

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Meteorologia
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia

Dissertação



Título: Sistemas meteorológicos e sua relação com altos valores de espessura ótica dos aerossóis no Rio Grande do Sul

Thiago Guerreiro Ferreira

Pelotas, 2015

Thiago Guerreiro Ferreira

Sistemas meteorológicos e sua relação com altos valores de espessura ótica dos aerossóis no Rio Grande do Sul

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. Glauber Lopes Mariano

Pelotas, 2015

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas

Catálogo na Publicação

F384s

Ferreira, Thiago Guerreiro

Sistemas meteorológicos e sua relação com altos valores de espessura ótica dos aerossóis no Rio Grande do Sul / Thiago Guerreiro Ferreira ; Glauber Lopes Mariano, orientador. — Pelotas, 2015.

127 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, 2015.

1. Aerossóis. 2. Transporte. 3. Sistemas sinóticos. I. Mariano, Glauber Lopes, orient. II. Título.

CDD : 551.5

Elaborada por Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

Thiago Guerreiro Ferreira

**Sistemas meteorológicos e sua relação com altos valores de espessura
ótica dos aerossóis no Rio Grande do Sul**

**Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de
Mestre em Meteorologia, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia,
Faculdade Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas.**

Data da defesa: 30/07/2015

Banca examinadora:

.....
Prof. Dr. Glauber Lopes Mariano..... (Orientador)
Doutor em Meteorologia pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).....

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

.....
Prof. Dr. Ericka Voss Chagas Mariano.....
Doutora em Geofísica Espacial pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).....

.....
Prof. Dr. Wendell Rondinelli Gomes Farias.....
Doutor em Geofísica Espacial pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).....

Dedicatória

À minha família.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por sempre estar presente em minha vida.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

Ao meu orientador professor Dr. Glauber Lopes Mariano pelos conselhos, pelos ensinamentos e pela confiança.

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação em Meteorologia. Aos professores e funcionários do Curso de Pós-Graduação por ensinamentos.

“Tudo posso naquele que me fortalece”.
(Filipenses 4:13)

Resumo

FERREIRA, Thiago. **Sistemas meteorológicos e sua relação com altos valores de espessura ótica dos aerossóis no Rio Grande do Sul.** 2015. 127f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Constituídos por partículas sólidas e líquidas em suspensão na atmosfera, os aerossóis afetam o balanço radiativo da Terra através da dispersão e absorção da radiação solar. Ao fluírem pela atmosfera podem ser advecidos para longas distâncias. A região Sul do Brasil pode sofrer influência de diversos tipos de partículas de aerossóis, tanto transportados de outras regiões, quanto aerossóis emitidos localmente. Entender como os sistemas meteorológicos atuantes na AS implicam na espessura ótica dos aerossóis (EOA), através do transporte e deposição, é primordial para analisar os seus efeitos sobre a área de estudo. Desta forma, o objetivo principal deste trabalho foi identificar os sistemas sinóticos atuantes durante casos com ocorrência de altos valores de EOA no Rio Grande do Sul. Os casos selecionados para as análises foram separados através do percentil 99 P(99), indicando os dias com maior valor de EOA dentro da região Sul do Brasil para o período de 2002 a 2011. Para a análise sinótica, foram utilizados dados com resolução espacial de 2,5° e temporal de médias diárias, obtidos dos dados de reanálise 2 do NCEP/NCAR (*National Centers for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research*). Foram gerados campos compostos dos dias de ocorrência de alto valor da EOA (t=0) além dos dias prévios (t-1, t-2 e t-3) e posteriores a esta ocorrência (t+1 e t+2) para os meses de agosto, setembro e outubro que foram os mais recorrentes destes altos valores de EOA para analisar a possível ocorrência de um padrão. Os casos selecionados também foram relacionados aos eventos climáticos El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e ENOS Modoki. Encontrou-se que, para a amostra selecionada (84%) dos casos ocorreram em período de ENOS e (28%) com ENOS Modoki. Além disso, de acordo com os campos compostos analisados alguns sistemas se mostraram persistentes e com potencial para alterar a EOA e foram destacados nos modelos conceituais desenvolvidos, a Alta Subtropical do Atlântico Sul, o escoamento nos níveis de 850hPa e 700hPa e os sistemas de baixa e alta pressão em superfície.

Palavras-chave: aerossóis, transporte, sistemas sinóticos.

Abstract

FERREIRA, Thiago. **Weather systems and their relationship with high optical thickness values of aerosols in Rio Grande do Sul.** 2015. 127f. Thesis (MA) Post-graduate degree in Meteorology. Federal University of Pelotas, Pelotas.

Consisting of solid and liquid particles suspended in the atmosphere, aerosols affect the radiative balance of the Earth through the scattering and absorption of solar radiation. By floating in the atmosphere they can be advected through long distances. Southern Brazil may suffer influences of various types of aerosol particles, both transported from other regions or locally emitted, resulting in high optical thickness values of aerosols over this region that needs to be studied. Understanding how active weather systems in South America influence aerosol optical thickness (through transport and deposition of aerosols), it is essential to analyze its effects on the study area. Thus, the main objective of this work was to identify the active synoptic systems for cases with high occurrence of Aerosol Optical Thickness (AOT) values in Rio Grande do Sul state. The cases selected for analysis were separated by the 99 percentile (P99), indicating days with higher AOT values, indicating regions where this occurred within the southern region of Brazil for the period from 2002 to 2011. For the synoptic analysis, data with spatial resolution of 2.5 ° and time of daily averages were used, obtained from reanalysis 2 data from NCEP / NCAR (National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research). Composite fields were generated for the days with occurrence of high AOT values (t=0) in addition to the previous (t-1, t-2 and t-3) and subsequent days of this occurrence (t+1 and t+2) for August, September and October (where there were the most frequent days of these high AOT values) to analyze the possible occurrence of a pattern. The selected cases were also related to climatic events ENSO and ENSO Modoki. It was found that, for the selected sample, 84% of the cases occurred in ENSO period and 28% in ENSO Modoki. Furthermore, according to the composite fields examined, some systems showed persistence and the potential to alter AOT. The developed conceptual models highlighted the systems of the South Atlantic Subtropical High, the flow in the levels of 850hPa and 700hPa and the low and high surface pressure system.

Keywords: Compounds, ENSO, synoptic systems.

Lista de figuras

Figura 1	Esquema da distribuição de tamanho das partículas de aerossóis	24
Figura 2	Representação esquemática dos sistemas atmosféricos na baixa e alta troposfera atuantes na América do Sul.....	28
Figura 3	Ilustração esquemática do posicionamento da ZCIT em (a) anos secos (b) anos chuvosos no nordeste do Brasil. A circulação dos sistemas de alta pressão (A), de ambos os hemisférios, é indicada por setas.....	30
Figura 4	Ilustração esquemática do processo de formação de um VCAN clássico.....	31
Figura 5	Modelo conceitual do jato de baixos níveis ao leste dos Andes que transporta umidade da Amazônia e do oceano Atlântico Subtropical.....	34
Figura 6	Modelos de superfícies frontais, regiões de transição entre massas de ar diferentes.....	36
Figura 7	Número médio de passagens de frentes frias por mês no período de 1979 a 2005 para as áreas mostradas no mapa.....	37
Figura 8	Média de 1979-1995 do período de dezembro-fevereiro para o campo de vetor do vento em 925hPa e precipitação (em mm, sombreado verde) para um esquema ilustrativo do sistema de monções da América do Sul, onde a linha pontilhada preta dentro do polígono vermelho representa a ZCAS.....	39
Figura 9	Ciclo de vida dos ciclones extratropicais.....	40
Figura 10	Distribuição de padrões de pressão e ventos ao nível médio do mar em (a) janeiro e (b) julho. A letra H indica os Anticiclones semipermanentes.....	42

Figura 11	TSM medida por satélites para os eventos El Niño (a) e La Niña (b) dos anos (1982-1983 e 1997-1998).....	44
Figura 12	Composto da anomalia da TSM no verão para o El Niño (1982,1987 e 1997).....	45
Figura 13	Composto da anomalia da TSM no verão para o El Niño Modoki (1994, 2002 e 2004).....	46
Figura 14	América do Sul e em destaque região da área de estudo (Sul do Brasil e áreas adjacentes).....	48
Figura 15	Valor acumulado mensal dos casos selecionados com altos valores EOA para o período de 2002 - 2011.....	54
Figura 16	Total de focos de queimadas no período de 2002-2011 para os meses de agosto, setembro e outubro e para as regiões (sul, sudeste, centro-oeste, nordeste e norte) do Brasil.....	55
Figura 17	Campos compostos de pressão reduzida ao nível médio do mar para o mês de agosto para os tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).....	57
Figura 18	Campos de anomalia de pressão reduzida ao nível médio do mar dos compostos do mês de agosto para os tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).....	58
Figura 19	Campos compostos de linhas de corrente no nível de 925hPa para o mês de agosto nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).....	60
Figura 20	Campos compostos de linhas de corrente no nível de 850hPa para o mês de agosto nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).....	62
Figura 21	Campos compostos de linhas de corrente no nível de 700hPa para o mês de agosto nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).....	64
Figura 22	Campos compostos de linhas de corrente no nível de 500hPa para o mês de agosto nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).....	66
Figura 23	Campos compostos de linhas de corrente no nível de 200hPa para o mês de agosto nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).....	67

Figura 24	Campos compostos de pressão reduzida ao nível médio do mar para o mês de setembro nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).....	69
Figura 25	Campos de anomalia pressão reduzida ao nível médio do mar dos compostos do mês de setembro nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).....	70
Figura 26	Campos compostos de linhas de corrente no nível de 925hPa para o mês de setembro nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).....	72
Figura 27	Campos compostos de linhas de corrente no nível de 850hPa para o mês de setembro nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).....	73
Figura 28	Campos compostos de linhas de corrente no nível de 700hPa para o mês de setembro nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).....	75
Figura 29	Campos compostos de linhas de corrente no nível de 500hPa para o mês de setembro nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).....	76
Figura 30	Campos compostos de linhas de corrente no nível de 200hPa para o mês de setembro nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).....	78
Figura 31	Campos compostos de pressão reduzida ao nível médio do mar para o mês de outubro para os tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).....	80
Figura 32	Campos de anomalia de pressão reduzida ao nível médio do mar dos compostos do mês de outubro nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).....	81
Figura 33	Campos compostos de linhas de corrente no nível de 925hPa para o mês de outubro nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).....	83
Figura 34	Campos compostos de linhas de corrente no nível de 850hPa para o mês de outubro nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).....	84
Figura 35	Campos compostos de linhas de corrente no nível de 700hPa para o mês de outubro nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).....	86

Figura 36	Campos compostos de linhas de corrente no nível de 500hPa para o mês de outubro nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).....	87
Figura 37	Campos compostos de linhas de corrente no nível de 200hPa para o mês de outubro nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).....	89
Figura 38	Campos compostos de advecção umidade relativa do ar no nível de 925hPa para os casos de (a) agosto, (b) setembro e (c) outubro.....	91
Figura 39	Campos compostos de advecção de temperatura do ar no nível de 925hPa para os casos de (a) agosto, (b) setembro e (c) outubro.....	92
Figura 40	Campos compostos de ômega no nível de 925hPa no tempo t=0 para os casos de (a) agosto, (b) setembro e (c) outubro.....	93
Figura 41	Ocorrência de ENOS nos dias selecionados com elevada EOA no período de 2002 – 2011.....	95
Figura 42	Ocorrência de El Niño Modoki nos dias selecionados com elevada EOA no período de 2002 – 2011.....	97
Figura 43	Campo de pressão reduzida ao nível médio do mar do dia 23/08/2010.....	99
Figura 44	Campos de linhas de corrente para o dia 23/08/2010 nos níveis (925hPa, 850hPa, 700hPa, 500hPa, 200hPa) respectivamente (a, b, c, d, e).....	101
Figura 45	Campo de ômega para o dia 23/08/2010 no nível de 925hPa	102
Figura 46	Campos de advecção de temperatura do ar (a) e advecção de umidade relativa (b) para o dia 23/08/2010 no nível de 925hPa.....	103
Figura 47	Campo de pressão reduzida ao nível médio do mar do dia 21/09/2004.....	104
Figura 48	Campos de linhas de corrente para o dia 21/09/2004 nos níveis (925hPa, 850hPa, 700hPa, 500hPa, 200hPa) respectivamente (a, b, c, d, e).....	106

Figura 49	Campo de ômega para o dia 21/09/2004 no nível de 925hPa	107
Figura 50	Campos de advecção de temperatura do ar (a) e advecção de umidade relativa (b) para o dia 21/09/2004 no nível de 925hPa.....	108
Figura 51	Campo de pressão reduzida ao nível médio do mar do dia 04/10/2007.....	109
Figura 52	Campos de linhas de corrente para o dia 04/10/2007 nos níveis (925hPa, 850hPa, 700hPa, 500hPa, 200hPa) respectivamente (a, b, c, d, e).....	111
Figura 53	Campo de ômega para o dia 04/10/2007 no nível de 925hPa	112
Figura 54	Campos de advecção de temperatura do ar (a) e advecção de umidade relativa (b) para o dia 04/10/2007 no nível de 925hPa.....	113
Figura 55	Modelo conceitual para o caso do mês de agosto na baixa troposfera (a) e alta troposfera (b).....	114
Figura 56	Modelo conceitual para o caso do mês de setembro na baixa troposfera (a) e alta troposfera (b).....	115
Figura 57	Modelo conceitual para o caso do mês de outubro na baixa troposfera (a) e alta troposfera (b).....	116

Lista de tabelas

Tabela 1	Canais MODIS utilizados em análise da atmosfera (aerossóis)...	26
Tabela 2	Dias identificados com EOA elevada pelo P(99) para o período de 2002 – 2011.....	49
Tabela 3	Dias com espessura ótica elevada, associados ao ENOS no período de 2002 – 2011. El Niño (vermelho), La Niña (azul), Neutro (Preto).....	94
Tabela 4	Anomalia dos focos de queimadas nos meses de agosto, setembro e outubro para as regiões sul, centro-oeste e norte do Brasil para o ENOS no período de 2002 - 2011.....	96
Tabela 5	Dias com espessura ótica elevada, associados ao El Niño Modoki no período de 2002 – 2011. El Niño Modoki (vermelho), La Niña Modoki (azul), Neutro (Preto).....	97

Lista de abreviaturas e siglas

AB	Alta da Bolívia
AS	América do Sul
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
ASPS	Alta Subtropical do Pacífico Sul
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
EA	Expoente de Angstrom
ENOS	El Niño Oscilação Sul
EOA	Espessura Ótica dos Aerossóis
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IR	Infravermelho
JBN	Jato de Baixos Níveis
LI	Linha de Instabilidade
MODIS	MODerate-resolution Imaging Spectrometer
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration

ONI	Oceanic Niño Index
P(99)	Percentil 99
SCM	Sistema Convectivo de Mesoescala
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

Sumário

1 Introdução	19
2 Revisão de literatura.....	22
2.1 Aerossóis.....	22
2.1.1 Variabilidade espacial dos aerossóis.....	24
2.1.2 Sensor MODIS (<i>MODerate-resolution Imaging Spectrometer</i>).....	25
2.2 Sistemas sinóticos atuantes na América do Sul.....	26
2.2.1 Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).....	28
2.2.2 Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN).....	30
2.2.3 Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM).....	32
2.2.4 Jatos de Baixos Níveis (JBN).....	33
2.2.5 Alta da Bolívia (AB).....	35
2.2.6 Frentes Frias.....	36
2.2.7 Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).....	38
2.2.8 Ciclones extratropicais.....	39
2.2.9 Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).....	40
2.2.10 El Niño – Oscilação Sul (ENOS).....	42
2.2.11 El Niño Modoki.....	44
3 Metodologia.....	47
3.1 Região de estudo.....	47
3.2 Sensor MODIS.....	48
3.3 Análise sinótica e climática.....	50
3.4 Estudo de caso.....	52

3.5 Modelos conceituais.....	52
4 Resultados e Discussões.....	54
4.1 Análise do ENOS.....	94
4.2 Estudo de caso.....	98
4.2.1 Caso/dia 23/08/2010.....	98
4.2.2 Caso/dia 21/09/2004.....	103
4.2.3 Caso/dia 04/10/2007.....	108
4.3 Modelos conceituais.....	113
5 Conclusões.....	117
Referências.....	121

Introdução

Constituído por partículas sólidas e líquidas em suspensão na atmosfera, os aerossóis podem variar de alguns nanômetros a dezenas de micrômetros. São divididos em dois grupos de acordo com o seu tamanho, ou seja, a moda das partículas finas, com diâmetro menor do que $2,5\mu\text{m}$, e a moda das partículas grossas, com diâmetros maiores do que $2,5\mu\text{m}$. Flutuando pela atmosfera, os aerossóis podem alcançar desde a superfície até a estratosfera, onde são encontrados nos mais variados ecossistemas, como por exemplo, no ar sobre os oceanos, desertos, geleiras, florestas, montanhas etc. Sua origem pode ser tanto através de processos naturais (poeira do deserto, erupções vulcânicas etc.) ou antropogênicos, tais como oriundos de atividades humanas, industriais, processos de combustão etc (SEINFELD; PANDIS, 2006).

