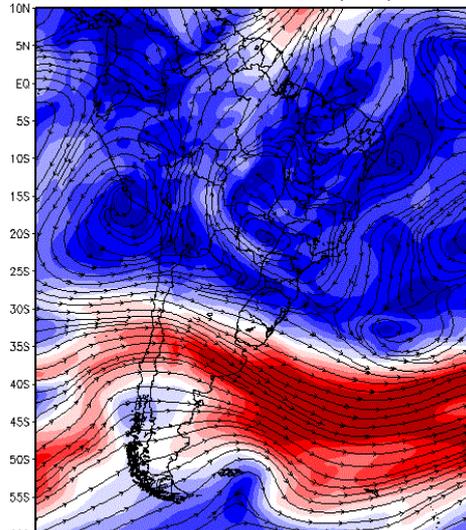
Linha de corrente 250hPa 1/02/2014 00Z



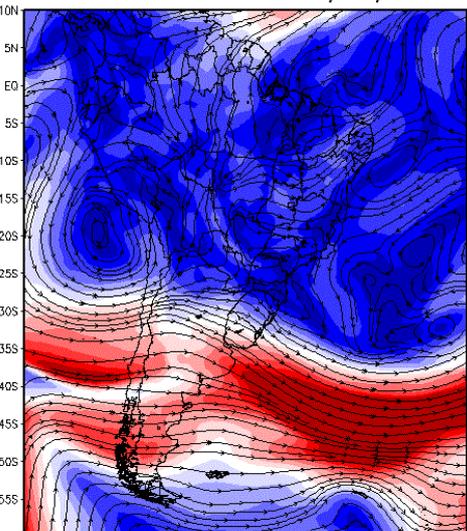
Linha de corrente 250hPa 2/02/2014 00Z



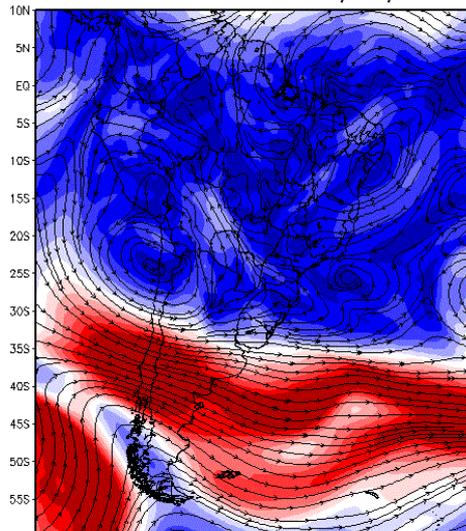
Linha de corrente 250hPa 3/02/2014 00Z



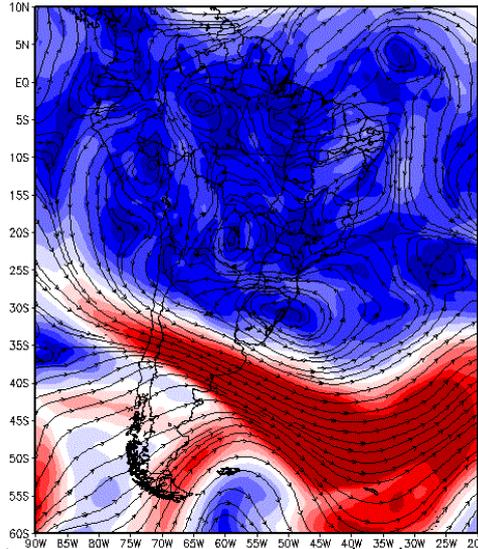
Linha de corrente 250hPa 4/02/2014 00Z



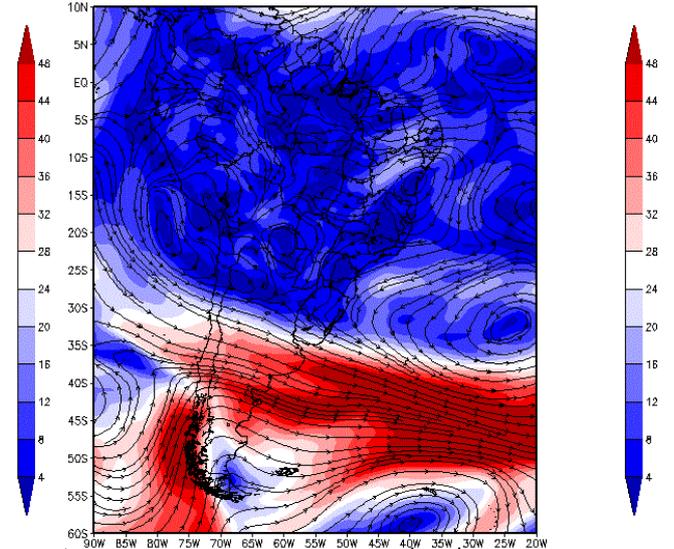
Linha de corrente 250hPa 5/02/2014 00Z



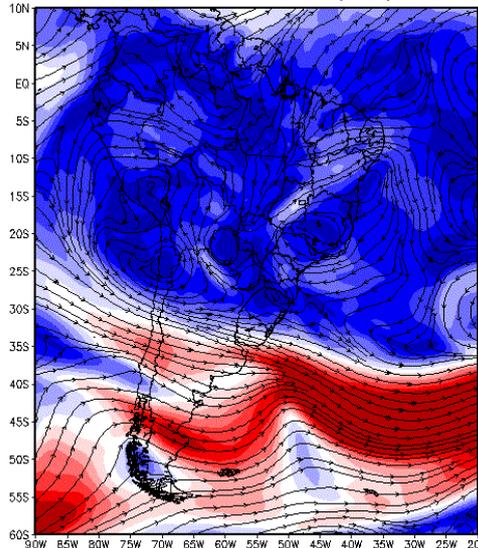
Linha de corrente 250hPa 6/02/2014 00Z



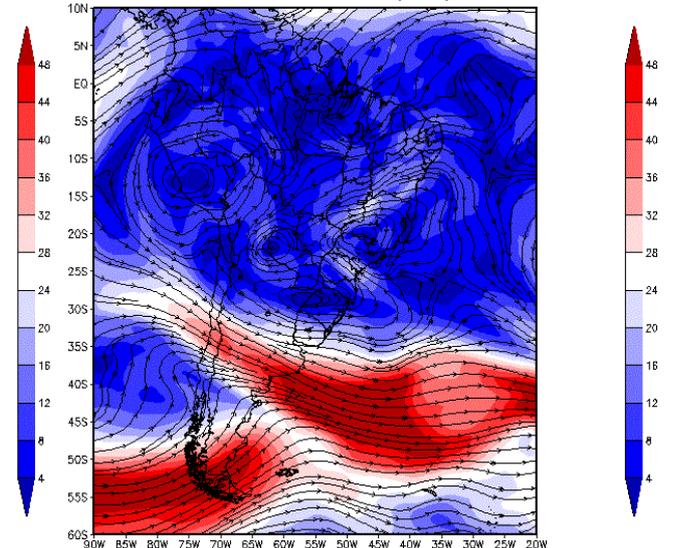
Linha de corrente 250hPa 7/02/2014 00Z



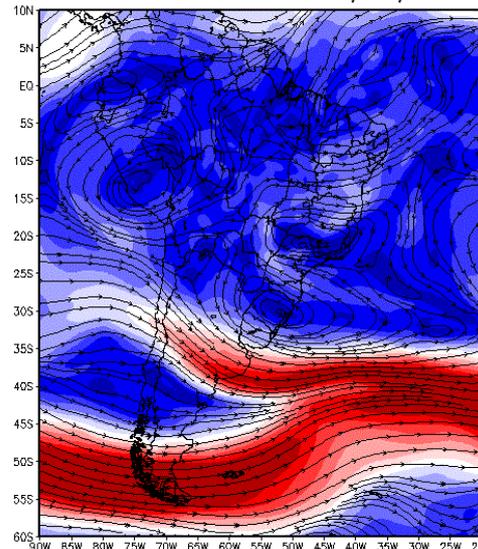
Linha de corrente 250hPa 8/02/2014 00Z



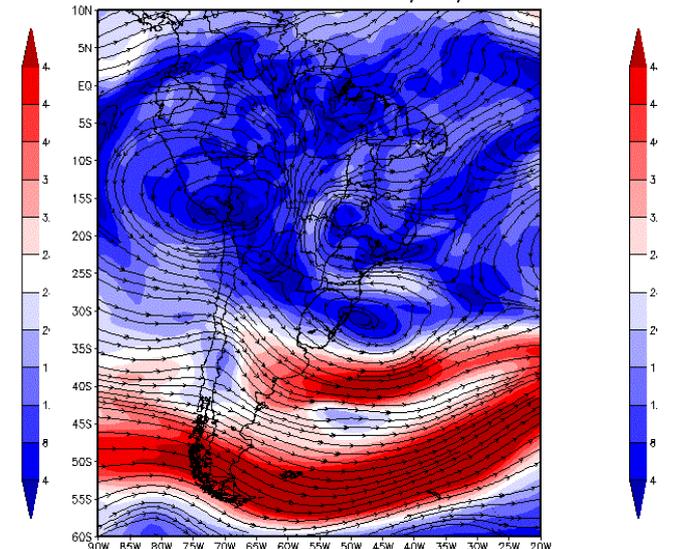
Linha de corrente 250hPa 9/02/2014 00Z



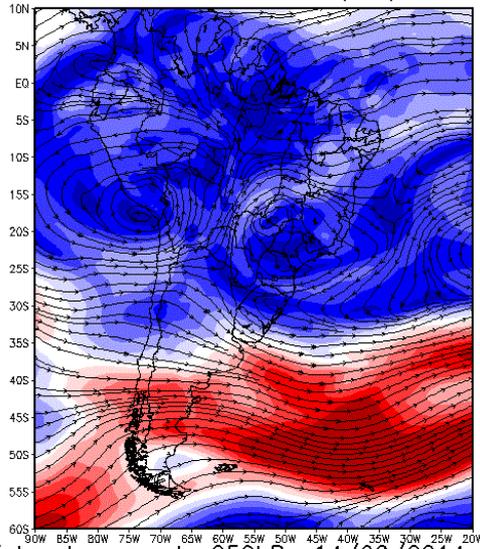
Linha de corrente 250hPa 10/02/2014 00Z



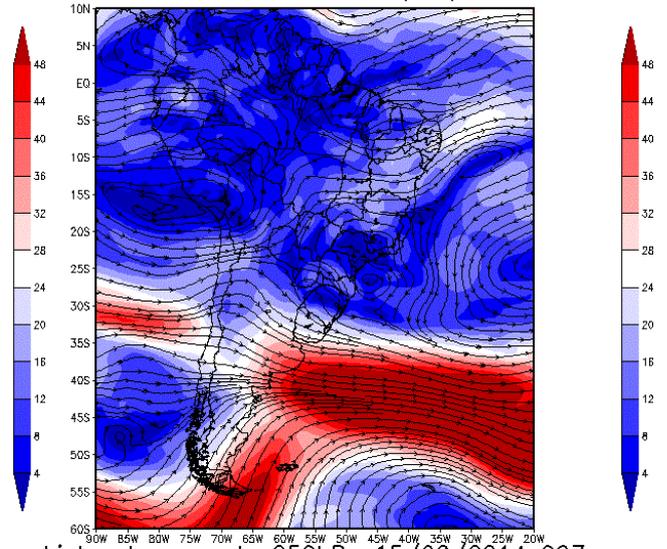
Linha de corrente 250hPa 11/02/2014 00Z



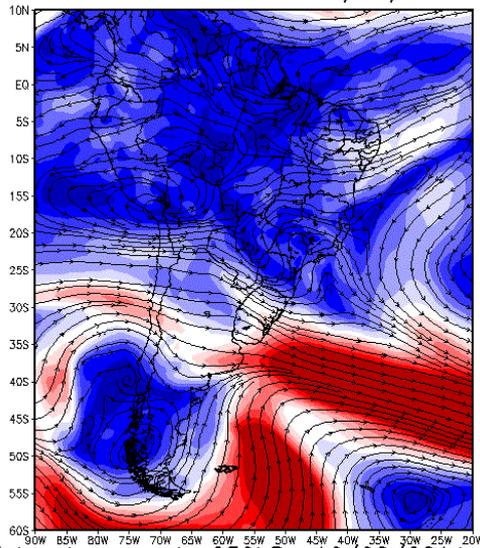
Linha de corrente 250hPa 12/02/2014 00Z



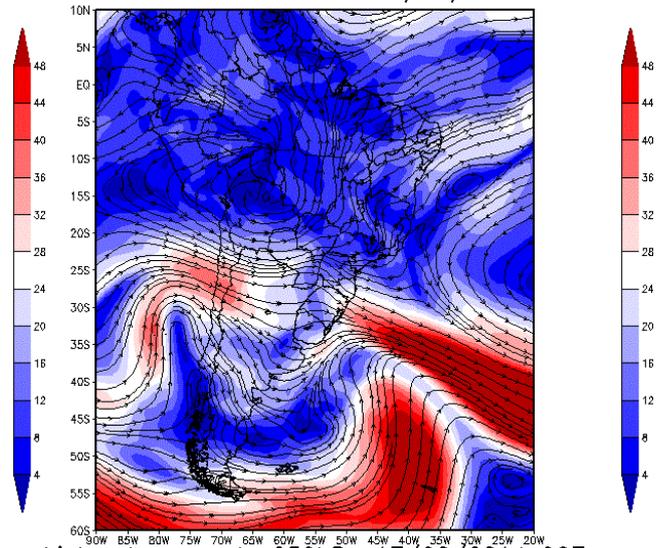
Linha de corrente 250hPa 13/02/2014 00Z



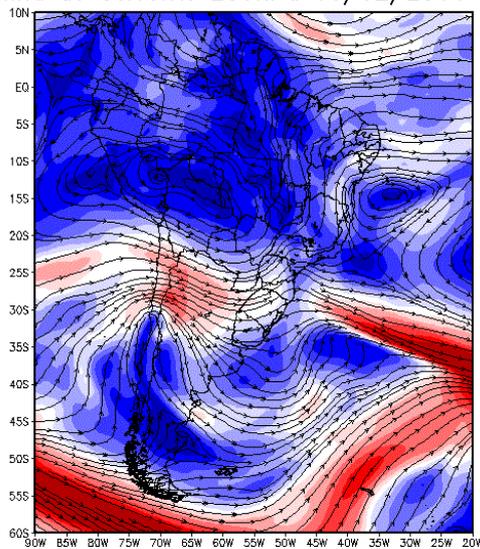
Linha de corrente 250hPa 14/02/2014 00Z



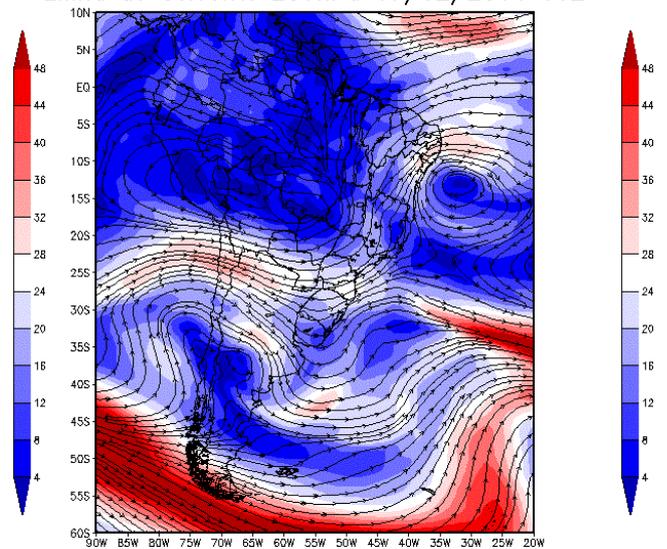
Linha de corrente 250hPa 15/02/2014 00Z



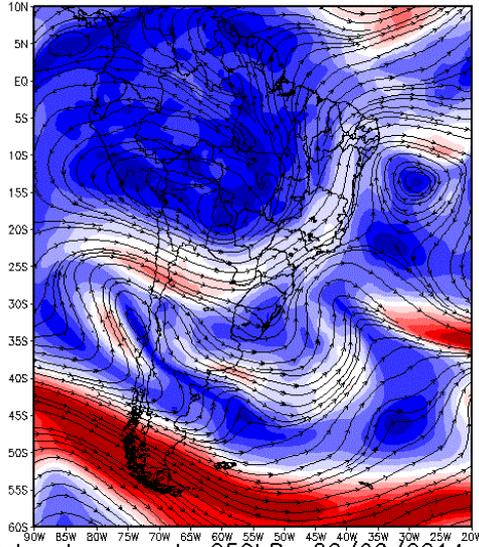
Linha de corrente 250hPa 16/02/2014 00Z



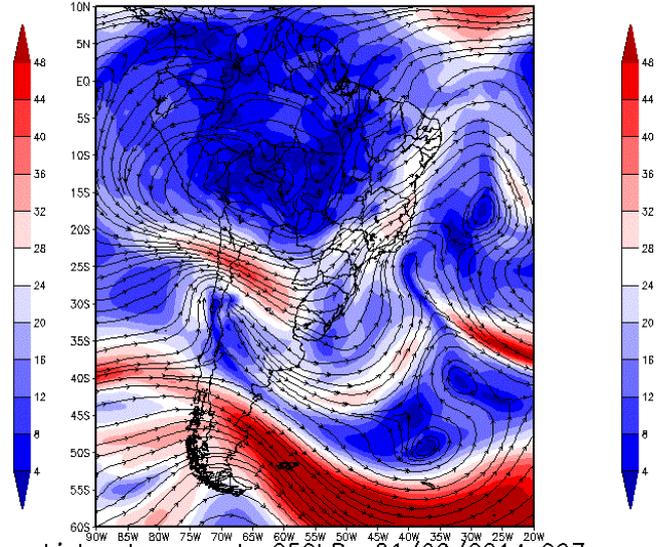
Linha de corrente 250hPa 17/02/2014 00Z



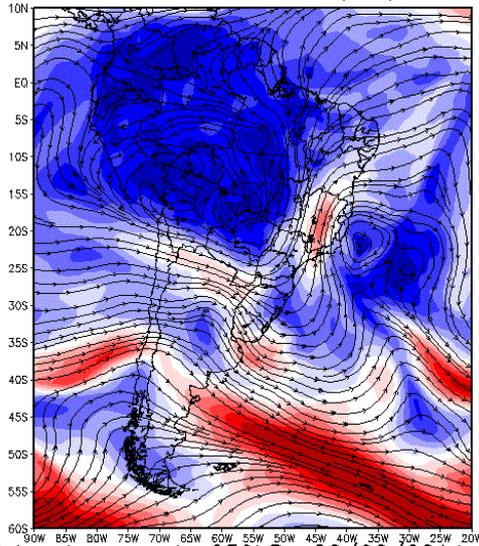
Linha de corrente 250hPa 18/02/2014 00Z