Os aerossóis afetam o balanço radiativo da Terra, através da dispersão e absorção da radiação solar (efeito direto) e também na formação de nuvens, atuando como núcleos de condensação – efeito indireto (ALMEIDA, 2009). Este efeito direto causado pelos aerossóis, semelhante ao processo de redução da visibilidade, tem por princípio o aumento da concentração de aerossóis na atmosfera, provocando um maior espalhamento e conseqüentemente maior radiação refletida pelo planeta, diminuindo assim a radiação solar que chega até a superfície da Terra.

A atenuação da radiação em um meio contendo material opticamente ativo caracteriza a espessura óptica, que indica a quantidade de material absorvedor e espalhador opticamente ativos encontrados no caminho atravessado pelo feixe de radiação que é adimensional. Por exemplo, dois pontos de diferentes altitudes

recebem radiação de formas distintas, onde interessa saber como a radiação solar é atenuada à medida que atravessa a atmosfera, sendo por definição a espessura óptica igual à zero no topo de atmosfera, aumentando até seu valor em determinada altitude (SEINFELD; PANDIS, 2006).

As partículas de aerossóis podem influenciar na química e na física da atmosfera em escala local, regional e global, pois podem ser advectadas por longas distâncias através de correntes de ar (FREITAS et al., 2005). Como exemplo, pode-se citar a época de queimadas na América do Sul (AS), que ocorre no período seco da região (agosto-novembro), principalmente nas regiões Central e Norte do Brasil, emitindo para a atmosfera uma grande quantidade de material particulado (ARTAXO et al., 2006). Partículas de aerossóis, em especial de queima de biomassa, podem ser transportadas para outras localidades, como o Sul da América do Sul (RECUERO, 2003; OLIVEIRA, 2013).

O clima subtropical e um regime de precipitação bem regular caracterizam o perfil da região Sul do Brasil, mais especificamente, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Os principais sistemas atuantes dessa região são: sistemas convectivos de mesoescala, frentes frias, vórtices ciclônicos, jatos de baixos níveis, zonas de convergência do atlântico sul e circulação marítima (GRIMM, 2009).

Os principais responsáveis pelo transporte de materiais particulados para regiões distintas, possivelmente podem ser os sistemas citados acima e ainda a circulação de grande escala. A advecção de queima de biomassa em algumas regiões da América do Sul ocorre devido a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), sistema de pressão Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e sistemas frontais, além da circulação de grande escala (RECUERO, 2003).

De acordo com Oliveira (2013), os altos valores de espessura óptica dos aerossóis (EOA) apresentaram um comportamento sazonal com maiores valores nas estações do inverno e primavera que coincidem com a época em que as queimadas estão mais ativas nas regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil, que possivelmente podem influenciar os índices de EOA.

Com base nos resultados de Oliveira (2013), fica evidente a importância de se estudar quais sistemas estavam atuantes durante a ocorrência desses altos valores de EOA, para poder identificar quais são os mais influentes e como

interferem neste transporte. Além disso, a ocorrência desses sistemas associados com altos valores de EOA merece ser confrontado com eventos climáticos, sendo selecionados para este trabalho o El Niño Oscilação Sul (ENOS) e o El Niño Modoki, pois, segundo Coelho e Ambrizzi (2000) e Grimm e Ferraz (1998), implicam no regime de precipitação da AS, podendo potencializar as condições para queimadas no caso de estiagens ou ainda favorecer a limpeza dos aerossóis da atmosfera através da precipitação.

Pelo exposto acima este trabalho tem o objetivo de identificar os sistemas sinóticos atuantes durante casos com ocorrência de altos valores de Espessura Ótica dos Aerossóis no Rio Grande do Sul.

Como objetivos específicos, este trabalho visa:

- Identificar os sistemas sinóticos que estavam atuando nos dias selecionados com valores de EOA elevada e dias anteriores ao evento;
- Identificar padrões atmosféricos que implicam no transporte de aerossóis de outras regiões para o Sul do Brasil;
- Elaborar modelos conceituais focando o acoplamento dos sistemas atuantes em casos de EOA elevada no Sul do Brasil;
- Analisar o comportamento da variação sazonal da EOA elevada, relacionando com os sistemas sinóticos atuantes com possíveis focos de queimadas e ainda com eventos climáticos.

Revisão de literatura

2.1 Aerossóis

Os aerossóis são definidos por Seinfeld e Pandis (2006) como sendo partículas líquidas ou sólidas em suspensão na atmosfera, podendo ser de origem natural ou antropogênica.

Os aerossóis de origem naturais podem ser sais marinhos, poeira do deserto, poeira de erupções vulcânicas etc., enquanto os aerossóis de origem antropogênicas podem ser de atividades industriais, processos de combustão, atividades agrícolas, etc (POWER, 2003).

A emissão dos aerossóis pode ser de maneira direta, na forma de partículas (aerossol primário), ou então, formados na atmosfera através de reações químicas ocorridas entre moléculas no processo de transformação gás-partícula (aerossol secundário), em geral seu tamanho gira em torno de 0,01 a 10 μm de diâmetro (SILVA, 2005).

Lane et al. (2007) afirmam que o aerossol é dividido em dois grupos, que faz referência ao tamanho das partículas. Partículas com diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 μm são agrupadas como partículas finas ($\text{PM}_{2,5}$), partículas com diâmetro aerodinâmico maior que 2,5 μm são agrupadas como partículas grossas (PM_{10}). Ainda segundo esses autores, as partículas finas são geralmente constituídas de nitrato, amônia, compostos de sulfato, matéria orgânica resultante da conversão gás-partícula após a oxidação, carbono elementar, entre outros compostos. As partículas grossas tem sua constituição principalmente composta por poeiras provenientes do solo, sal marinho e fragmentos biológicos (SEINFELD; PANDIS, 2006).

O ciclo de vida dos aerossóis é considerado curto, atrelando a essas partículas um conceito regional que também faz menção a variabilidade de suas propriedades, o que não limita a extensão dos seus impactos, como por exemplo, se tratando de balanço de radiação, seus efeitos podem ser tanto regionais quanto globais (KAUFMAN et al., 2002).

Segundo Almeida (2009), os aerossóis afetam o balanço radiativo da Terra, através da dispersão e absorção da radiação solar e também na formação de nuvens, atuando como núcleos de condensação.

A remoção dos aerossóis pode ocorrer na forma de deposição seca ou deposição úmida. A deposição seca ocorre por remoção de gases e partículas via transferência direta da atmosfera para a superfície enquanto a deposição úmida é resultante da remoção de gases e partículas transportadas para a superfície via chuva, neve ou neblina (KAUFMAN et al., 2002).

As propriedades físicas e químicas dos aerossóis são fortemente dependentes do tamanho das partículas, conseqüentemente torna-se necessário uma caracterização mais detalhada da distribuição de tamanho por meios estatísticos (HINDS, 1982).

De modo a relacionar o tamanho das partículas com o processo de formação, Whitby et al. (1973 apud SEINFELD; PANDIS, 2006), introduziram alguns termos na exploração do significado da distribuição em tamanho de origem. Os autores sugeriram dividir as partículas em três grupos distintos, sendo a moda das partículas finas, divididas em duas partes, onde partículas com diâmetro aerodinâmico entre (0,01 – 0,1 μm), são denominadas de moda de nucleação, partículas com diâmetro aerodinâmico entre (0,1 - 1 μm), conhecidas como moda de acumulação e partículas grossas com diâmetro aerodinâmico (> 1 μm) chamadas de moda de sedimentação.

Na figura 1 encontra-se uma representação geral das características atmosféricas das partículas de acordo com o seu tamanho além das diferentes modas em que são classificadas.

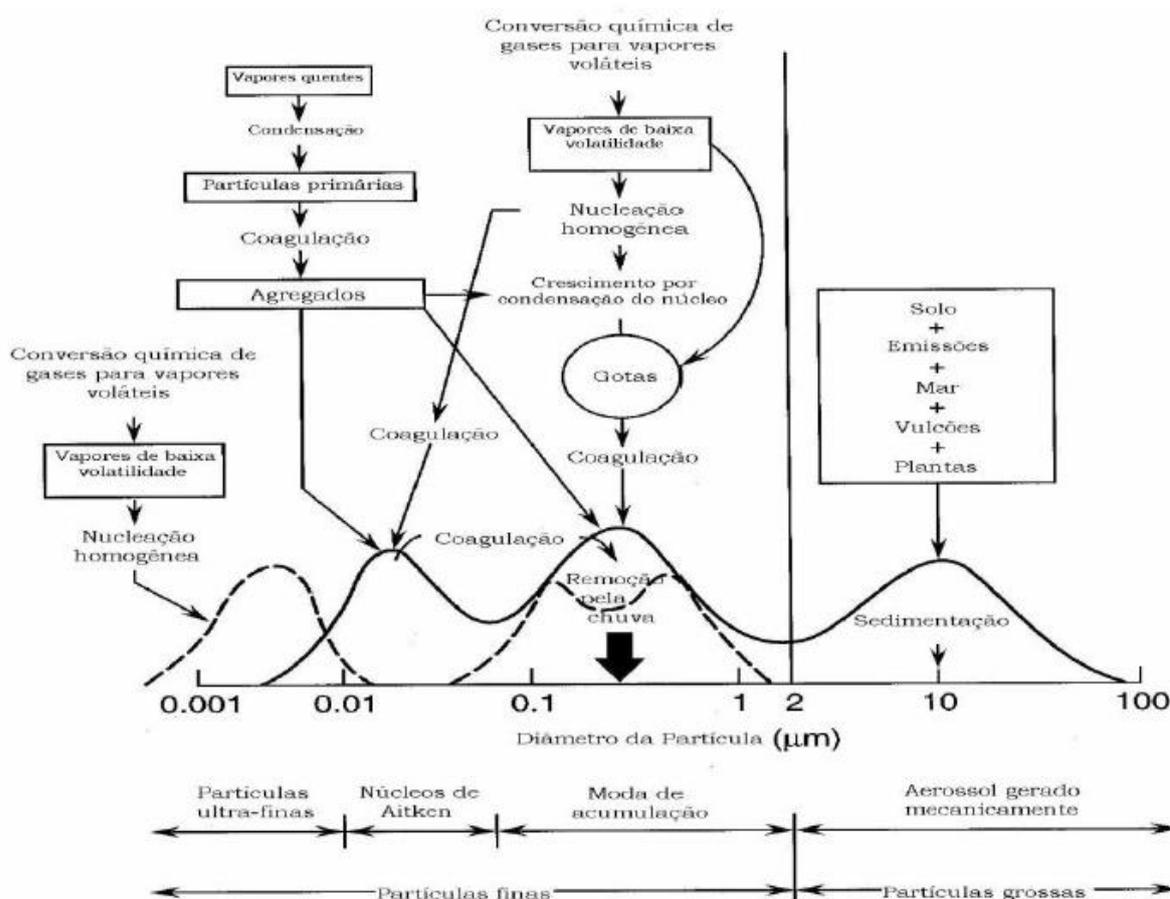


Figura 1 – Esquema da distribuição de tamanho das partículas de aerossóis.

Fonte: Adaptado de FINLAYSON-PITTS; PITTS, (1999).

2.1.1 Variabilidade espacial dos aerossóis

Processos convectivos colaboram para o transporte de materiais particulados da região próxima à superfície até a troposfera, dessa forma seu tempo de vida na atmosfera pode aumentar e a advecção ocorre de forma mais eficaz. Nesse nível as velocidades do vento são maiores do que em superfície, com poder para transportar materiais particulados para longas distâncias de sua origem, potencializando a escala de atuação de local para regional ou até mesmo global (FREITAS, 1999).

Através da análise do transporte de partículas de aerossóis de queimadas no período seco do ano de 2002, nas localidades de Ji-Paraná e Brasil Central, para algumas regiões da América do Sul, como por exemplo, Buenos Aires, Brasil

Central, Curitiba, Cuzco, Ji-Paraná, Porto Alegre, Quito, Rio de Janeiro e São Paulo, Recuero et al. (2004) constataram que além da circulação de grande escala, o transporte de partículas de queima de biomassa ocorre, devido a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), sistema de pressão Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e sistemas frontais.

Um estudo de caso feito para a região metropolitana de São Paulo, mostra que houve concentração de material particulado em superfície devido à passagem de uma pluma de aerossóis oriundos de queimadas da região Amazônica, onde também concluíram que a dinâmica da atmosfera afeta as concentrações em superfície e que o transporte de aerossóis pode ocorrer através de massas de ar (OLIVEIRA et al., 2006).

A presença de anticiclones foi observada durante a ocorrência de casos de EOA elevada relatados no trabalho de Oliveira (2013), onde direcionaram o vento da região norte para região sul de estudo, que possivelmente influenciou a espessura óptica do Sul do Brasil transportando estas partículas. Através da análise da EOA e do expoente de Angstrom (EA) a autora verificou que a região Sul do Brasil também é influenciada por aerossóis de queima de biomassa transportados e locais.

2.1.2 Sensor MODIS (*MODerate-resolution Imaging Spectrometer*)

Principal instrumento do EOS (*Earth Observing System*) o sensor MODIS (*MODerate-resolution Imaging Spectrometer*) apresenta melhorias, comparando com seus precursores, em relação ao sistema de imageamento e detectores. Através do sensor MODIS, com a vasta aplicação de seus dados, é possível monitorar alterações tanto na superfície quanto na atmosfera, colaborando para um melhor entendimento do planeta (RUDORFF et al., 2007).

Abordo dos satélites TERRA e AQUA e cobrindo a terra a cada 2 dias, o MODIS foi projetado para fornecer uma série de observações globais da superfície terrestre, oceano e atmosfera nas regiões do visível (VIS) e do infravermelho (IV) do espectro magnético. Possui uma alta sensibilidade radiométrica (12 bits) em 36 bandas espectrais contidas no intervalo de 0,4 a 14,4 μm do espectro eletromagnético. Duas bandas são adquiridas na resolução de 250 m, outras cinco

bandas na resolução de 500 m e as demais 29 bandas em 1 km. As 36 bandas espectrais do sensor MODIS estão localizadas em função de diferentes comprimentos de onda, escolhidos para a observação das propriedades das nuvens e sua dinâmica, da vegetação na cobertura terrestre e da temperatura da superfície dos oceanos no mundo. As características dessas bandas permitiram o desenvolvimento inicial de 44 produtos MODIS de várias áreas, como mostrado na (Tabela 1) (RUDORFF et al., 2007).

Tabela 1- Canais MODIS utilizados em análise da atmosfera (aerossóis).

Fonte: Adaptado de RUDORFF et al. (2007).

Canal	λ (μm)	MODIS
1	0,659	Aerossol e Espessura óptica de nuvens
2	0,865 - 0,876	Propriedades do aerossol
2, 17-19	0,890 - 0,915	Estimativa de água precipitável
1,2	0,620 - 0,841	Albedo e espalhamento simples
1-8	0,640 - 0,405	Espessura óptica
1-8	0,650 - 0,410	Distribuição de tamanho (sobre água)
1-8	0,670 - 0,420	Raio efetivo
3	0,479	Massa integrada
3	0,470	Coluna de aerossol: massa, espessura óptica (T_a)
4	0,555	T_a

2.2 Sistemas sinóticos atuantes na América do Sul

A não homogeneidade climática das regiões da América do Sul está diretamente relacionada às diferentes formas de relevo que seu território abrange (disposta em diferentes latitudes), estabelecendo a atuação e o desenvolvimento de diferentes sistemas atmosféricos (REBOITA et al., 2010).

Na América do Sul podemos contemplar uma diversidade de climas, como por exemplo, a faixa de latitude que abrange a Amazônia e a região Nordeste do Brasil, onde respectivamente estão apresentados o clima chuvoso e o semiárido, ou ainda a região Central, mais especificamente a região Central e Sudeste do Brasil,

onde existe a estação seca e a estação chuvosa. Estes exemplos e os outros climas existentes na AS podem ser entendidos através dos sistemas meteorológicos atuantes na região (CAVALCANTI et al., 2009).

Os principais sistemas atmosféricos atuantes na AS podem ser visualizados na figura 2, onde de maneira ilustrativa pode ser observada as suas posições na baixa e alta troposfera. Em relação à baixa troposfera tem-se: ANE - ventos alísios de nordeste, ASE - ventos alísios de sudeste, ASAS - alta subtropical do Atlântico Sul, ASPS - alta subtropical do Pacífico Sul, B - baixa pressão, BC - baixa do Chaco – região de baixas térmicas, BNE - região de baixas térmicas no noroeste argentino, CCM - complexo convectivo de mesoescala, FF - frente fria, FQ - frente quente, JBN - jato de baixos níveis a leste dos Andes, LI - linha de instabilidade tropical, LIP - linha de instabilidade pré-frontal, NV - nuvem vírgula, RC - regiões ciclogênicas, ZCAS - zona de convergência do Atlântico Sul e ZCIT - zona de convergência intertropical. Já em relação à alta troposfera tem-se: AB - alta da Bolívia, BL - região de bloqueios atmosféricos, CNE - cavado do nordeste do Brasil, JS - jato subtropical, JP - jato polar, VCANsub - vórtices ciclônicos de altos níveis subtropicais, VCANtrop - vórtices ciclônicos de altos níveis tropicais. É importante destacar que a AB e o CNE são sistemas que se configuram no verão e desaparecem no inverno.