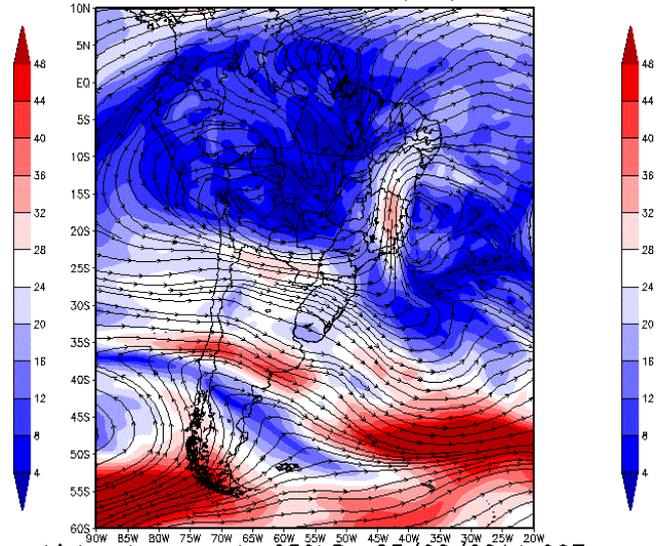
Linha de corrente 250hPa 19/02/2014 00Z



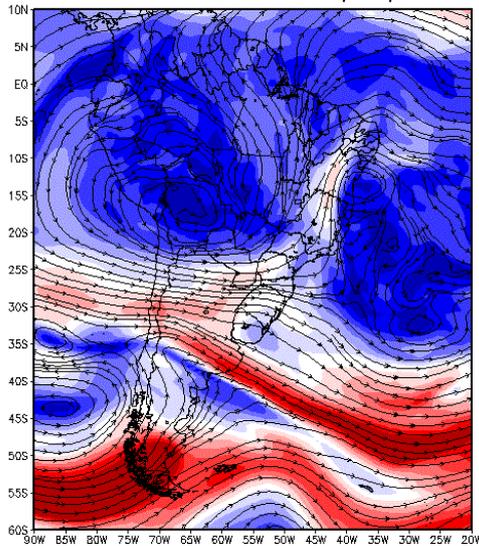
Linha de corrente 250hPa 20/02/2014 00Z



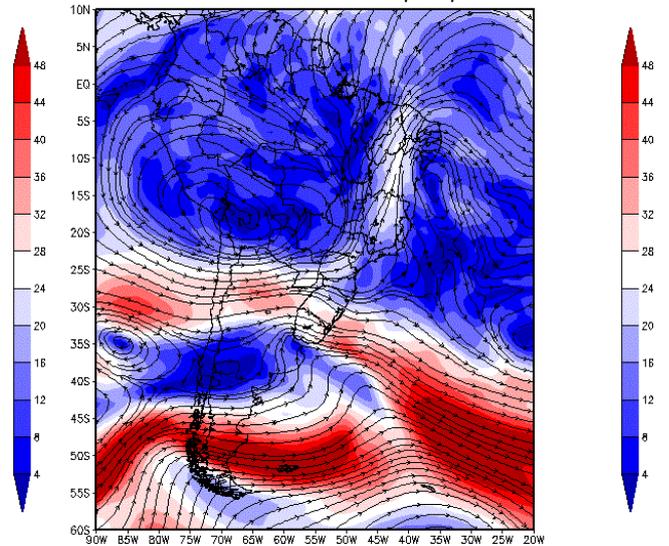
Linha de corrente 250hPa 21/02/2014 00Z



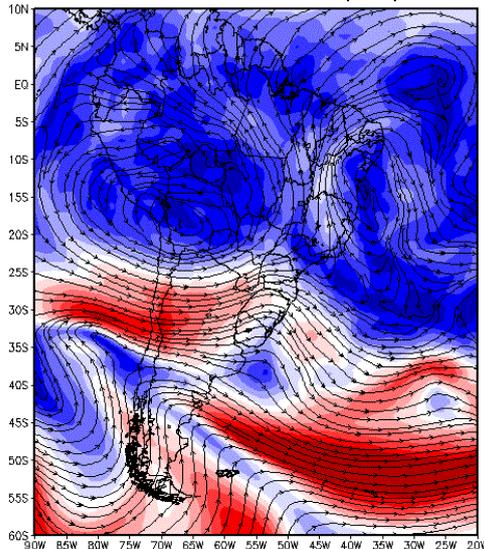
Linha de corrente 250hPa 22/02/2014 00Z



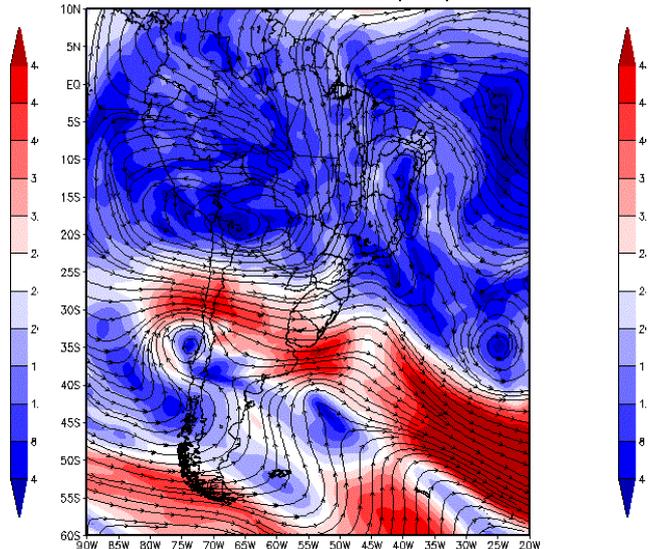
Linha de corrente 250hPa 23/02/2014 00Z



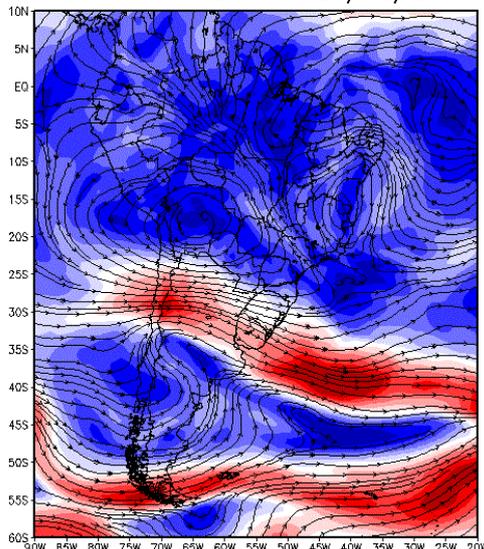
Linha de corrente 250hPa 24/02/2014 00Z



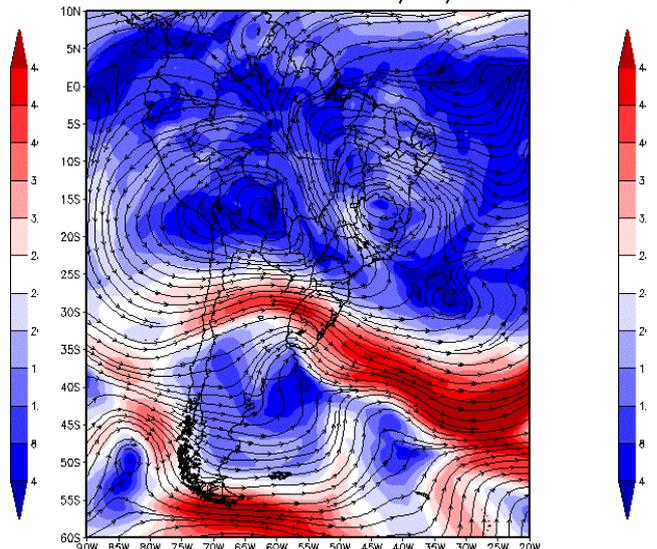
Linha de corrente 250hPa 25/02/2014 00Z



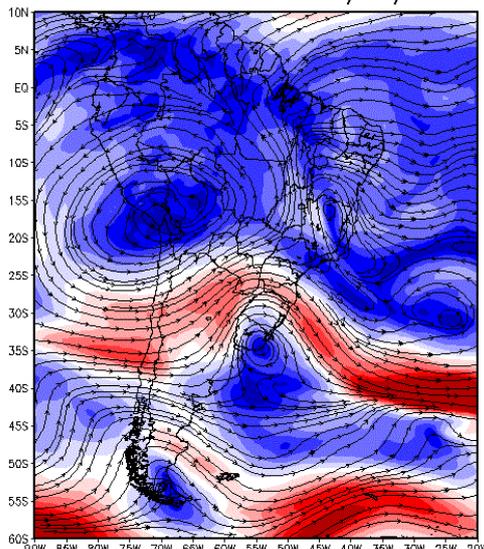
Linha de corrente 250hPa 26/02/2014 00Z



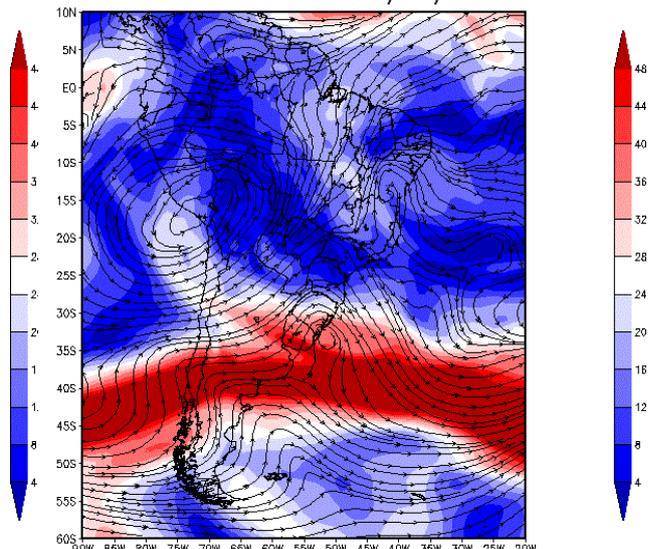
Linha de corrente 250hPa 27/02/2014 00Z



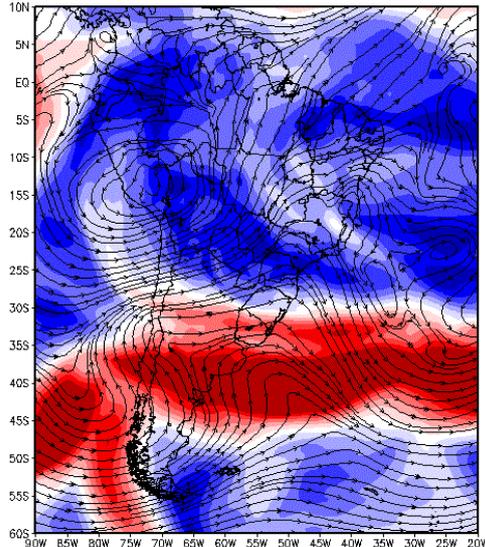
Linha de corrente 250hPa 28/02/2014 00Z



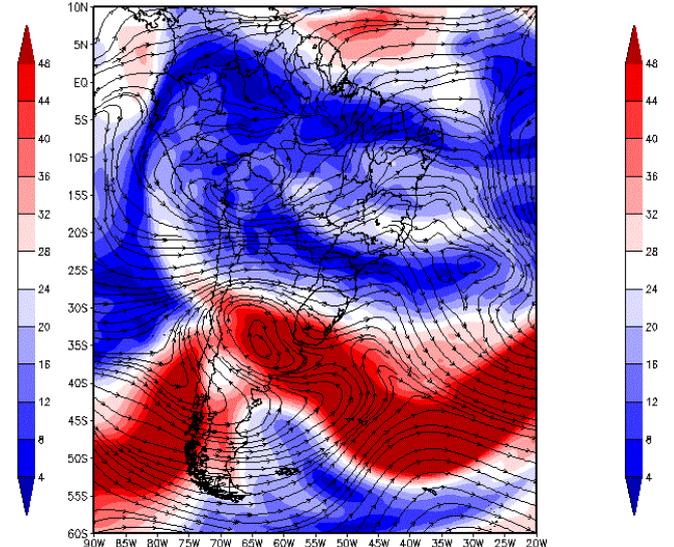
Linha de corrente 250hPa 1/03/2014 00Z



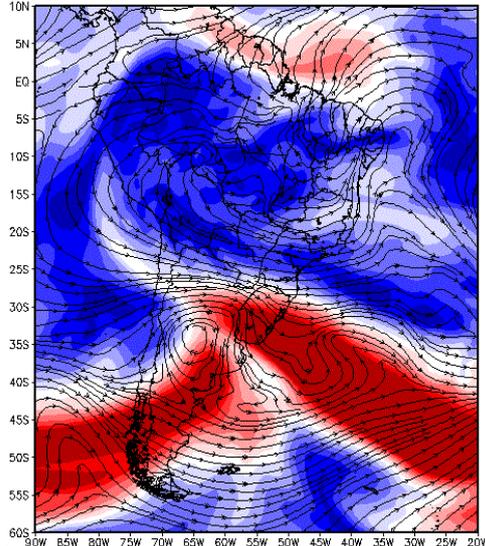
Linha de corrente 250hPa 2/03/2014 00Z



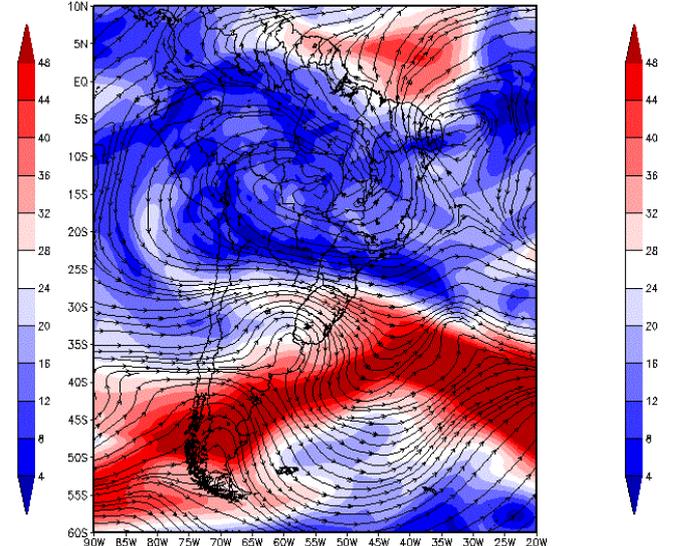
Linha de corrente 250hPa 3/03/2014 00Z



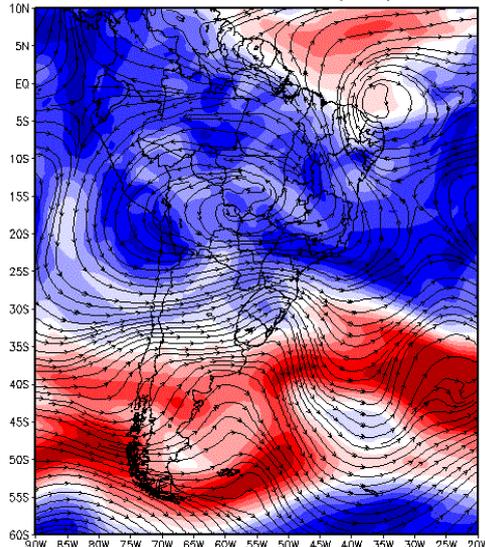
Linha de corrente 250hPa 4/03/2014 00Z



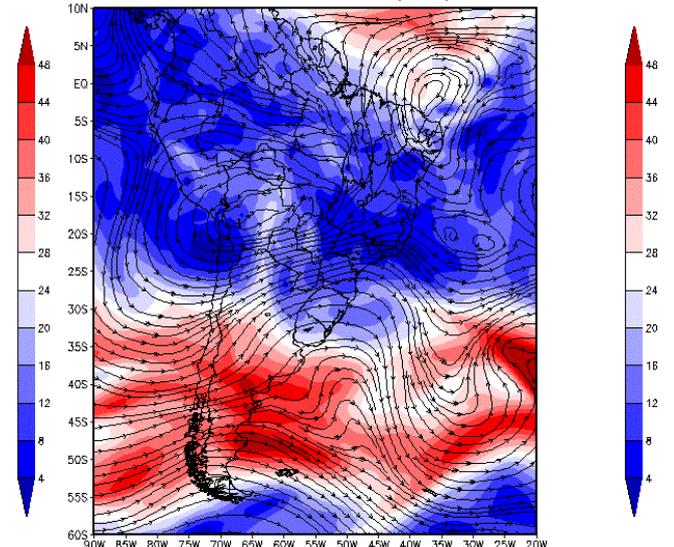
Linha de corrente 250hPa 5/03/2014 00Z



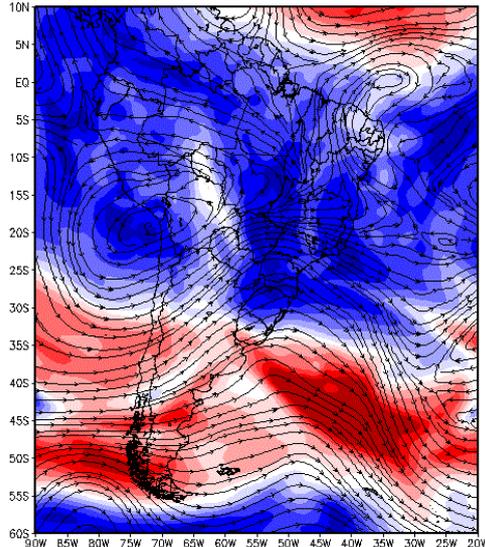
Linha de corrente 250hPa 6/03/2014 00Z



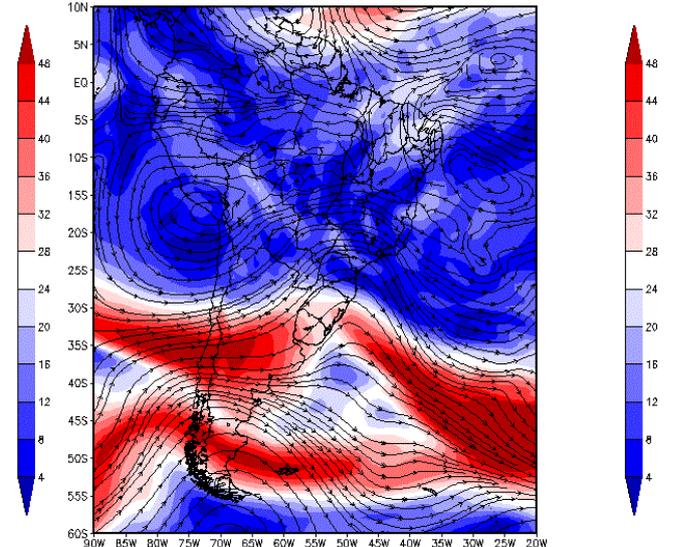
Linha de corrente 250hPa 7/03/2014 00Z



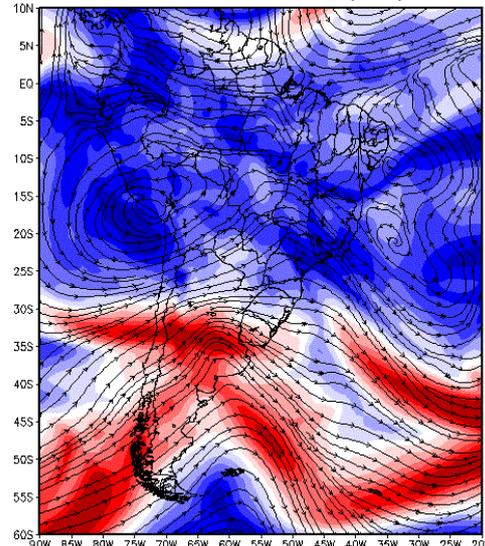
Linha de corrente 250hPa 8/03/2014 00Z