Alguns sistemas atuantes na AS possivelmente implicam no transporte de partículas de aerossóis para outras regiões, como exemplo, cita-se o caso de transporte de partículas de aerossóis da região norte para a região sul da América do Sul, em outubro de 2002, durante a observação de um anticiclone centrado no oceano atlântico (FREITAS et al., 2006).

De acordo com as diversidades expostas por Cavalcanti et al.(2009) em relação ao clima e aos sistemas meteorológicos que interagem com a AS, ligando com o indicativo de Freitas et al.(2006) sobre o potencial dos sistemas sinóticos transportarem material particulado, é notória a questão dos principais sistemas da AS estarem associados ao transporte de material particulado de outras regiões para o Sul do Brasil.

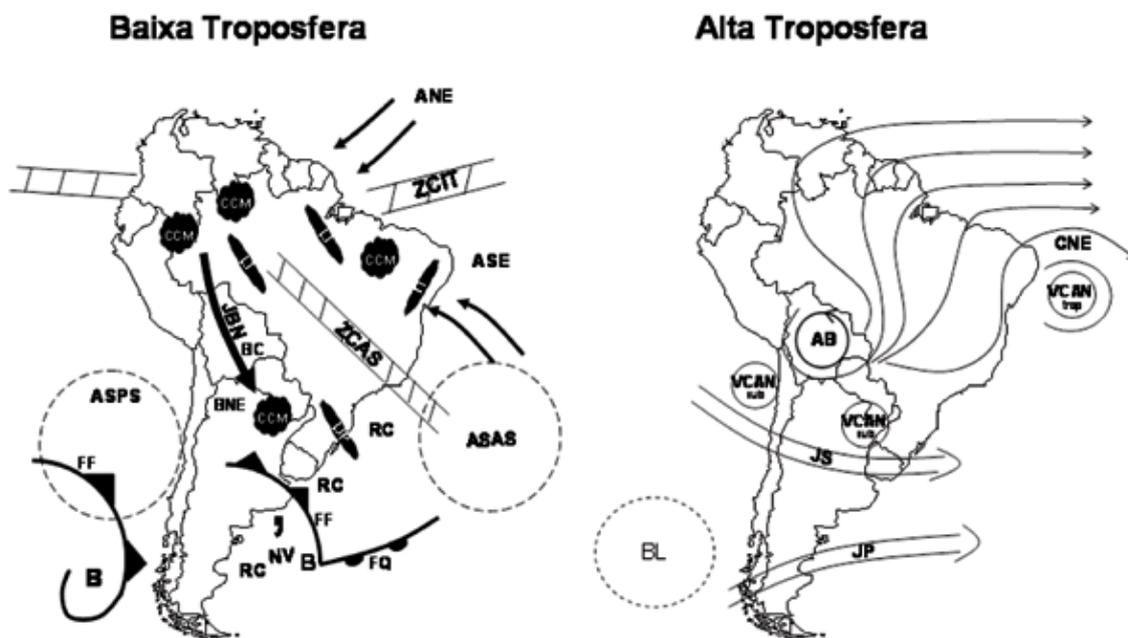


Figura 2 - Representação esquemática dos sistemas atmosféricos na baixa e alta troposfera atuantes na América do Sul.

Fonte: SATYAMURTY et al. (1998)

2.2.1 Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

Segundo alguns autores (HASTENRATH; HELLER, 1977; CITEAU, et al. 1988; UVO, 1998), a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) pode ser caracterizada como um conjunto de nuvens convectivas que se estende em uma faixa ao longo da região equatorial. A ZCIT é o sistema gerador de precipitação mais importante sobre a região dos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico e suas regiões continentais adjacentes. Também é constatada a influência da ZCIT nos anos chuvosos, assim como a sua posição é extremamente importante na definição da qualidade da quadra chuvosa no setor norte do Nordeste do Brasil (MELO et al., 2000).

Segundo Uvo (1989) a formação da ZCIT ocorre a partir da interação entre a confluência dos ventos alísios, a região do cavado equatorial, as áreas de máxima temperatura da superfície do mar (TSM) e de máxima convergência de massa.

De acordo com Hastenrath e Heller (1977), a posição da ZCIT possui deslocamento no sentido sul-norte anual, variando sazonalmente, de um momento

mais ao norte (aproximadamente 8°N) no período de agosto e setembro a um momento mais ao sul (aproximadamente 2°S) no período de março a abril.

A determinação e intensidade da estação chuvosa do norte da região Nordeste é bastante influenciada pela oscilação sazonal da ZCIT, associada aos fatores que intensificam ou enfraquecem os ventos alísios de nordeste (Hemisfério Norte) e sudeste (Hemisfério Sul). Em anos chuvosos, a ZCIT pode atingir até 5 °S, perto da costa nordestina e proporcionar elevados totais de precipitação naquela região do país (MELO et al., 2000).

Observando o comportamento da ZCIT sob a influência dos sistemas de alta pressão semiestacionários do oceano, a retração da Alta Subtropical do Atlântico Norte (ASAN) em direção as latitudes mais altas do Atlântico Norte e a expansão da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) em direção ao Equador estão relacionados com anos de seca no Nordeste do Brasil (Figura 3a). Em anos chuvosos, ou seja, o caso inverso, ocorre o deslocamento da ASAN em direção ao Equador e a retração da ASAS em direção às latitudes mais altas do Atlântico Sul (Figura 3b) (HASTENRATH; HELLER, 1977).

Segundo Silva et al. (2008), ao estudar a distribuição espaço temporal das queimadas para o período de 1992 a 2007, focando o bioma Cerrado, constituído basicamente pelo Planalto Central, verificou-se que, devido o deslocamento meridional da ZCIT, ocorreu pouca precipitação na região Centro-Leste do Maranhão, favorecendo as queimadas.

A queima de biomassa implica diretamente na espessura ótica dos aerossóis localmente e também em outras regiões distintas através de advecções, onde possivelmente pode atingir, inclusive, o Sul do Brasil (RECUERO, 2003).

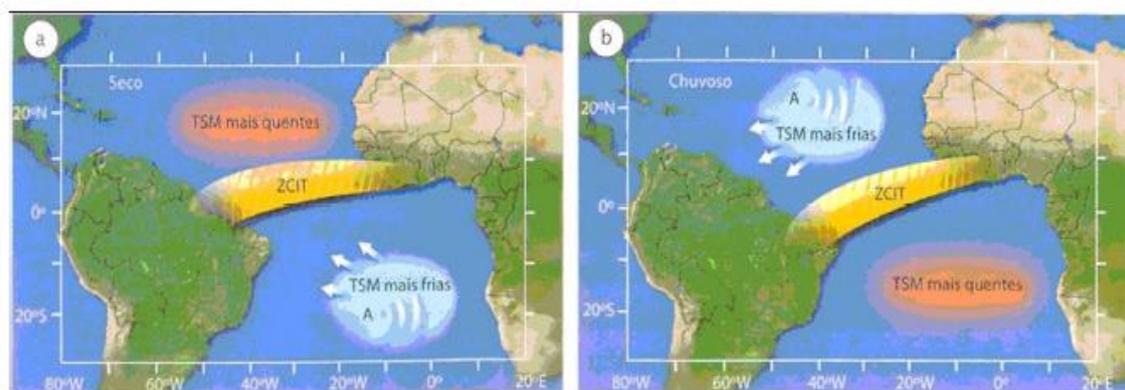


Figura 3 - Ilustração esquemática do posicionamento da ZCIT em (a) anos secos (b) anos chuvosas no nordeste do Brasil. A circulação dos sistemas de alta pressão (A), de ambos os hemisférios, é indicada por setas.

Fonte: Adaptado de NOBRE; MOLION (1988).

2.2.2 Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN)

Caracterizados por centros de pressão relativamente baixa, os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) são sistemas meteorológicos que se originam na alta troposfera e se estendem até os níveis médios, de acordo com a instabilidade atmosférica (FERREIRA et al., 2009).

Ainda, pode-se dizer que o sistema de baixa pressão ocluída na troposfera superior despreendido completamente do escoamento de oeste é denominado de VCAN ou baixa despreendida (SEVERO et al., 2010).

Caracteristicamente, os VCANs possuem movimentos verticais subsidentes no seu centro e ascendentes na sua periferia, centro relativamente frio e nebulosidade na direção de seu deslocamento com maior intensidade. São divididos em dois tipos o Palmén (originado em latitudes extratropicais) e o Palmer (originado nos trópicos) (FERREIRA et al., 2009).

Paixão e Gandu (2000) classificaram a formação dos VCANs do tipo Palmer em: Clássica, Alta e Africana I e II. Segundo estes autores, a formação Clássica está associada diretamente à intensificação da Alta da Bolívia e ao deslocamento de frentes frias para latitudes baixas, onde neste caso observa-se na baixa troposfera uma forte advecção de ar quente e úmido à medida que o sistema se desloca para latitudes subtropicais, como mostra a figura 4a, b, a interação da frente fria com o ar

quente e úmido provoca uma convecção profunda liberando calor latente para a atmosfera, com isso a temperatura da camada é elevada amplificando a crista e o cavado a leste da Alta da Bolívia, produzindo assim o vórtice nos altos níveis (Figura 4c).

A formação do tipo alta se dá através do fortalecimento da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), por conseguinte causa a formação da Alta do Atlântico Sul de Ar Superior, ocasionando a formação de um cavado a norte/noroeste deste anticiclone. Já o tipo Africana I, forma-se com o estabelecimento de uma fonte de calor provinda da África que produz um par de anticiclones em altos níveis, onde aparentemente acarretam um aprofundamento do cavado a oeste dos mesmos. Similarmente a formação Africana tipo I, a Africana tipo II ainda está associada ao desacoplamento em altos níveis de um cavado vindo da região Sudoeste do Saara (PAIXÃO; GANDU, 2000).

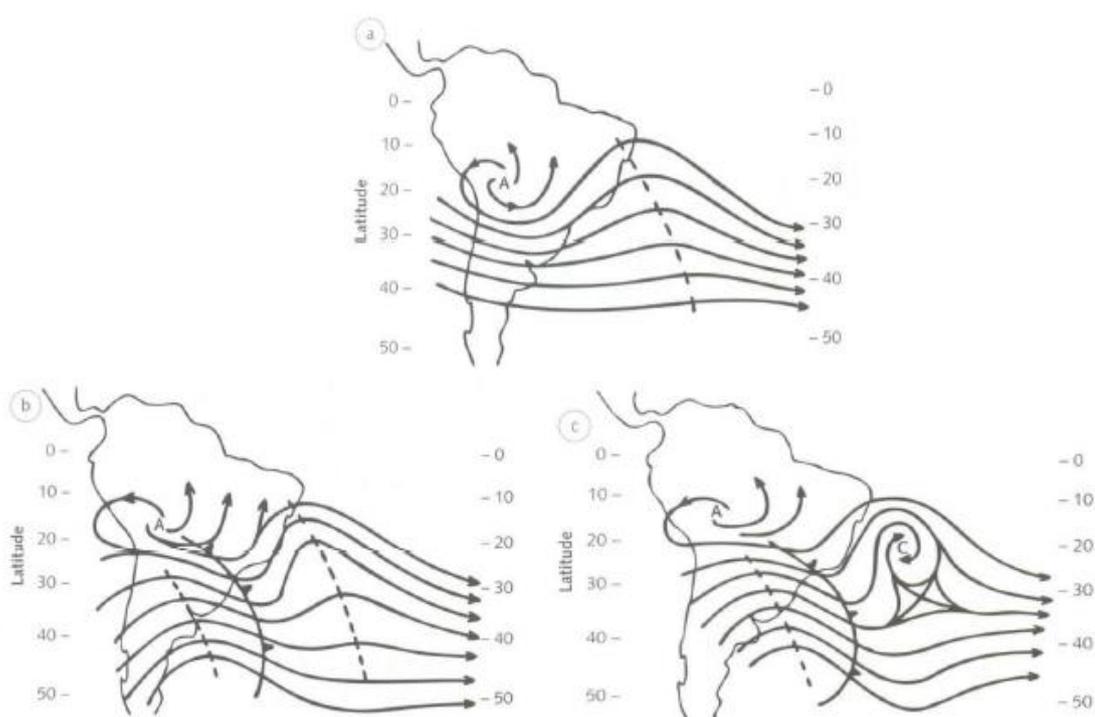


Figura 4 - Ilustração esquemática do processo de formação de um VCAN clássico.

Fonte: GAN (1982).

Formando-se em qualquer época do ano, inclusive no inverno, os VCAN do tipo Palmén formam-se devido à pré-existência de um cavado frio em altos níveis de

latitudes médias, que ao penetrar nos subtropicais pode ter uma inclinação meridional bem acentuada, onde faz com que a parte do cavado, em baixas latitudes, tenha uma velocidade zonal inferior ao resto do cavado retardando-se até desprender-se completamente (LOURENÇO et al., 1996).

2.2.3 Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM)

Dentre os vários sistemas meteorológicos que afetam a região Sul do Brasil, implicando no seu regime de chuva, os SCM merecem um destaque, pois geralmente, eventos como precipitações intensas, fortes rajadas de ventos e granizo, estão associadas à ocorrência de SCM (EICHHOLZ, 2011).

Os SCM foram definidos por Houze (1993) como sendo um aglomerado de nuvens convectivas com área de constante precipitação, com ciclo de vida dividido em quatro etapas. Ainda segundo o autor, a cronologia dos SCM, parte da formação do sistema, que se apresenta como um grupo de células isoladas, dispostas ora espalhadas ora alinhadas, passando para o estágio de desenvolvimento, onde as células isoladas se unem causando regiões de intensa precipitação interligada por regiões de menor precipitação. Em seguida, ao atingir seu máximo desenvolvimento, observa-se sobre uma grande região de precipitação estratiforme na retaguarda do SCM, mantida enquanto há formação de novas células na parte dianteira do sistema, e por fim a fase de dissipação, quando o sistema deixa de formar novas células, pois não tem mais como se sustentar.

Os SCM possuem formas variadas de acordo com suas características físicas, quando observados a partir de imagens de satélites, como, por exemplo, circular, linear ou indefinida. Os que apresentam um formato circular podem ser classificados como Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) dependendo ainda de outras características (altura do topo das nuvens, formato simétrico, duração do sistema, etc.), os que apresentam forma de linha, são classificados como Linhas de Instabilidade (LI) e os de formato irregular simplesmente SCM (PINTO, 2006; EICHHOLZ, 2011). Entretanto, somente o formato não é suficiente para a identificação dos SCM, por exemplo, no caso dos CCM além de possuírem

um formato aproximadamente circular devem ter um ciclo de vida mínimo de 6 horas e ainda uma área em torno de 100.000 Km² (MADDOX, 1980).

A convecção, instigada por algumas forçantes, dá início a formação dos SCM. A convecção por sua vez normalmente é iniciada pela convergência de ar quente e úmido nos níveis mais baixos da atmosfera. Analisando os aspectos que podem colaborar para a formação desta convergência podemos citar a circulação vale e montanha, a circulação mar e terra, os jatos de baixos níveis (JBN), além de outros. Maddox (1983) verificou que a condição ideal para o nascimento e desenvolvimento de um SCM, é uma convergência na média troposfera, aparentemente forçada por um JBN e uma advecção quente e úmida.

Através do estudo de SCMs na região Sudeste da América do Sul e sua interação com JBN, Salio et al. (2007) concluíram que os SCM subtropicais são maiores e duram mais do que os SCM tropicais, pois são abastecidos por calor e umidade pelos JBN, em quanto que os SCM tropicais são alimentados por calor e umidade oriundos do aquecimento diurno, além de possuir uma forte variabilidade sazonal devido ao deslocamento da ZCIT em comparação com SCM subtropicais que possuem menor variação sazonal.

De acordo com os autores acima citados, o tempo de vida dos SCM está diretamente relacionado com o seu tamanho além de existir uma relação entre o ciclo de vida dos SCM subtropicais e os JBN.

Segundo Machado et al. (1998) a trajetória de deslocamento dos SCM durante todas as estações é preferencialmente para leste nos subtrópicos.

2.2.4 Jatos de Baixos Níveis (JBN)

Os JBN são fortes fluxos meridionais que atingem velocidade máxima em torno de 2000m observados ao longo de cadeias montanhosas na baixa troposfera (MARENGO et al., 2009).

Segundo Salio et al. (2007) os JBN da AS proporcionam condições ideais para a convecção inicial e desenvolvimento de SCM, através da advecção de calor e umidade das regiões da bacia Amazônica para as regiões Sul e Sudeste da AS, analogamente com as grandes planícies dos Estados Unidos da América (EUA),

onde o JBN é característica recorrente do ambiente do estágio de formação e de maturação dos SCM.