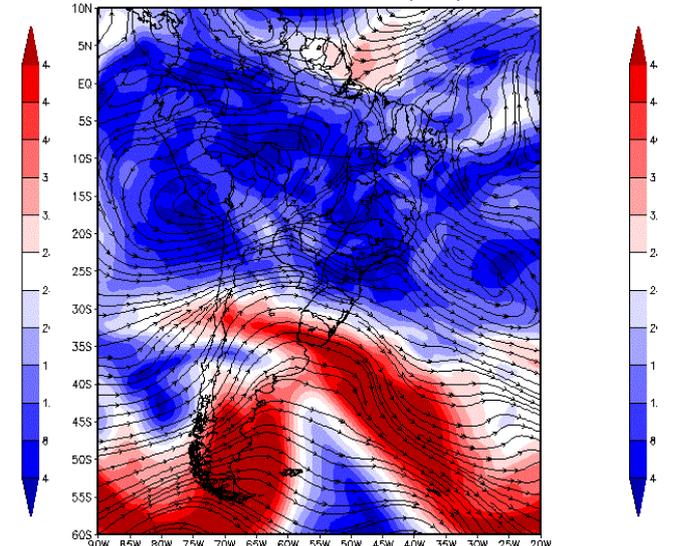
Linha de corrente 250hPa 9/03/2014 00Z



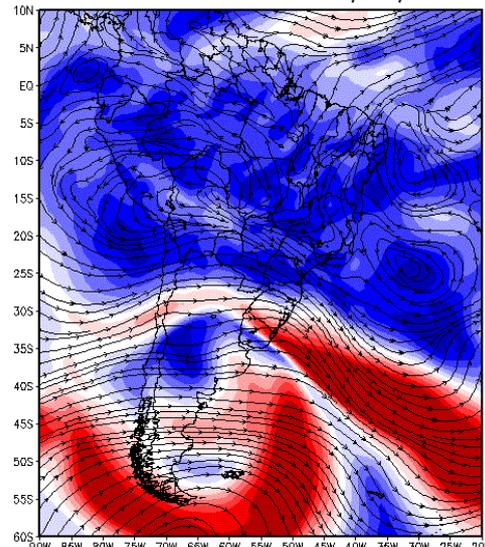
Linha de corrente 250hPa 10/03/2014 00Z



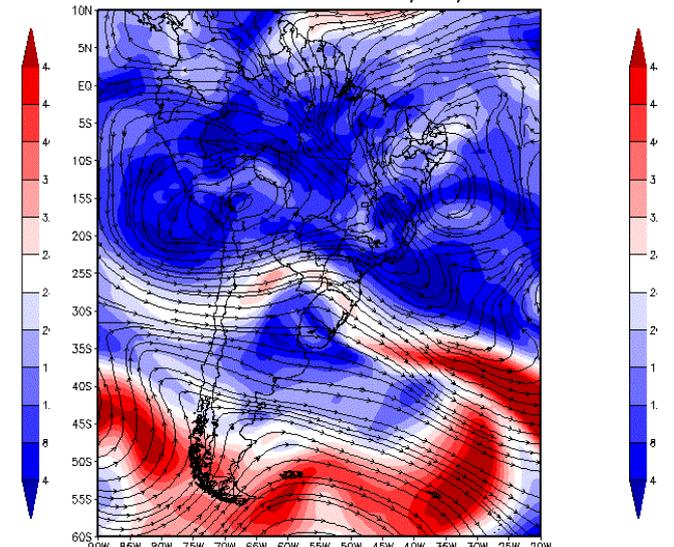
Linha de corrente 250hPa 11/03/2014 00Z



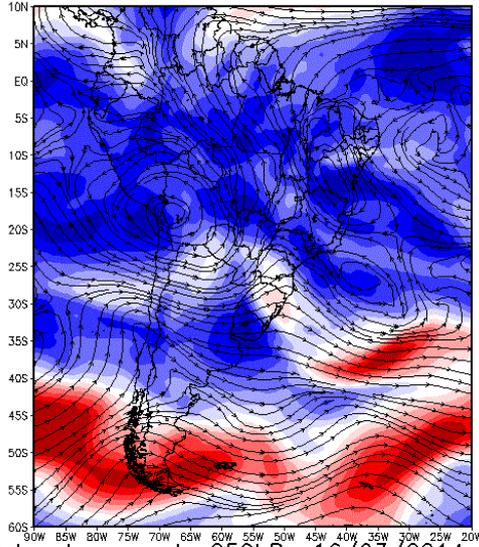
Linha de corrente 250hPa 12/03/2014 00Z



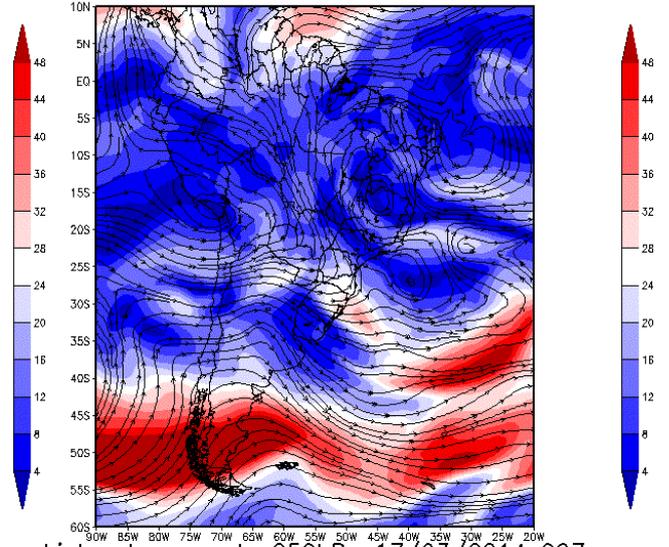
Linha de corrente 250hPa 13/03/2014 00Z



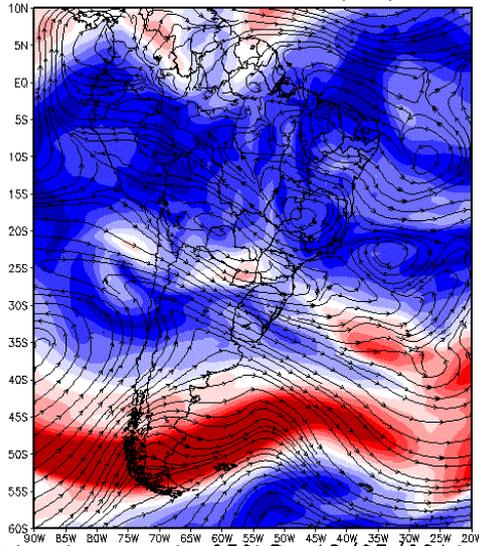
Linha de corrente 250hPa 14/03/2014 00Z



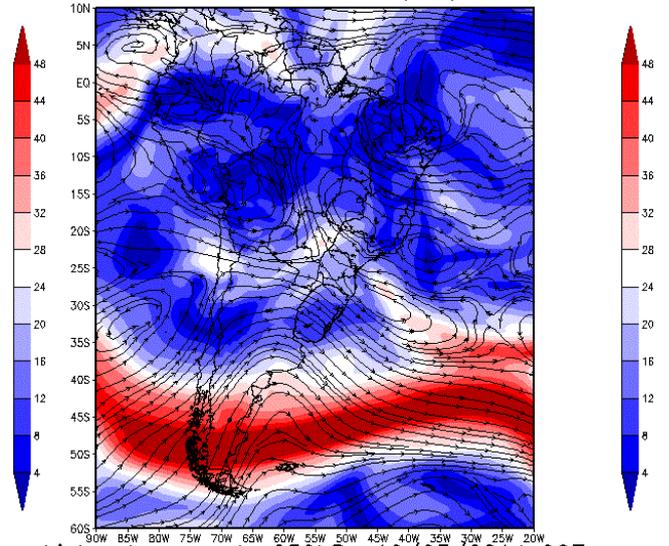
Linha de corrente 250hPa 15/03/2014 00Z



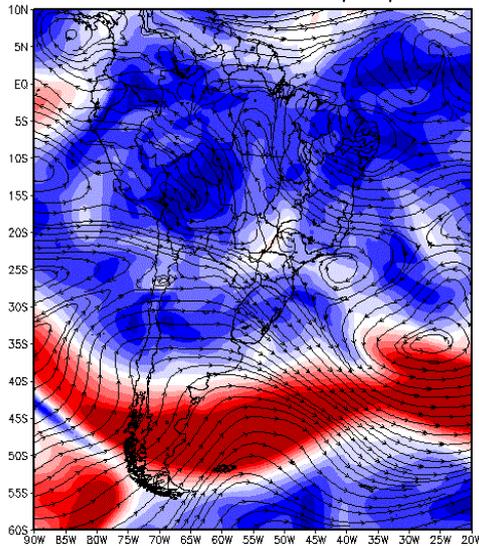
Linha de corrente 250hPa 16/03/2014 00Z



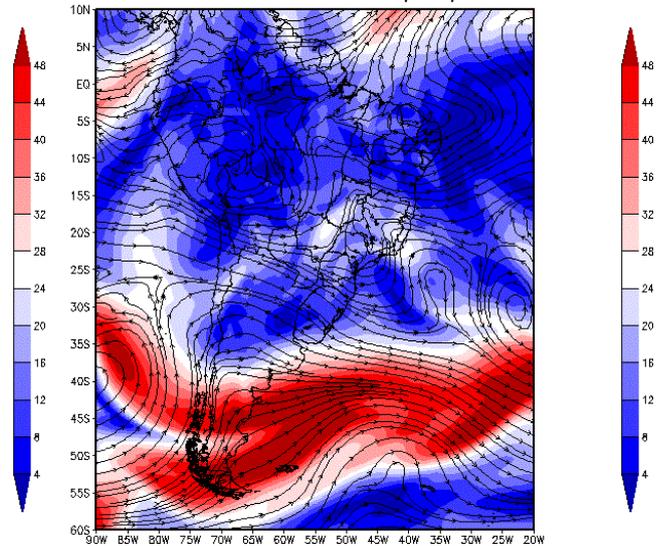
Linha de corrente 250hPa 17/03/2014 00Z



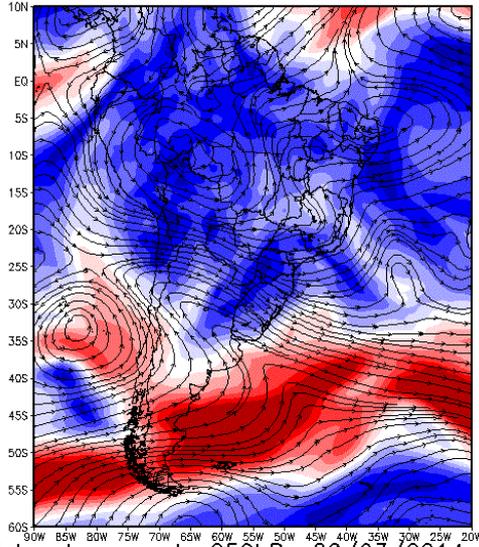
Linha de corrente 250hPa 18/03/2014 00Z



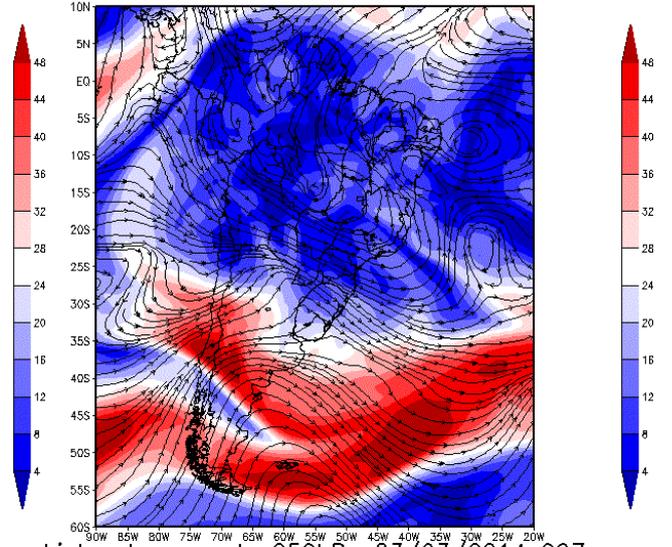
Linha de corrente 250hPa 19/03/2014 00Z



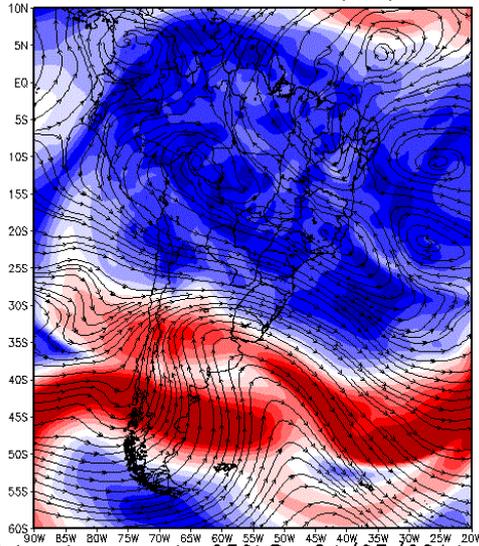
Linha de corrente 250hPa 20/03/2014 00Z



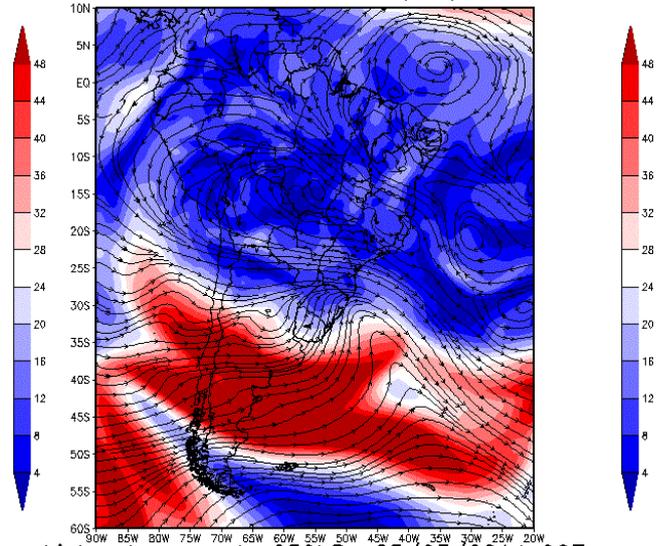
Linha de corrente 250hPa 21/03/2014 00Z



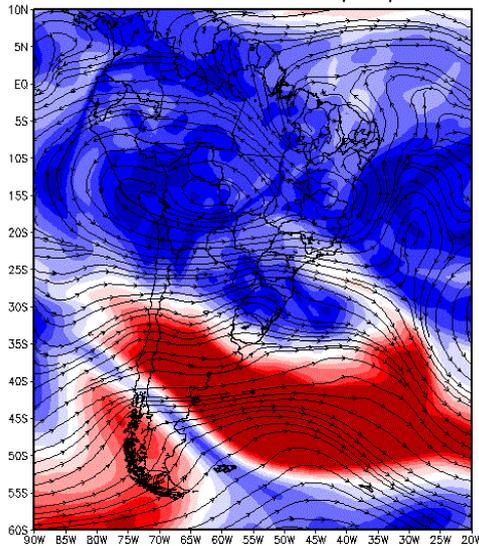
Linha de corrente 250hPa 22/03/2014 00Z



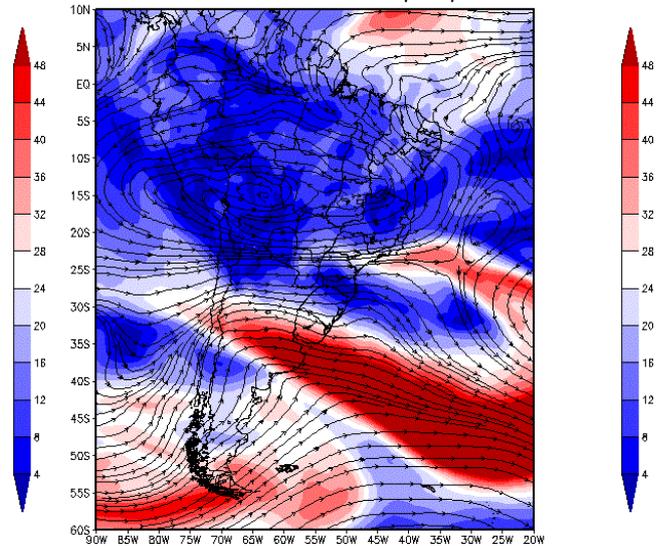
Linha de corrente 250hPa 23/03/2014 00Z



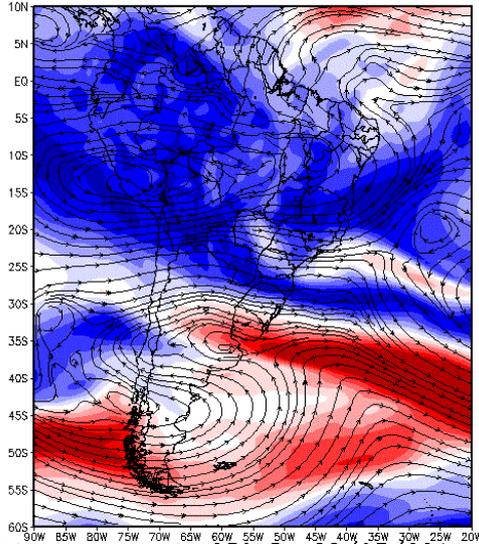
Linha de corrente 250hPa 24/03/2014 00Z



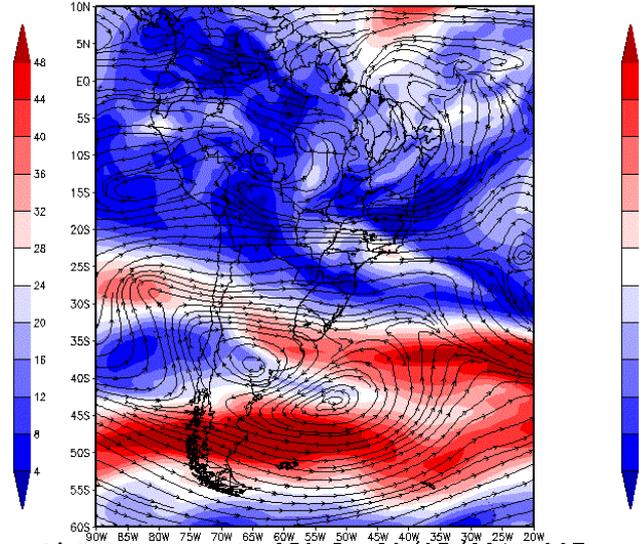
Linha de corrente 250hPa 25/03/2014 00Z



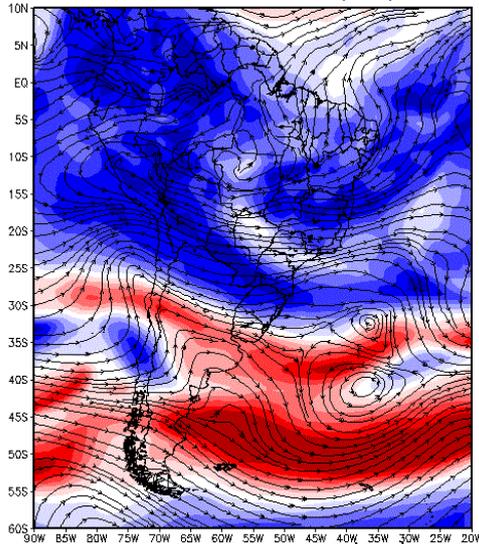