Para a identificação dos JBN algumas condições devem ser cumpridas. O critério 1 de Bonner (1968), especifica que para ser considerado um JBN, a magnitude do vento no nível de 850hPa deve ser maior ou igual a 12 m/s, entre os níveis de 850 e 700hPa; o cisalhamento vertical do vento deve ser pelo menos de 6 m/s e a componente meridional do vento deve ser negativa e maior em módulo do que a componente zonal.

Um modelo conceitual de JBN na América do Sul, como um componente do sistema de monção, é apresentado na figura 5, que mostra o transporte de umidade da Amazônia e do Atlântico Sul para a região da bacia do Prata, provocando atividade convectiva nesta área (MARENGO et al., 2004).

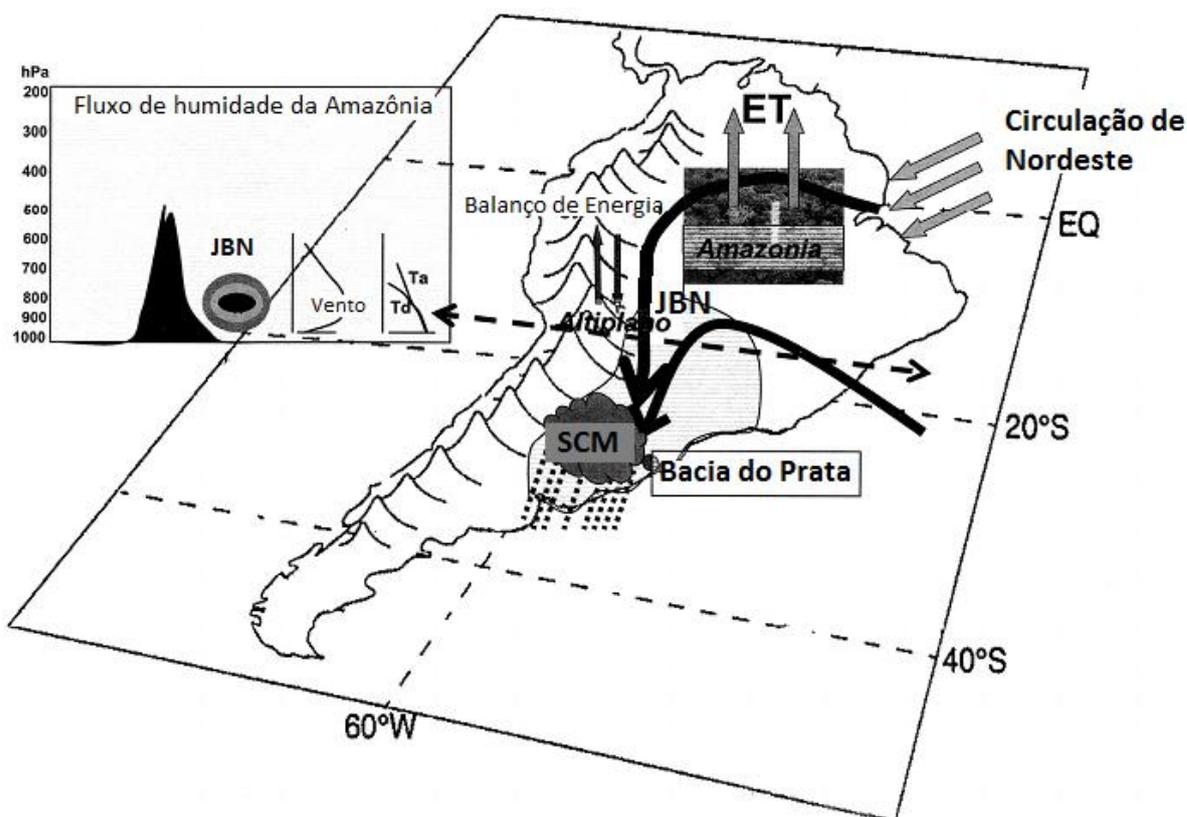


Figura 5 - Modelo conceitual do jato de baixos níveis ao leste dos Andes que transporta umidade da Amazônia e do oceano Atlântico Subtropical.

Fonte: Adaptado de MARENGO et al. (2004).

A ação do JBN com respeito ao transporte de poluente foi estudada por Karam (2002), através de um modelo Lagrangiano de dispersão de partículas, que avaliou uma fonte pontual localizada em superfície de um poluente inerte, onde verificou que o JBN potencializa a dispersão horizontal de partículas transportando o poluente atmosférico emitido na superfície até 250 km da fonte.

2.2.5 Alta da Bolívia (AB)

Jones e Horel (1990) afirmaram que, devido à intensa atividade convectiva no período de verão no hemisfério sul ocorre precipitações vigorosas sobre esta área, onde associado a esta região de precipitação e nuvens cumulus existe uma circulação anticiclônica nos altos níveis da troposfera. Esta circulação, centrada na região boliviana, é denominada de Alta da Bolívia (VIRJI, 1981).

Lenters e Cook (1999), através do modelo de circulação global atmosférico, analisaram as características da circulação troposférica sobre a América do Sul. Os autores identificaram que a intensidade e a posição da Alta da Bolívia estão diretamente associadas com a variabilidade da precipitação no verão sobre o Altiplano Boliviano, pois se refletem como uma resposta do calor latente oriundo da Convecção da Amazônia, Andes Central e ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul).

De acordo com Lenters e Cook (1997), os Andes, atuando como efeito da topografia, não exerce o papel principal na variabilidade da precipitação. Analisando a manutenção da circulação de verão na alta troposfera tropical da AS, Chen et al. (1999) concluíram que a fonte de calor da região auxiliado por fontes remotas de calor na África é que mantém o sistema AB/VCAN.

Através de análises dos aspectos dinâmicos da circulação da AB, Virgi (1981), como um dos primeiros a explorar o assunto, mostrou que esta circulação é mais tênue nos meses de abril a maio e vai se intensificando até atingir a sua intensidade máxima nos meses de dezembro a fevereiro. De maneira generalizada, o escoamento de baixos níveis e o aquecimento continental, estão ligados a conservação da AB.

2.2.6 Frentes Frias

Entre duas massas de ar vizinhas, de densidades e temperaturas diferentes, existe uma camada de transição, onde a mistura de ar entre as duas massas é percebida, como se observa na figura 6, esta camada denomina-se superfície frontal. A faixa chamada de frente é a intersecção de qualquer outra superfície de referência com a superfície frontal (VAREJÃO, 2006).

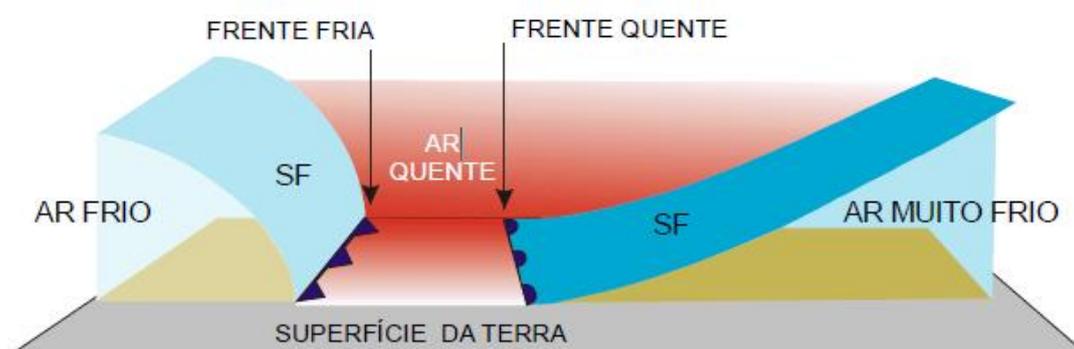


Figura 6- Modelos de superfícies frontais, regiões de transição entre massas de ar diferentes.

Fonte: VAREJÃO (2006).

Lemos e Calbete (1996) verificaram que, a incidência de frentes no continente sul Americano é comum em todas as estações do ano, com um padrão sazonal de incidência no continente. Os autores ainda observaram uma variação também sazonal, relacionada à atividade convectiva atrelada as frentes.

Segundo Cavalcanti e Kousky (2003), as frentes frias no Brasil atuam durante todo o ano, variando sazonalmente com um máximo no inverno e início da primavera e um mínimo no verão. Isso pode ser observado pela figura 7 que utiliza quatro pontos de referência para identificar passagens de frentes pelo Brasil, identificadas na figura 7 como: (a) Oeste da Amazônia, (b) Nordeste do Brasil, (c) Sudeste do Brasil e (d) Sul do Brasil.

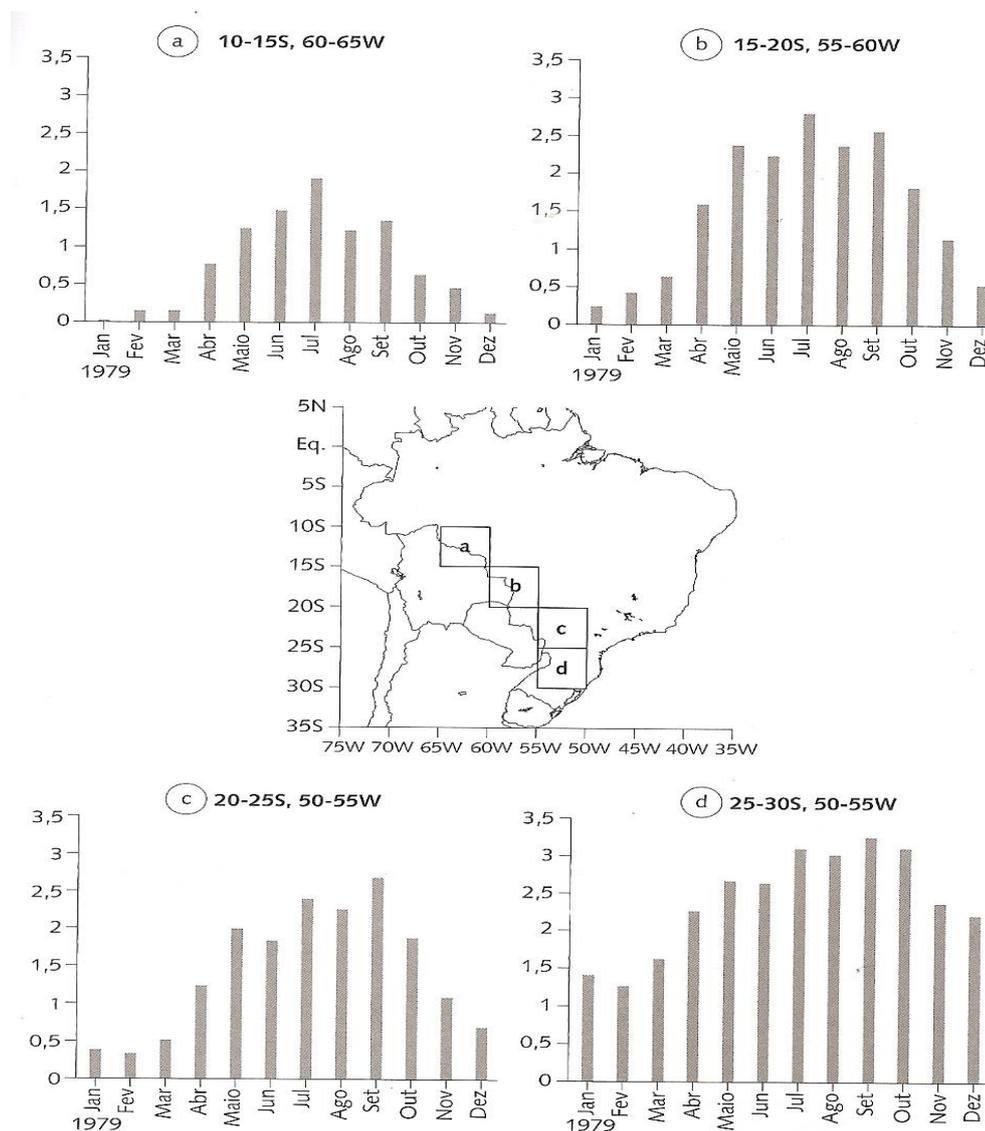


Figura 7 – Número médio de passagens de frentes frias por mês no período de 1979 a 2005 para as áreas mostradas no mapa.

Fonte: CAVALCANTI; KOUSKY (2009).

Sistemas frontais atuantes no Sul da América do Sul, ao atingirem as regiões sul e sudeste, tem seu deslocamento desviado para o oceano na estação do verão, pois é nesta época que os sistemas frontais em sua grande maioria, não conseguem alcançar latitudes mais baixas, deixando sua ação restrita somente as regiões sul e sudeste. No entanto, no inverno é quando se tem um maior número de sistemas frontais que conseguem atingir as regiões sudeste, centro-oeste e sul da Bahia (ANDRADE; CAVALCANTI, 2004).

De acordo com Peres et al. (2011), uma frente fria de fraca intensidade sobre o Sul do Brasil, a atuação de um gradiente de pressão em superfície e o escoamento persistente de norte, colaboraram para elevados valores de EOA em São Martinho da Serra - RS. Os sistemas atuaram favorecendo o escoamento do ar da região Centro-Oeste do Brasil, Paraguai e norte da Argentina, onde ocorreu queima de biomassa, para a região Sul do Brasil.

2.2.7 Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)

O destaque para uma persistente banda de nebulosidade com orientação noroeste-sudeste sobre a América do Sul foi dado na década de 70 por alguns autores, entre eles Streten (1973) e Yasunari (1977). Esta banda de nebulosidade é atualmente chamada de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Através de Kodama (1992), algumas características dinâmicas e termodinâmicas das ZCAS foram diagnosticadas, dentre as quais podem ser citadas: o transporte de umidade em baixos níveis, a manutenção da convecção pela convergência de umidade na baixa e média troposfera e o alto contraste de umidade.

Em prol de explicar a característica espacial da ZCAS bem como a sua localização, Figueiroa et. al. (1995) mostraram através de modelagem numérica que, o indispensável para a formação da ZCAS é o forte aquecimento sobre a bacia Amazônica e não a presença dos Andes, no entanto, perceberam que a posição da ZCAS é totalmente dependente da presença dos Andes e que muda drasticamente em simulações que descartam a presença andina.

A atividade convectiva da ZCAS pode se estender da Amazônia até o oceano Atlântico Subtropical, no entanto, em outras circunstâncias, a ZCAS tem sua extensão somente até a região Sudeste do Brasil, como seguidamente é observado em imagens de satélite (CARVALHO; JONES, 2009).

Um exemplo da disposição espacial da ZCAS pode ser visualizado na (Figura 8).

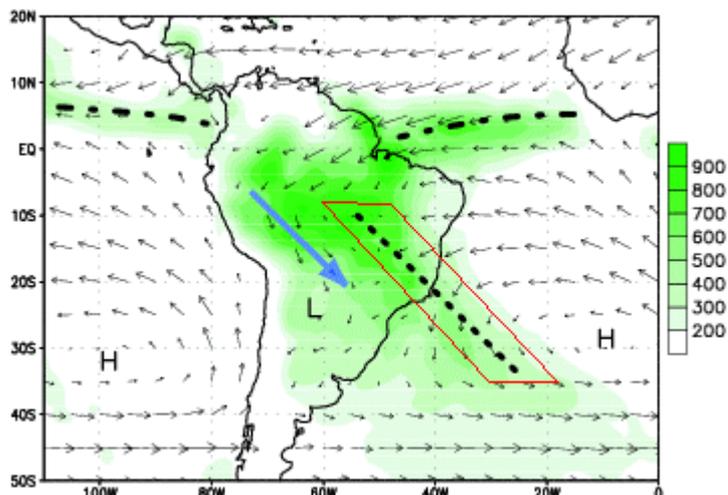


Figura 8 – Média de 1979-1995 do período de dezembro-fevereiro para o campo de vetor do vento em 925hPa e precipitação (em mm, sombreado verde) para um esquema ilustrativo do sistema de monções da América do Sul, onde a linha pontilhada preta dentro do polígono vermelho representa a ZCAS.

Fonte: NOGUÉS-PAEGLE (2002).

Segundo Nogués-Paegle et al. (2002), a precipitação na parte oeste da região sul dos Andes e na parte leste da região central dos Andes, tem o seu máximo influenciado pela topografia, esta que ainda implica no reposicionamento e intensificação do máximo de precipitação na Amazônia e a fortalecer a ZCAS.

2.2.8 Ciclones extratropicais

Os ciclones extratropicais são formados em uma zona de intersecção que separa uma massa de ar polar mais densa de uma massa de ar tropical menos densa, esta zona de intersecção se trata de uma linha de descontinuidade, mais conhecida como frente polar (BJERKNES; SOLBERG, 1922).

Ainda, de acordo com os autores acima citados, os ciclones apresentam um ciclo de vida bem definido, com o seu princípio através de uma onda de pequena amplitude sobre a frente polar semiestacionária. Esta perturbação reage até atingir o estágio maduro e tem sua decadência quando a frente fria se sobrepõe à frente quente, fase a qual, é chamada de oclusão. Este ciclo pode ser observado na (Figura 9).