Linha de corrente 250hPa 26/03/2014 00Z



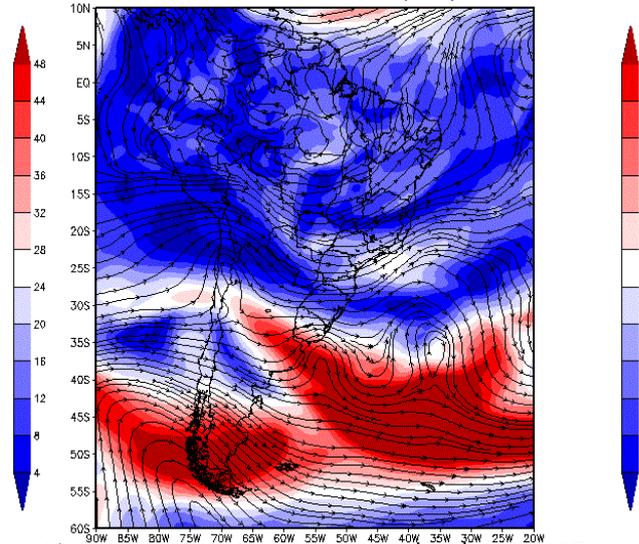
Linha de corrente 250hPa 27/03/2014 00Z



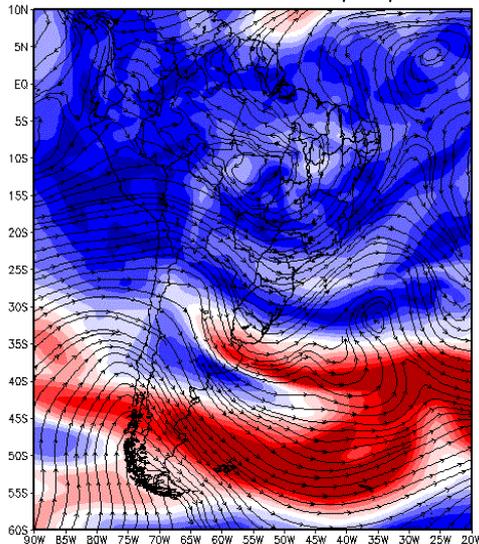
Linha de corrente 250hPa 28/03/2014 00Z



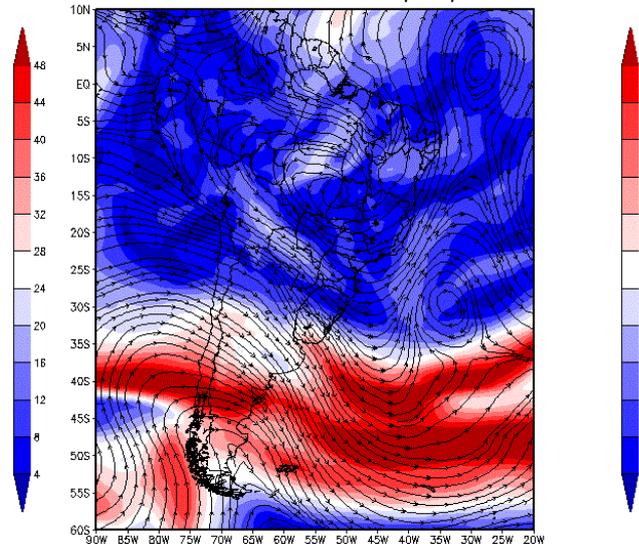
Linha de corrente 250hPa 29/03/2014 00Z



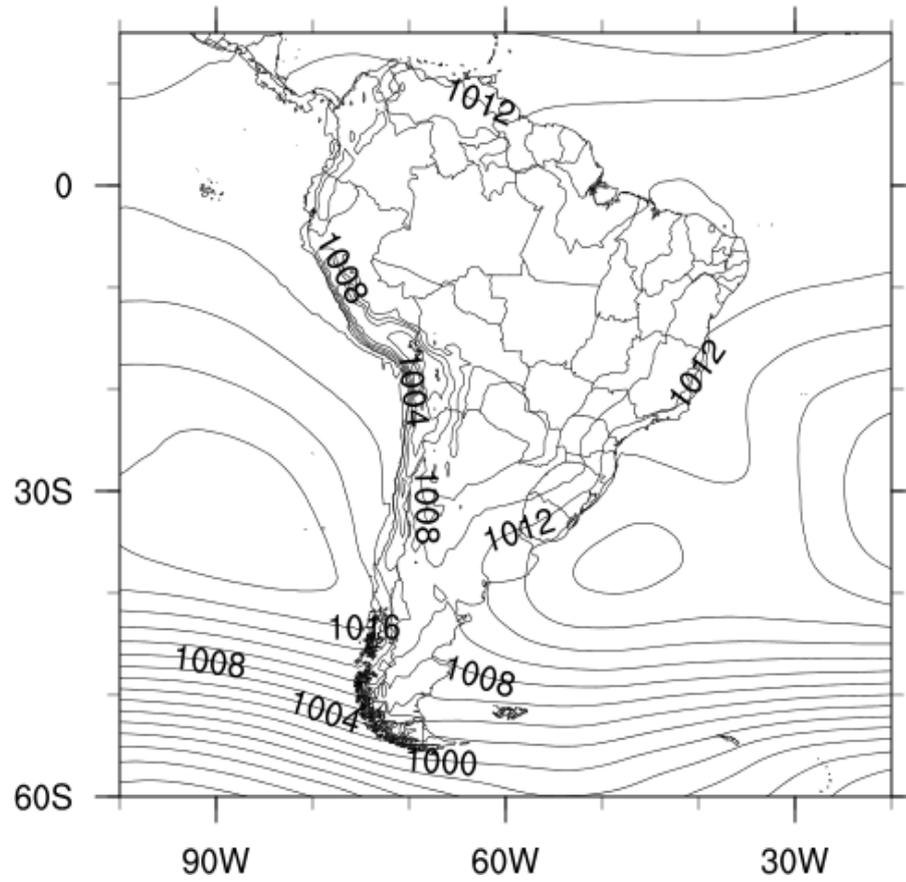
Linha de corrente 250hPa 30/03/2014 00Z



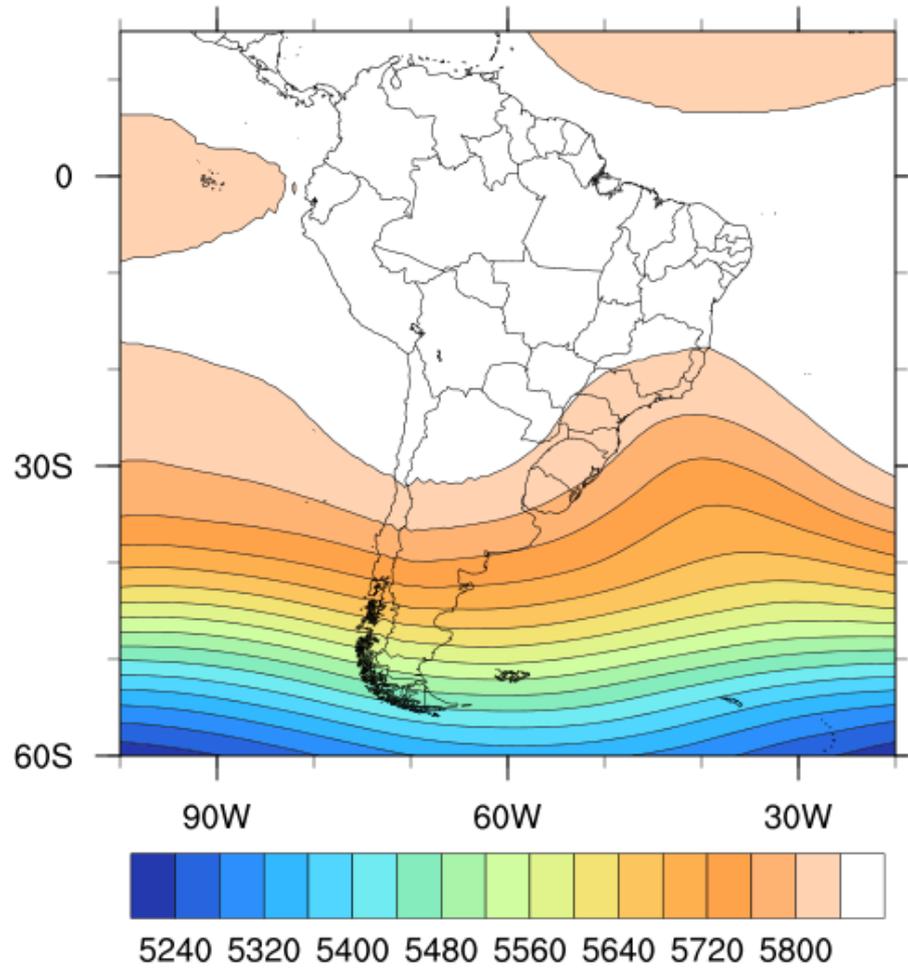
Linha de corrente 250hPa 31/03/2014 00Z



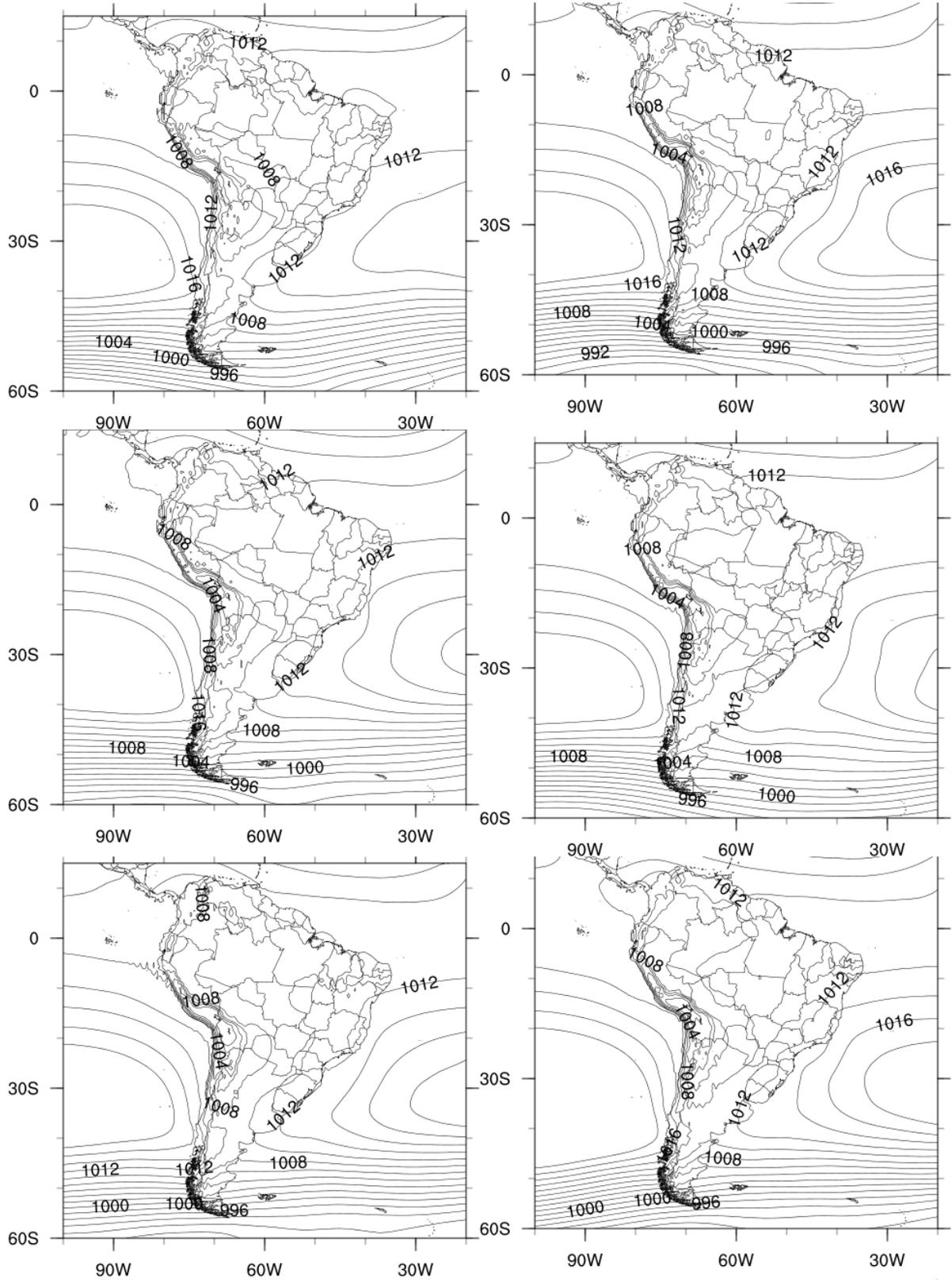
Apêndice A. Linhas de corrente e magnitude do vento das 00 UTC de 1 de janeiro a 31 de março de 2014



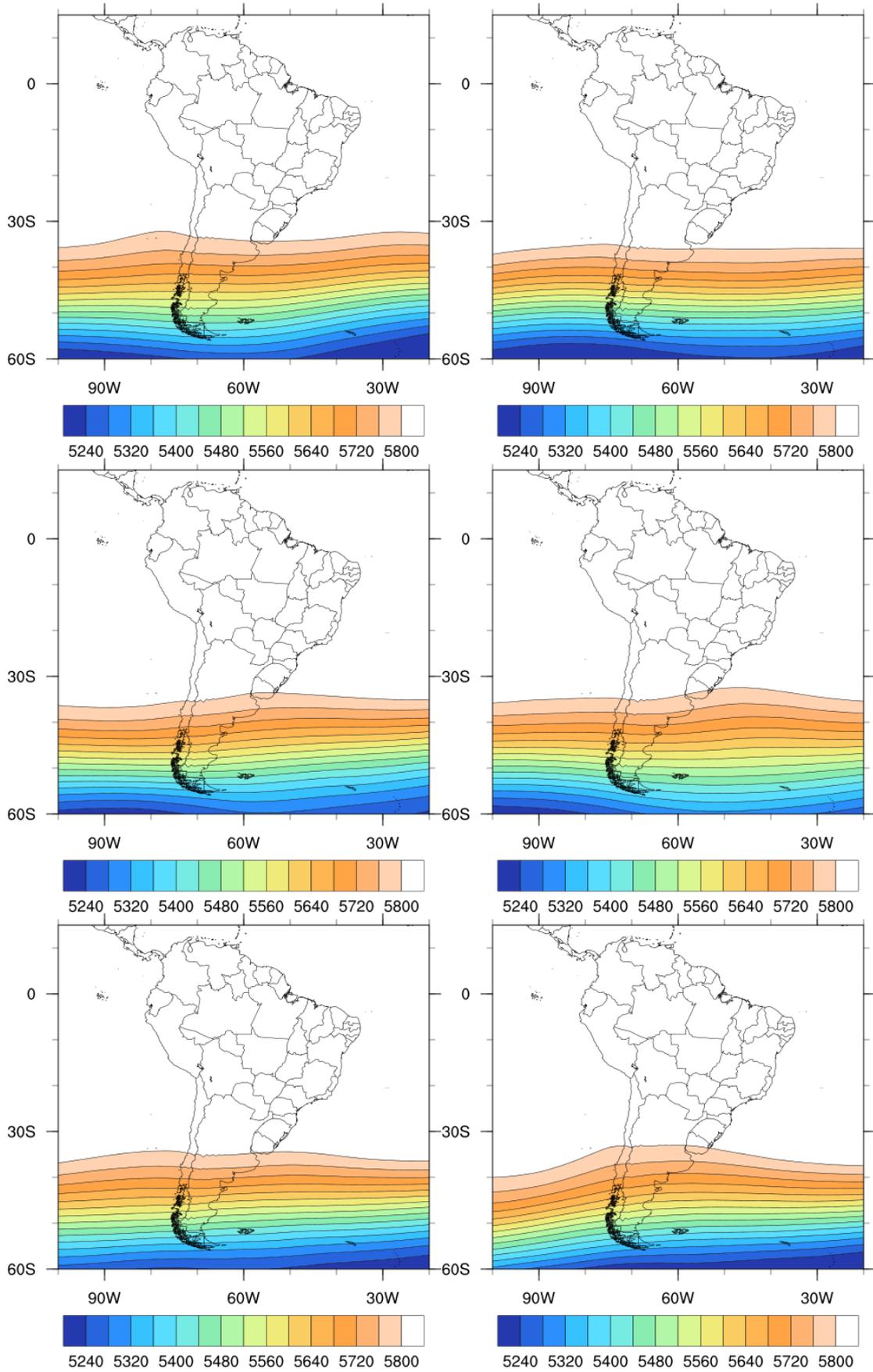
Apêndice B. Climatologia de altura de geopotencial em 500 hPa para o trimestre JFM de 1979 a 2008.



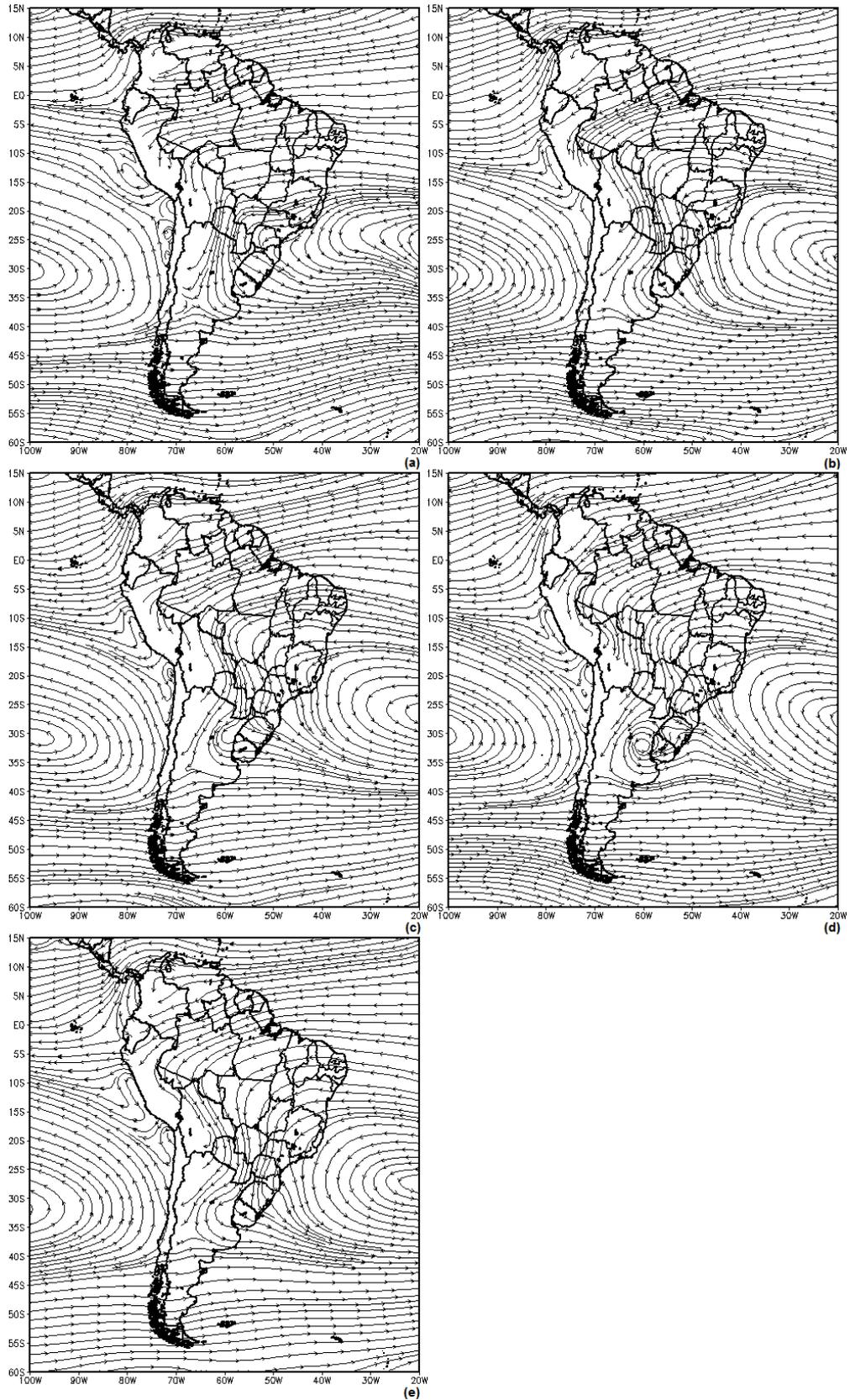
Apêndice C. Climatologia de altura de geopotencial em 500 hPa para o trimestre JFM de 1979 a 2008.



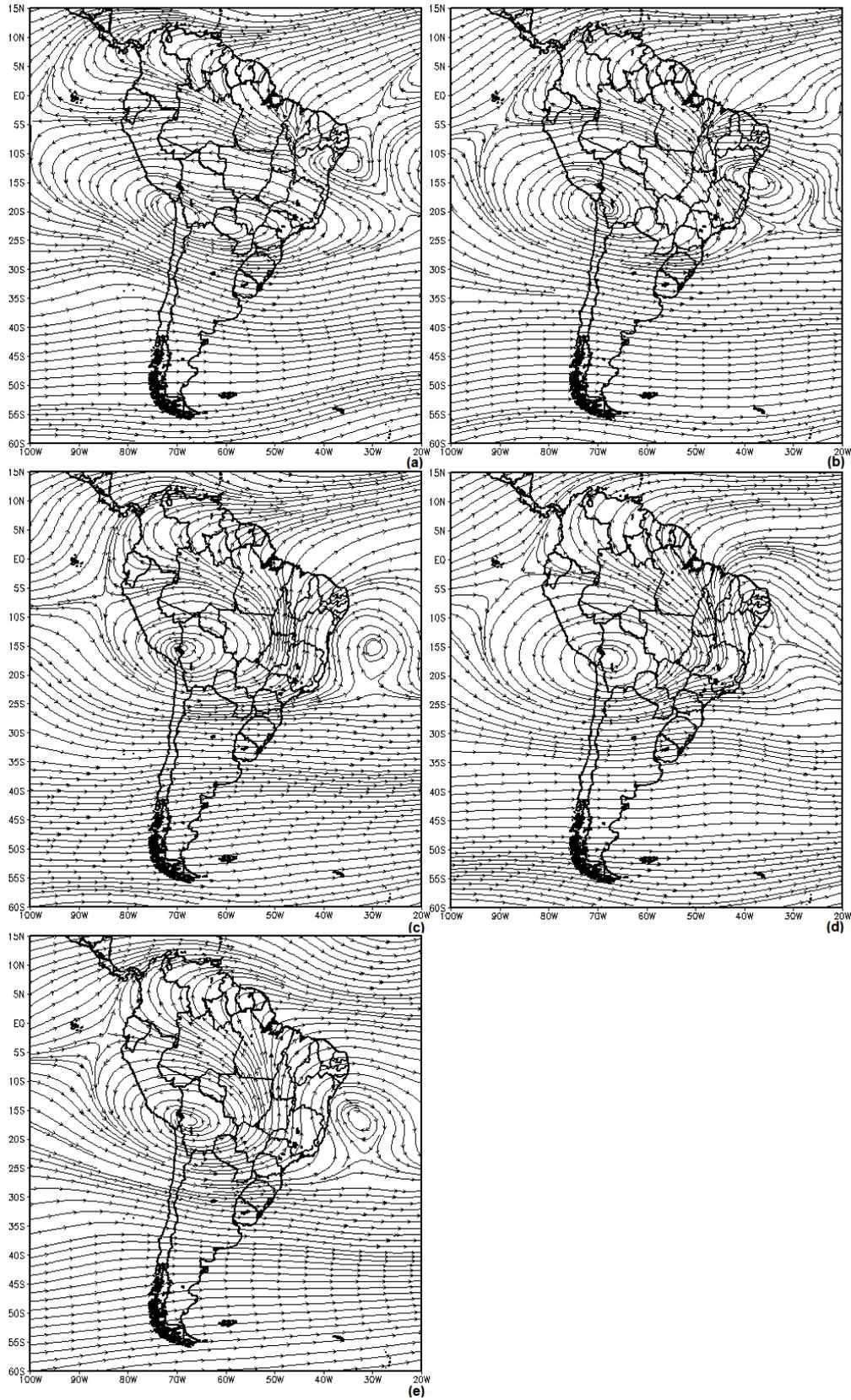
Apêndice D. Pressão ao nível médio do mar observado em JFM dos anos de 1984, 2001, 2003, 2006, 2010 e 2014, respectivamente



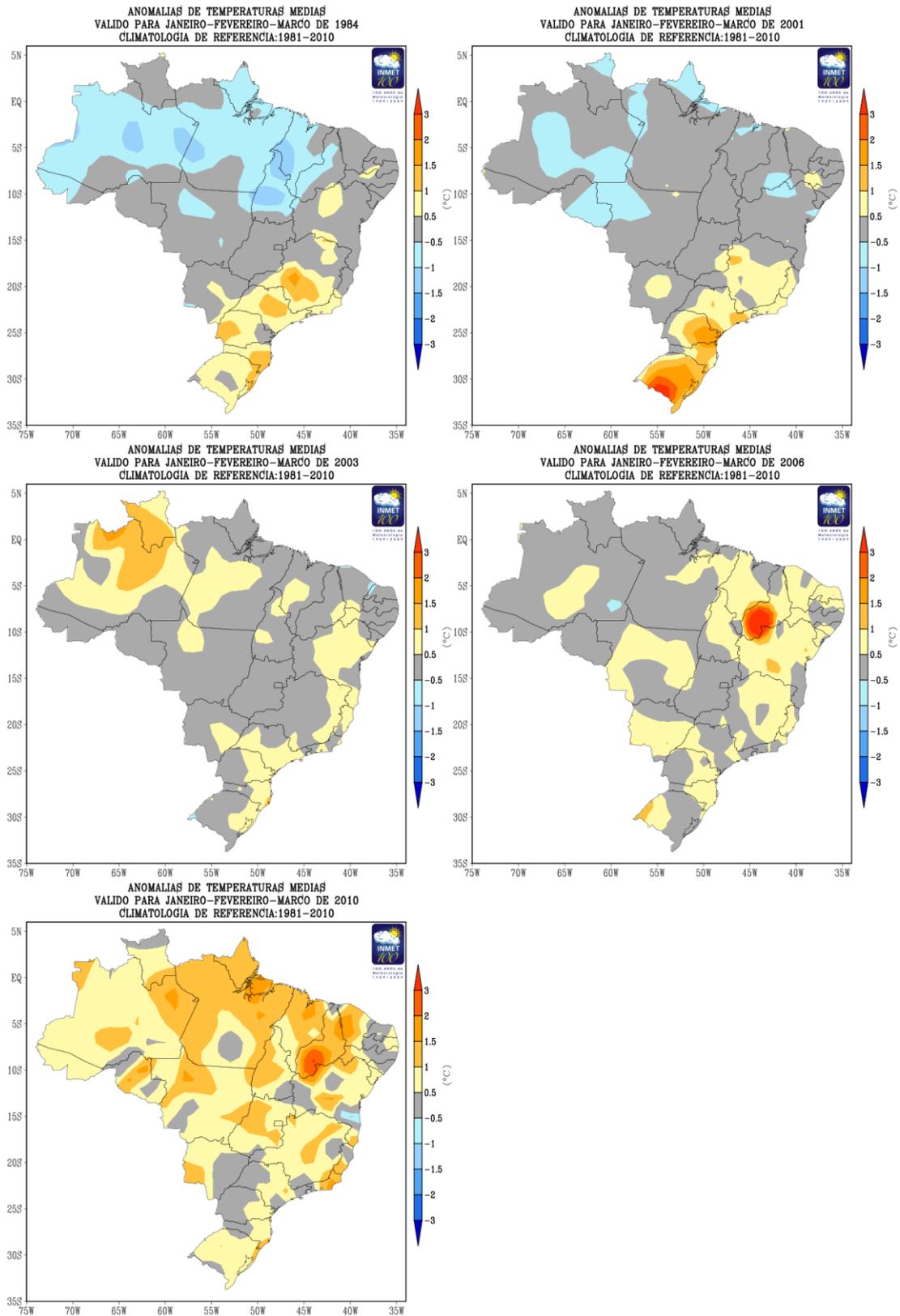
Apêndice E. Altura geopotencial em 500 hPa observado em JFM dos anos de 1984, 2001, 2003, 2006, 2010 e 2014, respectivamente



Apêndice F. Vento observado em 850 hPa para JFM de 1984, 2001, 2003, 2006 e 2010, respectivamente.



Apêndice G. Vento observado em 250 hPa para JFM de 1984, 2001, 2003, 2006 e 2010, respectivamente.



Apêndice H. Anomalia de temperatura média do ar para o trimestre JFM dos anos de 1984, 2001, 2003, 2006 e 2010, respectivamente.

Fonte: INMET (2016)