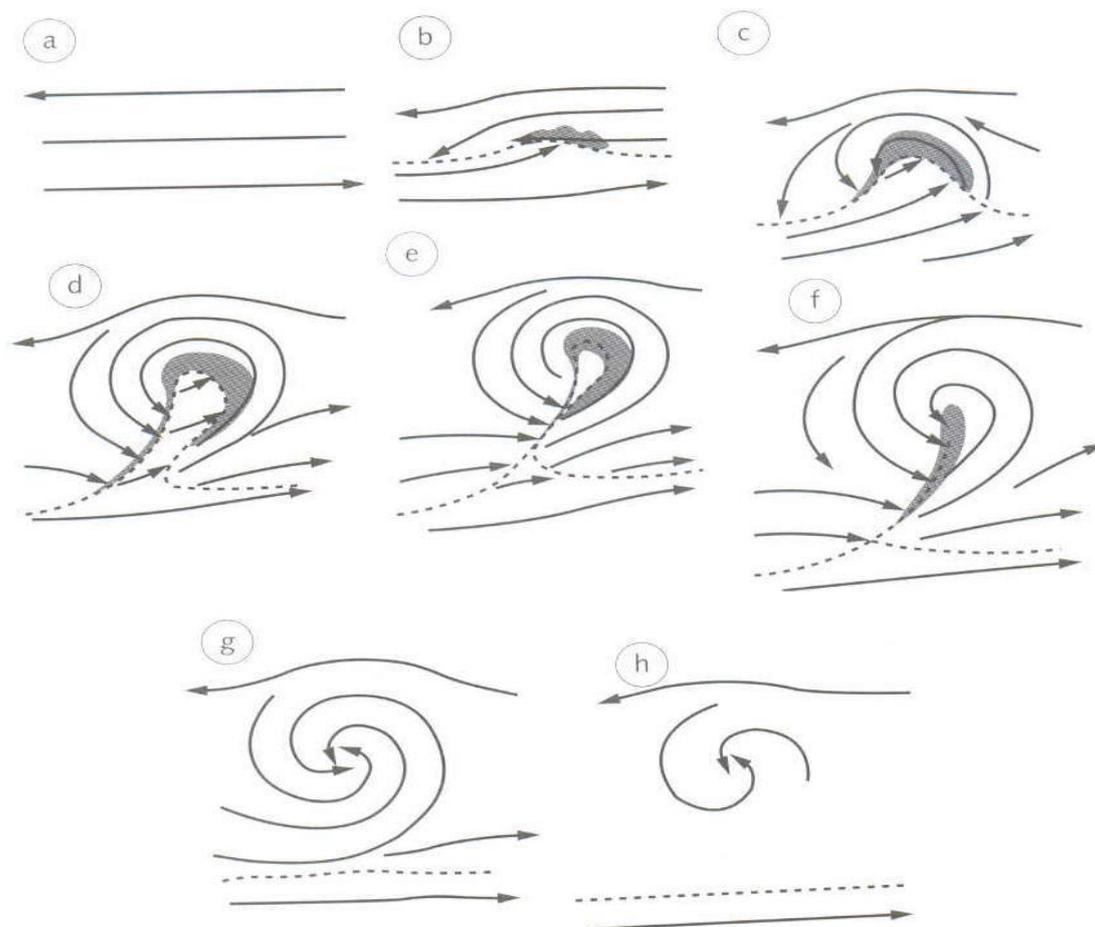


Figura 9 - Ciclo de vida dos ciclones extratropicais de (a) até (h).

Fonte: BJERKNES; SOLBERG (1922).

2.2.9 Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS)

Sistemas de alta pressão sobre os principais oceanos do planeta, localizados com latitudes em torno de 30° , são chamados de Altas Subtropicais. Estes sistemas surgem devido às células de Hadley e estão associados à circulação média meridional da atmosfera. Sobre o Oceano Atlântico Sul esta circulação de alta pressão semipermanente é conhecida por Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) (BASTOS; FERREIRA, 2000).

A ASAS é caracterizada por altas temperaturas e elevada umidade específica sobre o oceano, devido a sua associação com a Massa Tropical Atlântica e a intensa radiação tropical solar (NIMER, 1979).

Segundo Bastos e Ferreira (2000) a ASAS influencia o clima no Brasil tanto no inverno quanto no verão, tornando-se importantíssima para composição do clima da América do Sul. Na estação do verão, ao passo que os ventos agregados a ASAS aproximam-se do continente, perdem intensidade com exceção do quadrante Atlântico sudeste. Estes fatores propiciam para que a advecção de umidade do Oceano Atlântico Equatorial para o ramo oceânico da ZCAS seja favorecida, através dos ventos de nordeste em direção à região litorânea sudeste, mas em contrapartida, o transporte de vapor de água na costa do nordeste é diminuído.

Ainda de acordo com os autores acima citados, no período do inverno a ASAS tende a se deslocar para o continente devido a ele estar com uma temperatura menor do que o oceano, nesta situação o vento encontra-se consideravelmente mais fraco na região sul/sudeste. Desta forma o ambiente fica propício a formação de nevoeiros de radiação, geadas, inversões térmicas, concentração de poluentes nos centros urbanos além de inibir a entrada de frentes, afetando principalmente as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil.

A figura 10 ilustra a ASAS nas estações do verão (a) e do inverno (b) além dos outros sistemas semipermanentes que compõem a figura.

A ASAS afeta o clima da América do Sul tropical principalmente devido ao seu deslocamento longitudinal (MOLION et al., 2004). Conforme Machel et al. (1998) a ASAS possui variação leste oeste (longitudinal) ao longo do ano, com variação periódica de seis meses, sendo a ocorrência de sua posição mais a oeste nos meses de julho/agosto e de janeiro a março e sua posição mais a leste nos meses de outubro e abril.

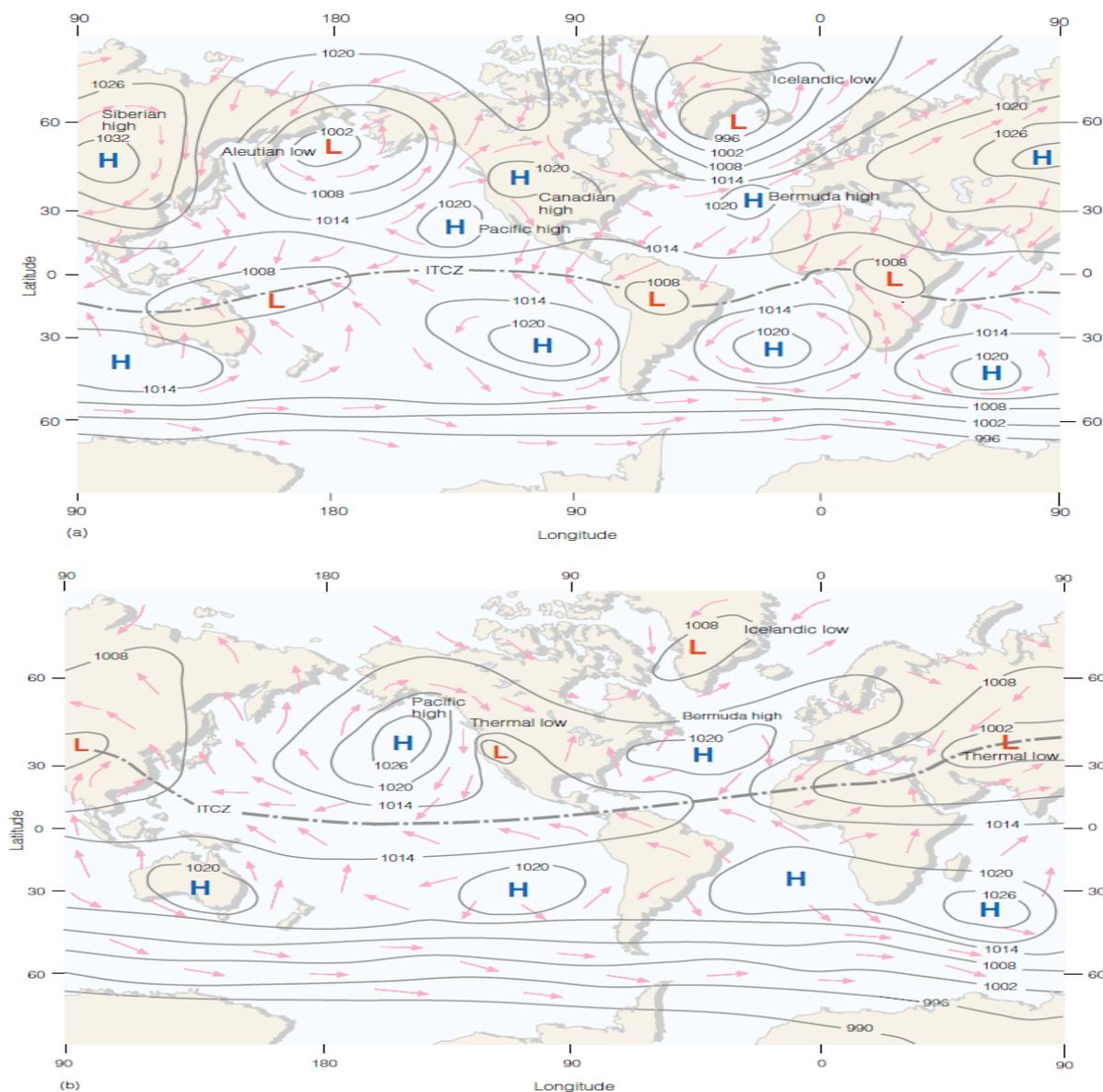


Figura 10 - Distribuição de padrões de pressão e ventos ao nível médio do mar em (a) janeiro e (b) julho. A letra H (L) indica os Anticiclones (Ciclones) típicos.

Fonte: AHRENS, (2000).

2.2.10 El Niño - Oscilação Sul (ENOS)

Ocorrendo no Oceano Pacífico Tropical e caracterizado como um fenômeno de grande escala, o El Niño Oscilação Sul (ENOS) faz referência à interação oceano-atmosfera através de dois mecanismos, a componente oceânica representada pelo El Niño e a componente atmosférica representada pela Oscilação Sul (BERLATO; FONTANA, 2003).

De acordo com Grimm e Sant'anna (2000), o aquecimento anômalo das águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical, como mostra a figura 11a, caracteriza a ocorrência do fenômeno El Niño, que por sua vez atua em fases onde a Oscilação Sul é negativa. O contrario deste sistema, ou seja, o esfriamento anômalo das águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical e a atuação da Oscilação Sul positiva, é chamado de La Niña e pode ser visto na (Figura 11b).

No Brasil o fenômeno El Niño atinge principalmente as regiões sul, sudeste e nordeste, provocando consequências diversas. Como exemplo, na região sul ocorre intensificação do Jato Subtropical, aumento das chuvas durante os meses de dezembro, janeiro e fevereiro e invernos mais quentes (KOUSKY; CAVALCANTI, 1984; MOLION, 1989).

Os eventos La Niña implicam na precipitação do extremo Sul e extremo Norte do Brasil, segundo estudos globais (ROPELEWSKI; HALPERT, 1989; KILADIZ; DIAS, 1989 apud GRIMM; FERRAZ, 1998). Estas anomalias de precipitação associadas possuem períodos desiguais de máxima anomalia e sinais opostos entre estas duas regiões. Não há coerência em grandes áreas da região sudeste sobre os efeitos dos eventos El Niño e La Niña, sendo maior a variabilidade espacial para La Niña (GRIMM; FERRAZ, 1998).

Coelho e Ambrizzi (2000) sugerem que, tanto para eventos de El Niño, quanto para La Niña, a TSM da bacia do Pacífico Equatorial obteve uma associação mais significativa com a precipitação sobre a AS, destacando o período dezembro-maio para a combinação. As regiões que reagiram em relação ao evento El Niño foram: grande parte da região Nordeste do Brasil, extremo oeste da região norte e norte/nordeste da Bolívia, marcadas por anomalias negativas de precipitação; e Norte do Peru, Centro-Sul do Brasil, Paraguai e Norte da Argentina, marcadas por anomalias positivas, já para o evento La Niña as regiões mais sensíveis foram: Peru, Colômbia, Norte da Bolívia, Paraguai, sudoeste da região Sudeste do Brasil e algumas faixas do litoral da região nordeste, tais como o Sul da Bahia extremo Oeste do Ceará, Piauí, além de todo o Maranhão, marcadas por anomalias positivas de precipitação; e Noroeste da Argentina, extremos leste e oeste da região Norte do Brasil, assim como na região do semi-árido nordestino e litoral de Sergipe, Alagoas,

Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, marcadas por anomalias negativas de precipitação.

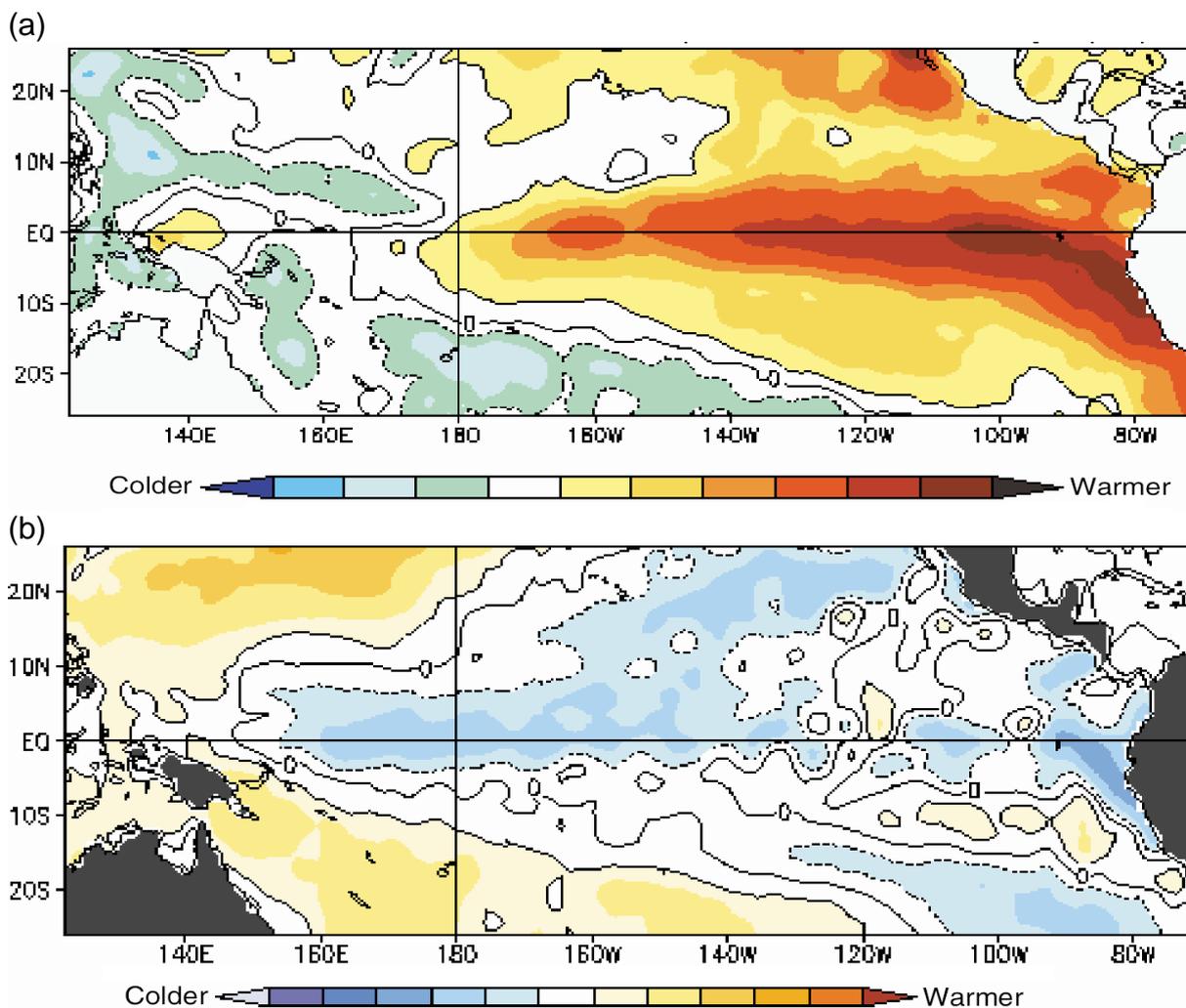


Figura 11 – TSM medida por satélites para os eventos El Niño (a) e La Niña (b) dos anos (1982-1983 e 1997-1998).

Fonte: AHRENS, (2000).

2.2.11 El Niño Modoki

Caracterizado por apresentar aspectos diferentes do conhecido El Niño, o El Niño Modoki se define por exprimir na região Central do Oceano Pacífico anomalias positivas da TSM (WENG et al., 2007). Os autores ainda sugerem que o El Niño e o

El Niño Modoki (palavra japonesa que significa similar, mas diferente) são dois fenômenos diferentes no espaço e no tempo.

O El Niño tradicional, representado na figura 12, apresenta anomalias positivas de TSM no leste do Oceano Pacífico na região da costa Peruana, similarmemente o El Niño Modoki apresenta anomalias positivas da TSM na região central do Oceano Pacífico acompanhadas por anomalias negativas da TSM no Pacífico leste e oeste como pode ser visto na figura 13. Além disso, causa efeitos contrários em relação aos regimes de chuva em comparação com o El Niño, acarretando em chuvas acima da média climatológica na região do Nordeste e estiagem nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (ASHOK et al., 2007).

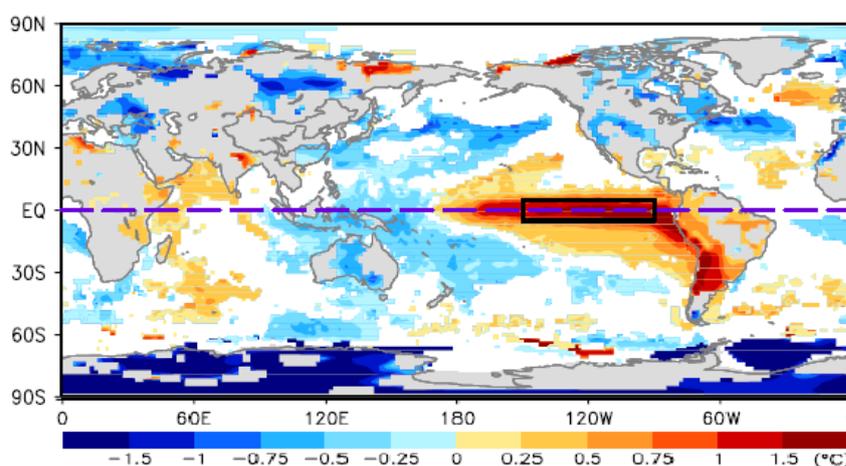


Figura 12 - Composto da anomalia da TSM no verão para o El Niño (1982,1987 e 1997).

Fonte: WENG et al., (2007).

Em contrapartida, algumas regiões da AS são igualmente afetadas independentemente do ENOS que estiver ocorrendo, como por exemplo, a região Norte da Amazônia. Nas estações de verão e outono, na atuação de El Niño, quando ocorrem anomalias intensas de precipitação nas regiões Norte/Nordeste e Sul do Brasil, podemos observar as maiores diferenças entre estes dois casos de El Niño (Canônico e Modoki), pois no caso de Modoki a ocorrência é bem distinta deste padrão (TEDESHI; CAVALCANTI, 2010).

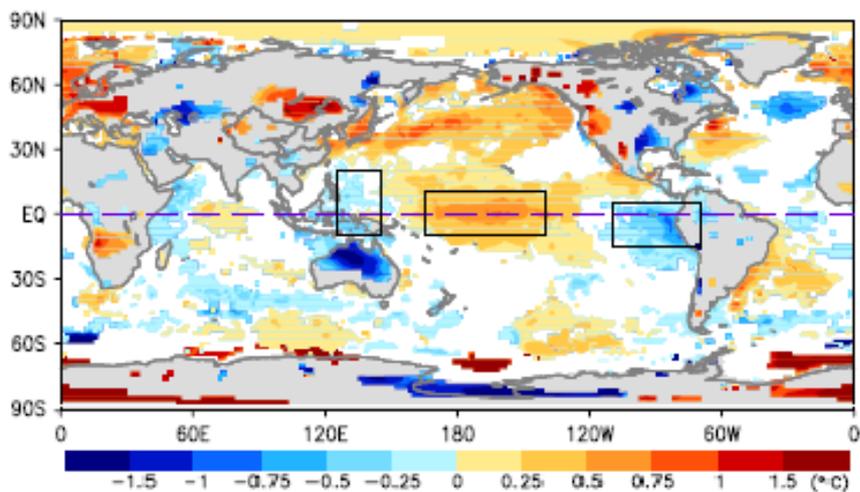


Figura 13 – Composto da anomalia da TSM no verão para o El Niño Modoki (1994, 2002 e 2004).

Fonte: WENG et al., (2007).

Metodologia

3.1 Região de estudo

Englobando os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, como visto na figura 14, a região Sul do Brasil é composta por uma população estimada de 28.795.762 habitantes e por uma área de aproximadamente 576.774,31 Km², localizada entre 34° e 22°S e 59° e 47°W (IBGE, 2013).

A região é delimitada a leste pelo oceano Atlântico, ao norte pelo estado de São Paulo e Mato Grosso do Sul, a oeste pela Argentina e Paraguai e ao sul pelo Uruguai.

A região Sul do Brasil (área destacada em vermelho na Figura 14) foi o foco do estudo de Oliveira (2013) onde foram analisados e detectados os casos com elevados valores de EOA. De acordo com os objetivos desta dissertação, a análise sinótica realizada englobou uma área maior: a América do Sul e regiões circunvizinhas para entendimento dos efeitos dos sistemas meteorológicos atuando sobre o transporte dos aerossóis para a região Sul do Brasil.

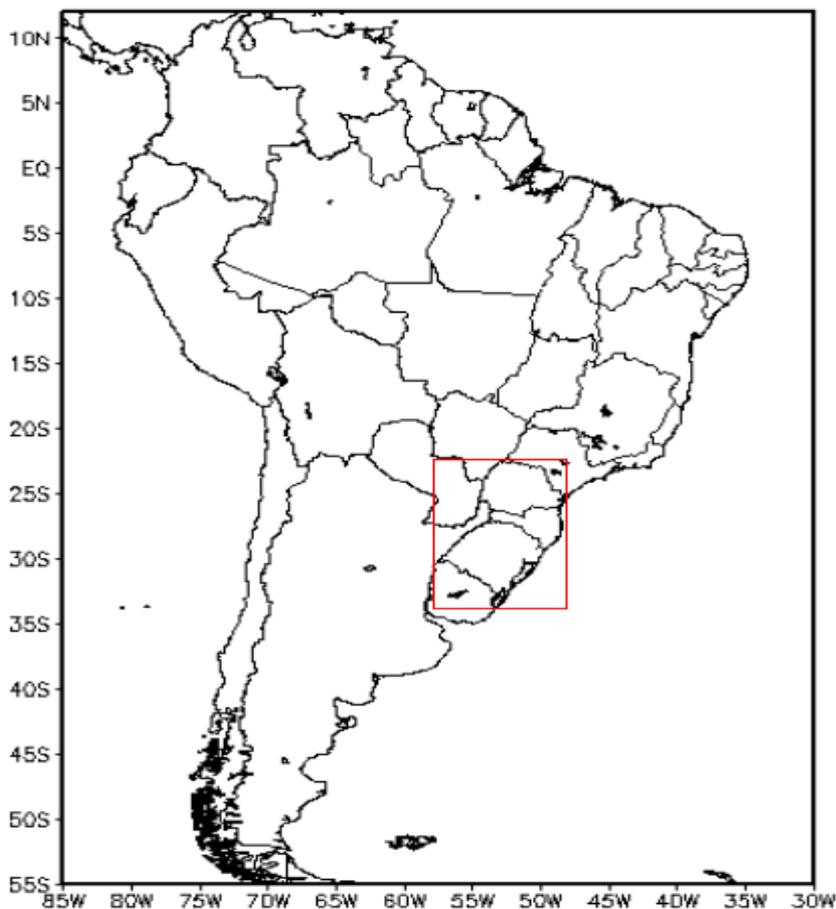


Figura 14 – América do Sul e em destaque região da área de estudo (Sul do Brasil e áreas adjacentes).

3.2 Sensor MODIS

O sensor MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer), se encontra a bordo dos satélites AQUA e TERRA, que fazem parte do sistema de observação terrestre da National Aeronautics and Space Administration (NASA). Embora o sensor MODIS tenha capacidade para apoiar diversos estudos, um dos seus principais objetivos é monitorar os aerossóis sobre a Terra, constituindo assim uma fonte de dados importantes, principalmente se tratando da variabilidade espacial e temporal dos aerossóis.

Em Oliveira (2013) os dados utilizados do sensor MODIS para a análise da espessura ótica dos aerossóis (EOA) foram em 0,55 μm de comprimento de onda e de nível 3 (MYD08_D3), que significa que suas grades são igualmente espaçadas

com preenchimento consistente e com a aplicação de filtro para remoção de pixels com detecção de nuvens, o que representa uma contaminação nos dados.

Os produtos do sensor MODIS nível 3 possuem resolução temporal de 24 horas, resumida globalmente e resolução espacial de 10x10 Km, ou seja, 400 pixels de 500 m, com células de grades de 1°.

Através dos dados do sensor MODIS, Oliveira (2013) identificou os tipos de aerossóis predominantes na atmosfera (com base na análise da EOA e expoente de Angstrom) e os dias com EOA mais elevadas para o seu período e local de estudo. Para caracterizar a EOA elevada sobre a região estudada, a autora utilizou percentil 99 P(99) para definir o limiar de EOA, que se refere a 1% dos maiores valores de EOA do total da amostra dos dados ordenados, que faz referência a qualquer pixel dentro do limiar sobre a região, indicando os dias com os maiores valores e as principais regiões afetadas por estes aerossóis.

Neste trabalho serão utilizados os dias identificados pelo percentil 99 por Oliveira (2013), onde a espessura ótica dos aerossóis esteve entre o limiar de (1,5 - 4,5), totalizando 43 dias como mostra a tabela 2. A análise dos sistemas sinóticos atuantes que possivelmente influenciam no transporte dos aerossóis para a região de estudo foi feita para este período.

Tabela 2- Dias identificados com EOA elevada pelo P(99) para o período de 2002 - 2011

Anos	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2009	2010	2011
Dias	16/08	07/02	14/09	28/08	15/09	26/08	14/01	23/08	04/01
	06/09	07/09	15/09	29/08		27/08		26/08	09/06
	17/09	20/09	16/09			07/09		27/08	29/08
	18/09		18/09			11/09		28/08	04/09
	30/09		19/09			14/09		12/09	05/09
	05/10		20/09			20/09		22/09	
	08/10		21/09			03/10			
			24/09			04/10			
						05/10			
						06/10			

3.3 Análise sinótica e climática

Como indicado através dos resultados citados na revisão bibliográfica, os sistemas meteorológicos que atingem a AS possivelmente impactam na variação da EOA sobre o Sul do Brasil. Portanto, se faz necessário o estudo dos sistemas meteorológicos atuantes no período de ocorrência dos altos valores de EOA (Tabela 2) para poder entender suas influências em relação aos aerossóis (transporte).

As variáveis meteorológicas utilizadas nas análises sinóticas são obtidas através dos dados de reanálise 2 do NCEP/NCAR (*National Centers for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research*), dentre as quais estão a pressão reduzida ao nível médio do mar, umidade relativa do ar, ômega, temperatura e magnitude dos ventos (u, v), com resolução espacial de 2,5° e temporal de médias diárias. Campos meteorológicos dessas variáveis e derivadas destas, por exemplo, advecção de umidade e temperatura, foram gerados em diversos níveis (baixa, média e alta troposfera). Os campos de vetor vento foram gerados para os níveis de 925hPa, 850hPa, 700hPa, 500hPa e 200hPa. O nível de 925hPa foi utilizado para auxiliar na identificação dos sistemas meteorológicos atuantes na baixa troposfera. Os níveis de 850hPa e 700hPa além de participarem da identificação dos sistemas também foram analisados com relação ao transporte dos aerossóis. O nível de 200hPa ajudou na configuração dos sistemas e profundidade dos mesmos na atmosfera. Já os campos de advecção de temperatura, advecção de umidade e ômega foram gerados para o nível de 925hPa. Os campos de advecção de umidade relativa do ar foram gerados para identificar regiões com umidade disponível para a formação de nuvens e ou inibição. Os campos de ômega foram gerados para identificação de zonas de divergência e convergência, colaborando com a configuração dos sistemas atmosféricos. Também foram gerados campos de anomalia de pressão, com 30 anos de dados envolvendo o período de 1982 até 2011, para analisar se a configuração encontrada nos casos de altos valores de EOA difere da climatologia da região.

Os casos/dias identificados com alto valor de EOA foram relacionados à ocorrência do ENOS (El Niño Oscilação Sul) e também do El Niño Modoki, de modo

a perceber a relação destes eventos climáticos com a ocorrência de elevada EOA na região de estudo.

A identificação das fases do ENOS foi obtida através da análise do Oceanic Niño Index (ONI), mesmo padrão utilizado pelo National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) para a identificação do ENOS, onde se estipula que anomalias na temperatura da superfície do mar igual ou acima de $0,5^\circ$ indicam acontecimento do ENOS (positivo para El Niño, negativo para La Niña).

As fases do El Niño Modoki foram identificadas através do El Niño Modoki Index (EMI) proposto por Ashok et al. (2007).

Os sistemas sinóticos atuantes na região, também foram analisados através da geração de campos compostos mensais para as variáveis meteorológicas obtidas dos dados do reanálise 2 do NCEP/NCAR, com intervalos temporais precedentes e posteriores para o caso/dia selecionado de alto valor da EOA sobre a região de estudo. Dessa forma, o dia de ocorrência do alto valor de EOA foi caracterizado como dia $t=0$ e foram analisados os campos compostos dos dias $t-1$, $t-2$ e $t-3$ além dos dias $t+1$ e $t+2$. Os campos compostos foram gerados para os meses de agosto, setembro e outubro dos casos/dias selecionados do período de 2002 – 2011, portanto, excluindo 04 dos dias apresentados na tabela 1 (07/02/2003, 14/01/2009, 04/01/2011 e 09/06/2011) resultando em 39 dias analisados.

Através da metodologia apresentada pretende-se, portanto, identificar os sistemas atuantes e ainda observar os padrões atmosféricos predominantes em relação à advecção de material particulado para os pontos de elevada EOA dentro da região Sul do Brasil e desenvolver modelos conceituais para baixa, média e alta atmosfera dos sistemas meteorológicos atuantes para este transporte.

Para os resultados, apresentaremos a análise dos campos compostos de pressão reduzida ao nível médio do mar, linhas de corrente nos níveis de 925hPa, 850hPa, 700hPa, 500hPa e 200hPa, advecção de temperatura, advecção de umidade relativa e ômega no nível de 925hPa, assim como a relação dos casos estudados com a ocorrência de fases positivas (El Niño) e negativas (La Niña) do ENOS e também do ENOS Modoki.

3.4 Estudo de caso

Os estudos de caso foram retirados a partir da amostra total dos dias com altos valores EOA identificados por Oliveira (2013), os quais somam um total de 43 dias ao longo do período de 2002 até 2011. No entanto, 39 destes dias apresentaram uma distribuição sazonal, concentrando-se nos meses de agosto, setembro e outubro com 10 dias, 23 dias e 06 dias respectivamente.

Os 39 dias concentrados nos meses de agosto, setembro e outubro, foram analisados através de campos compostos gerados para cada mês.

Então, para uma análise distinta dos compostos e também para serem confrontados (compostos/estudo de caso), foram escolhidos três casos/dias (23/08/2010, 21/09/2004 e 04/10/2007) com altos valores de EOA, distribuídos nos meses de maior recorrência de alta EOA (agosto, setembro e outubro) para os estudos de caso.

A análise dos estudos de caso ocorreu através dos campos meteorológicos de pressão reduzida ao nível médio do mar, linhas de corrente geradas para os níveis de 925hPa, 850hPa, 700hPa, 500hPa e 200hPa, campos de advecção de temperatura do ar, ômega e advecção umidade relativa gerados para o nível de 925hPa. Ainda, foram utilizados dados de focos de queima de biomassa.

3.5 Modelos conceituais

Os modelos conceituais foram elaborados a partir da análise dos sistemas que se apresentaram mais persistentes nos campos compostos dos casos de altos valores de EOA.

Os campos meteorológicos analisados foram os mesmos utilizados na análise dos compostos (item 3.3).

Constituídos para os casos dos meses de agosto, setembro e outubro, por apresentarem maior recorrência de casos, os modelos conceituais foram confeccionados para a baixa e alta troposfera.

As evidências sobre a possível implicação dos sistemas meteorológicos sobre a variação da EOA indica a importância de entender a atuação desses

sistemas na AS. Partindo deste princípio, estudar os comportamentos dos sistemas em relação aos aerossóis e seu transporte, e ainda possíveis interações com queimadas (aumento do número de focos de queimadas) se torna fundamental. Com base nestes argumentos acredita-se na identificação de um padrão atmosférico que esteja relacionado com o alto valor da EOA na região Sul do Brasil.

Resultados e Discussões

Analisando a distribuição de casos acumulados mensais, durante o período de 2002 - 2011, foi observada uma variação sazonal para os valores elevados da EOA (Figura 15). As maiores ocorrências dos casos/dias de elevada EOA estão concentradas entre agosto (10 casos), setembro (23 casos) e outubro (06 casos), neste contexto, iremos analisar estes meses através de campos compostos por serem os meses com maior recorrência de altos valores de EOA.

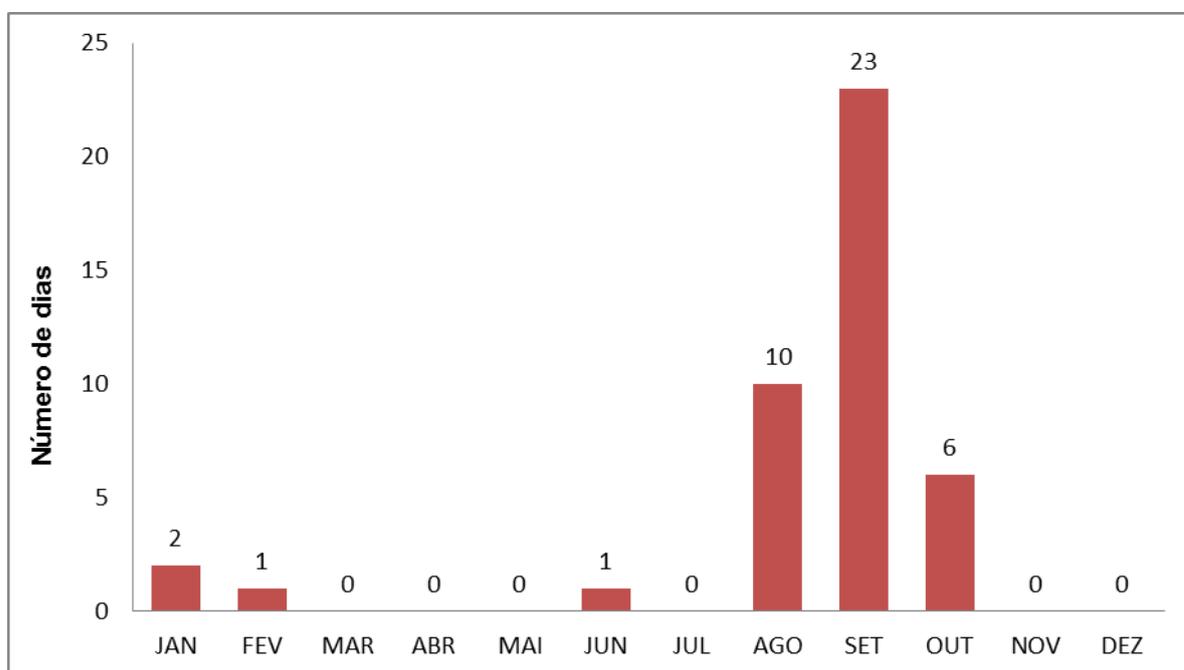


Figura 15 – Valor acumulado mensal dos casos selecionados com altos valores EOA para o período de 2002 – 2011 (totalizando 43 casos).

Durante o período da amostra de dados analisados por Oliveira (2013), os anos de 2002 até 2011, de acordo com os dados do Grupo de Queimadas do CPTEC/INPE, foram analisados os focos de queimadas para cada região do Brasil (Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e Norte) para os meses que apresentaram maior concentração de dias com altos valores de EOA (agosto, setembro e outubro) (Figura 16). Os meses de agosto e setembro apresentaram o mesmo ranking de focos de queima de biomassa para as regiões, sendo, a região Norte a de maior ocorrência de focos de queimadas, passando em ordem decrescente para as regiões Centro-Oeste, Nordeste e Sudeste, ficando a região Sul com o menor número de queima de biomassa. Já o mês de outubro apresentou uma distribuição diferente para a ocorrência de focos de queimadas, estando à região Nordeste do Brasil com maior número de focos de queimadas, diminuindo em ordem nas regiões Norte, Centro-Oeste e Sudeste, e com menor ocorrência de focos de queimadas a região Sul.

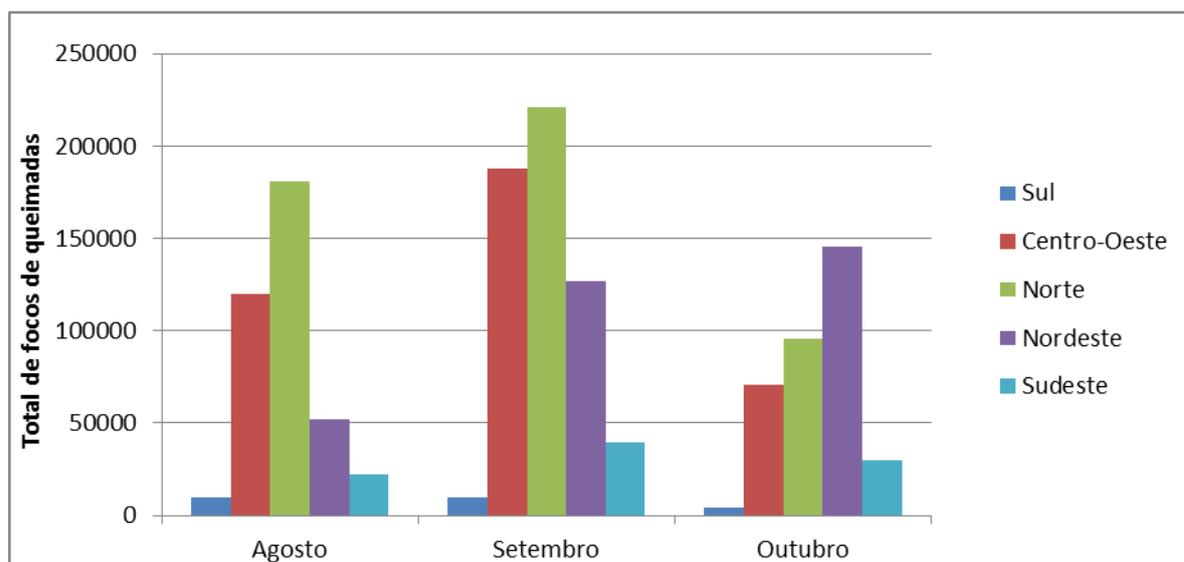


Figura 16 – Total de focos de queimadas no período de 2002-2011 para os meses de agosto, setembro e outubro e para as regiões (Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e Norte) do Brasil.

Os campos compostos foram gerados mensalmente para os casos/dias de elevada EOA dos meses de agosto, setembro e outubro do período de 2002 – 2011, para os tempos ($t-3$, $t-2$, $t-1$, $t=0$, $t+1$, $t+2$), para análise meteorológica dos sistemas atuantes.

Analisando o campo composto de pressão reduzida ao nível médio do mar para o mês de agosto no tempo $t=0$ (10 casos), como mostra a figura 17d, observa-se que a ASAS apresenta valor médio de 1024hPa e está posicionada em torno de 25°S e 20°W . Um cavado atua a Sudoeste do Chile sobre o oceano Pacífico. A Alta Subtropical do Pacífico Sul tem centro posicionado em torno de 26°S e 100°W não apresentado totalmente nesta imagem. Uma área de baixa pressão está localizada sobre as regiões Central, Noroeste, Norte e Nordeste da AS. Ainda, é possível notar um centro de alta pressão localizado sobre a região Noroeste da Argentina e Norte do Chile com núcleo de 1022hPa. Os sistemas de alta (baixa) pressão em superfície estão associados à divergência (convergência) em superfície.

De acordo com a análise dos compostos precedentes ($t-1$, $t-2$, $t-3$) e posteriores ($t+1$, $t+2$) ao dia com alto valor de espessura ótica, observou-se semelhante à figura 17, um leve deslocamento para leste do cavado localizado sobre o oceano Pacífico a oeste do Chile além de um enfraquecimento da sua onda.

O centro de alta pressão sobre o Noroeste da Argentina pode influenciar na variação da EOA, pois sistemas de alta pressão possuem subsidência de ar e divergência em superfície, resultando na inibição da formação de chuvas e colaborando com as queimas de biomassa. Além disso, o sistema da ASAS pode ser inibidor em relação à entrada de frentes que por sua vez, pode causar inversões térmicas e concentração de poluentes em superfície, principalmente na época da ocorrência (inverno), possivelmente elevando os valores da EOA.

O campo de anomalia de pressão reduzida ao nível médio do mar do composto do mês de agosto na figura 18d no $t=0$, apresenta um centro de anomalia de pressão negativa sobre a região Sul da Argentina e Chile que abrange praticamente toda a metade Sul da AS. Anomalias de pressão positivas são encontradas sobre o oceano Atlântico em 40°S e 25°W e sobre o Pacífico nas coordenadas 30°S e 100°W , relacionadas com a ASAS e a ASPS, respectivamente.

No decorrer dos tempos $t-3$ até $t+2$ na figura 18, as anomalias encontradas apresentam deslocamento para leste.

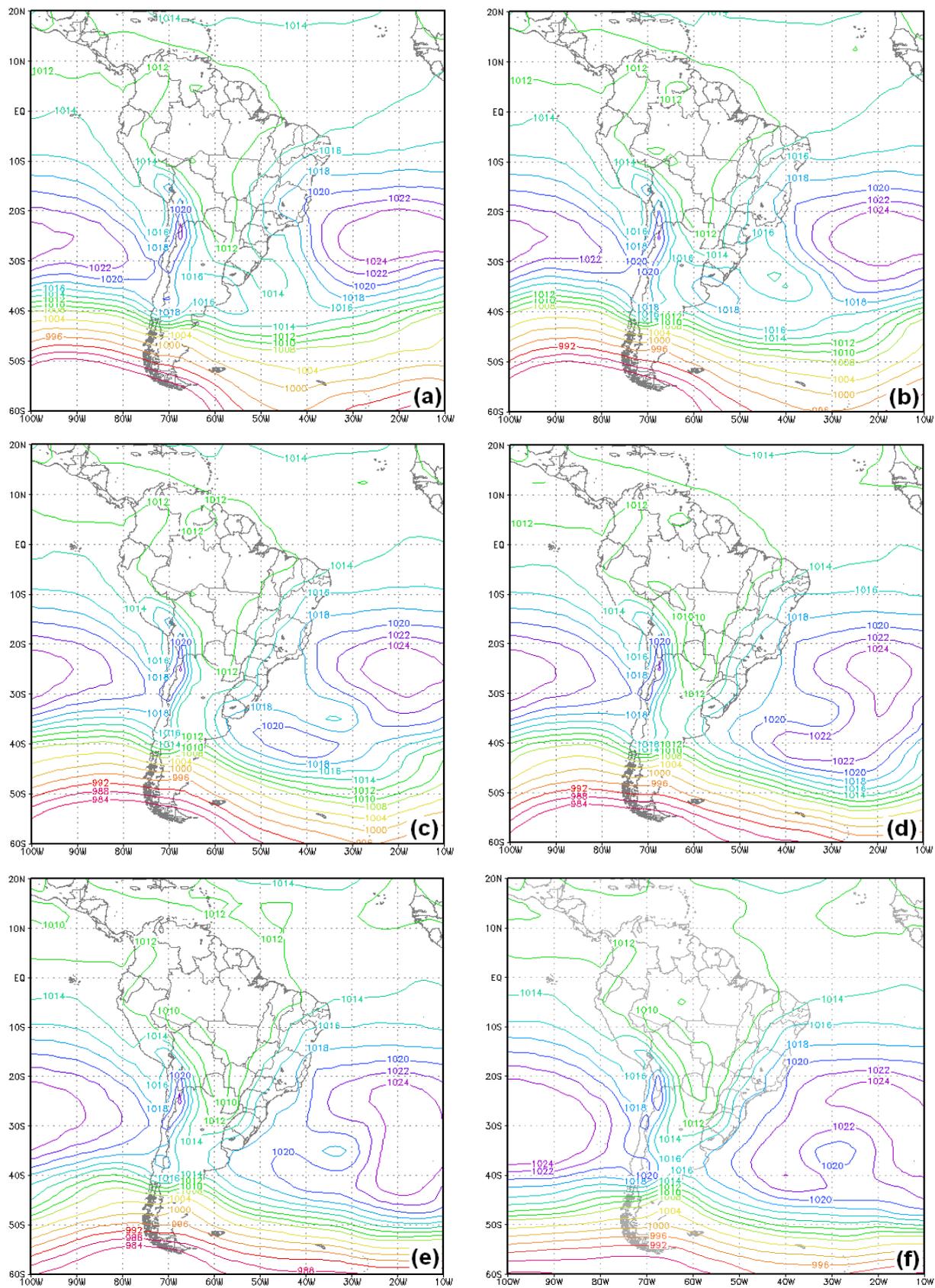


Figura 17 – Campos compostos de pressão reduzida ao nível médio do mar para o mês de agosto para os tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f)

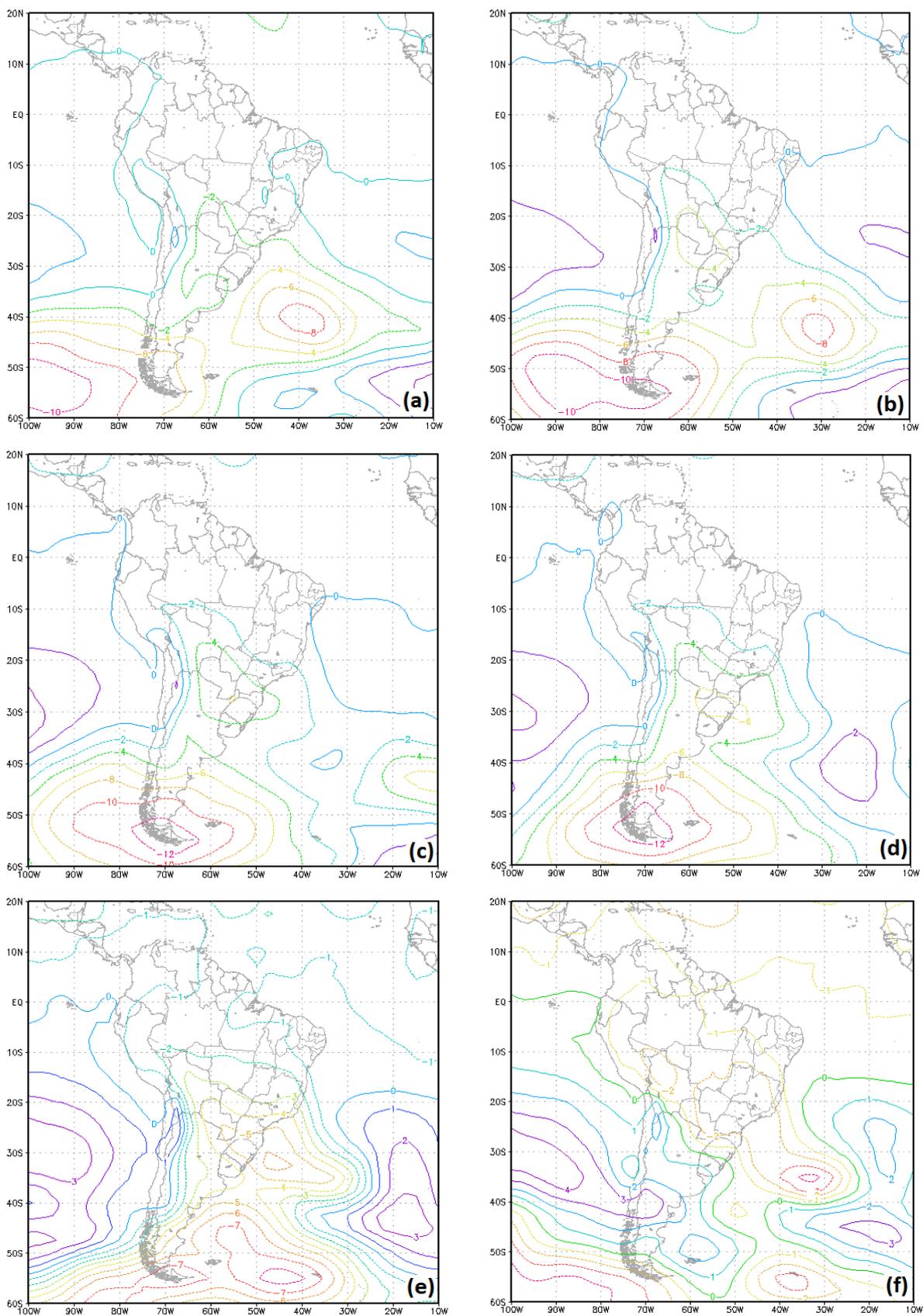


Figura 18 – Campos de anomalia de pressão reduzida ao nível médio do mar dos compostos do mês de agosto para os tempos ($t-3$, $t-2$, $t-1$, $t=0$, $t+1$, $t+2$) respectivamente (a, b, c, d, e, f).

A análise do campo composto de linhas de corrente em 925hPa do mês de agosto no tempo $t=0$ na figura 19d, mostra a ASAS com seu centro posicionado aproximadamente em 25°S e 20°W influenciando os ventos nas regiões litorâneas do Brasil, com ventos de nordeste nas regiões Sul e Sudeste do Brasil e ventos de leste/sudeste na região Nordeste Brasileira. Outras duas circulações predominantes podem ser visualizadas sobre o Oceano Atlântico Sul, uma com vorticidade ciclônica localizada em torno de 34°S e 34°W e outra anticiclônica em aproximadamente 40°S e 38°W . Sobre a região Sul da AS (metade sul da Argentina e Chile) as linhas de corrente indicam ventos de noroeste, devido a influência da circulação de um cavado localizado no Pacífico Sul. A ASPS é encontrada em aproximadamente 25°S e 100°W (fora do domínio desta imagem) e sua circulação influencia na direção dos ventos sobre o Oceano Pacífico e a região litorânea do Peru e metade norte do Chile com ventos de sudeste. Os ventos predominantes sobre a região Central do Brasil estão de nordeste, enquanto sobre a Bolívia e a metade oeste do Peru estão de noroeste.

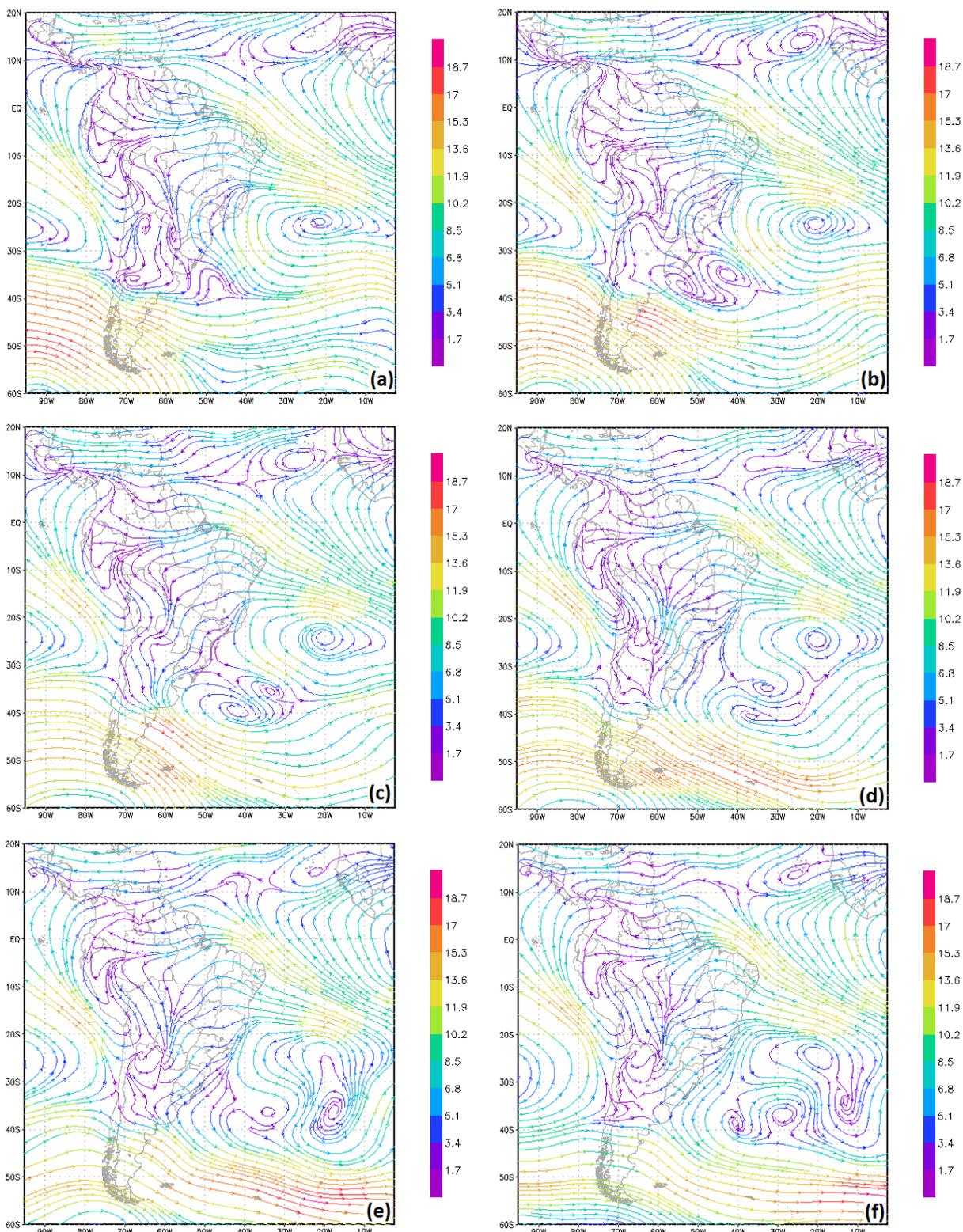


Figura 19 – Campos compostos de linhas de corrente no nível de 925hPa para o mês de agosto nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).

Os campos compostos de linhas de corrente para o nível de 850hPa no tempo $t=0$ na figura 20d, em relação ao caso de agosto, apresentam a ASAS posicionada em torno de 24°S e 22°W e sua circulação se sobrepondo a faixa leste litorânea do Brasil. Sobre as regiões da Bolívia, Paraguai, Nordeste da Argentina, Uruguai, estados da Rondônia, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul, as linhas de corrente indicaram sentido de norte, inclinando-se mais para sudeste sobre o Rio Grande do Sul, caracterizando que, possivelmente esse escoamento poderia transportar aerossóis destas regiões localizadas mais ao norte para as regiões mais ao sul. Os ventos atingem a metade sul da Argentina e Chile com sentido de noroeste devido à influência do cavado localizado no Pacífico Sul. Sobre a região Norte do Brasil e AS, as linhas de corrente mostram ventos predominantes de leste.

Durante a análise dos tempos $t-3$ até $t+2$ (figura 20), o cavado localizado no Pacífico Sul apresenta uma atenuação, portanto os ventos que atingem a metade sul da Argentina e Chile perdem intensidade e passam a ser de oeste. As linhas de corrente que atuam sobre as regiões da Bolívia, Paraguai, Nordeste da Argentina, Uruguai, estados da Rondônia, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul, apresentam uma configuração mais meridional no sentido de norte sobre a região Sul do Brasil.

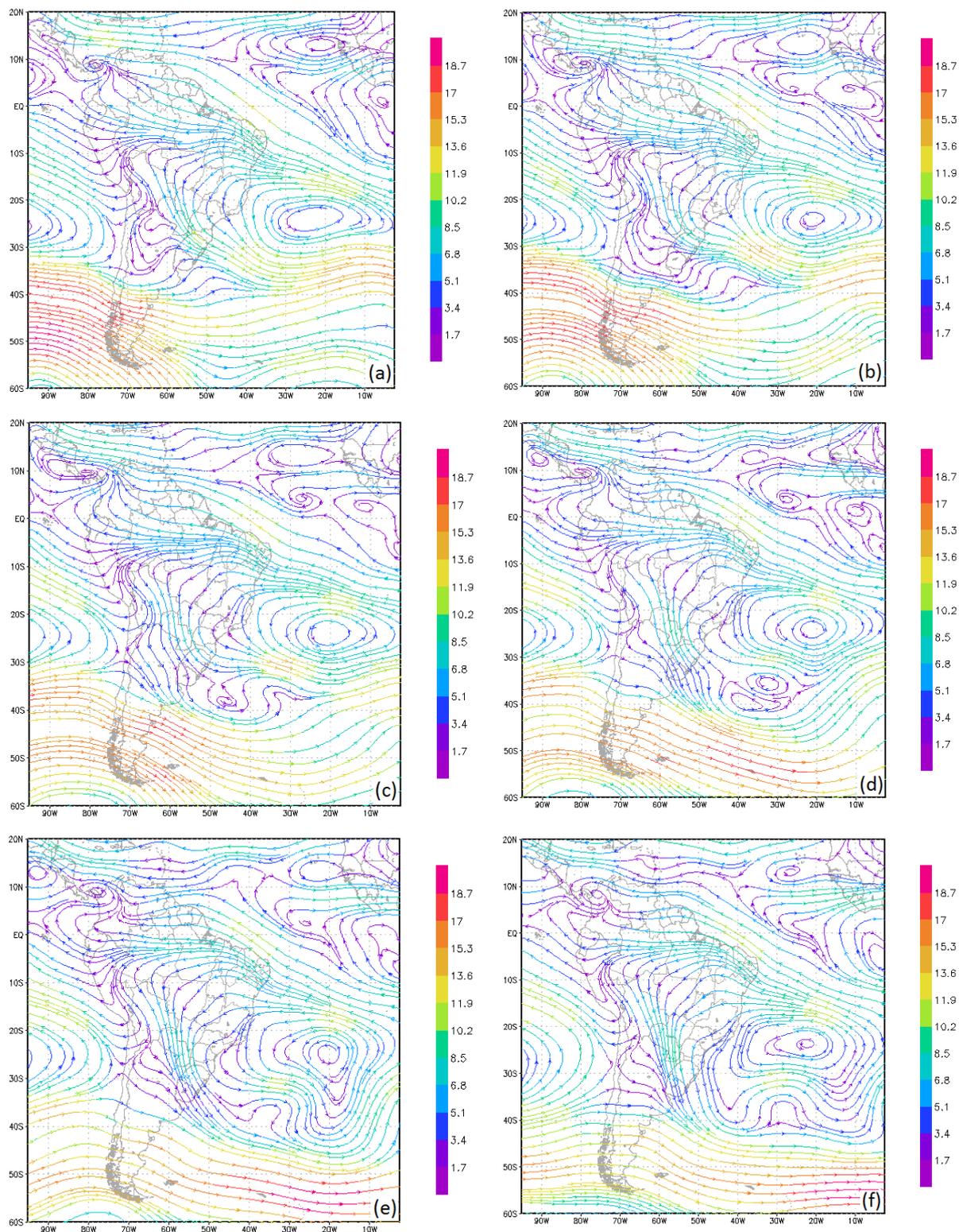


Figura 20 – Campos compostos de linhas de corrente no nível de 850hPa para o mês de agosto nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).

O composto dos campos de linhas de corrente no nível de 700hPa no instante $t=0$ na figura 21d, mostra que sobre a Argentina e o Chile os ventos estão de noroeste na região norte passando para leste na região mais ao sul da Argentina, devido ao cavado que atua sobre o Sul do Pacífico, sobre a região Norte da AS a predominância das linhas de corrente é de leste, a ASAS tem seu centro em torno de 22°S e 32°W e sua circulação esta atingindo a costa da região Sudeste e Nordeste do Brasil. Sobre o Centro do Brasil há uma circulação anticiclônica onde os ventos sobre o país acompanham esta circulação, evidenciando o escoamento das regiões Centro-Oeste do Brasil e Oeste da AS em direção ao Rio Grande do Sul.

O cavado atuante no Pacífico Sul, tende a se deslocar para leste e a enfraquecer durante o período analisado, mas a direção dos ventos praticamente não se modifica, somente a intensidade é diminuída de acordo com a variação temporal (Figura 21). Também é possível observar, através dos tempos ($t-3$ até $t+2$), o aparecimento e desaparecimento da circulação anticiclônica localizada sobre o Centro do Brasil no tempo $t=0$ (Figura 21d).

O centro de baixa localizado sobre o Brasil apresenta convergência nas linhas de corrente em 925hPa, indicando um movimento ascendente do ar, possivelmente elevando aerossóis para outros níveis da atmosfera, onde podem ser transportados para outras regiões, por exemplo, para a região Sul do Brasil como indica o campo composto de linhas de correntes em 700hPa.

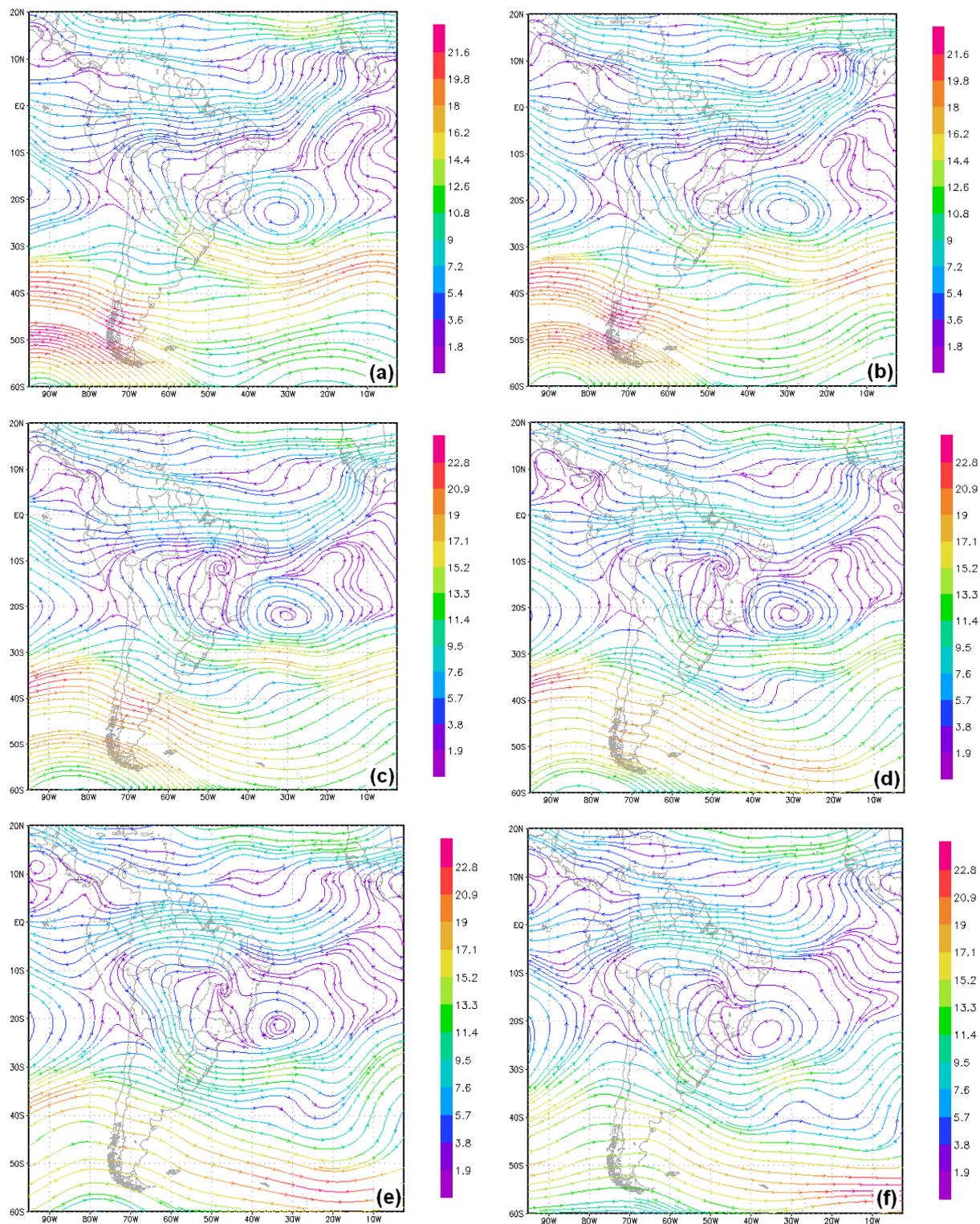


Figura 21 – Campos compostos de linhas de corrente no nível de 700hPa para o mês de agosto nos tempos ($t-3$, $t-2$, $t-1$, $t=0$, $t+1$, $t+2$) respectivamente (a, b, c, d, e, f).

No nível de 500hPa sobre a metade sul da AS, os compostos de linhas de corrente no tempo $t=0$ na figura 22d, continuam a indicar a influência do cavado ocasionando ventos de noroeste nesta região. A região Norte da AS é predominantemente atingida por ventos zonais de leste/nordeste, já a região Central da AS é afetada por uma circulação anticiclônica que está sobre o Oceano Atlântico em aproximadamente 18°S e 26°W .

De acordo com a figura 22, que apresenta a evolução temporal dos compostos de linhas de corrente em 500hPa, o cavado tem deslocamento para leste e apresenta um aprofundamento na sua onda. É possível perceber que a circulação anticiclônica identificada em 18°S e 26°W no tempo $t=0$, tem uma oscilação zonal, partindo inicialmente de 23°S e 40°W , se deslocando até 18°S e 26°W e retornando a 20°S e 45°W .

Analisando o campo composto de linhas de corrente em 200hPa do mês de agosto no instante $t=0$ na figura 23d, verifica-se que o Jato Subtropical está posicionado aproximadamente entre 25°S e 32°S , sobre o oceano Pacífico e o Sul do Brasil, com intensidade de cerca de 43m/s sobre a AS. O Jato Subtropical apresenta configuração zonal com uma sensível inclinação de noroeste para sudeste. A presença da circulação anticiclônica da Alta da Bolívia está centrada em torno de 4°S sobre a divisa dos estados do Amazonas e Pará. Um cavado a sotavento da AB sobre a região Nordeste do Brasil também é identificado.

Analisando as imagens da figura 23, observa-se a presença da AB e posteriormente seu deslocamento até o Centro do estado do Amazonas. Ainda de acordo com a figura 23, o cavado localizado na região Nordeste do Brasil pelo composto de $t=0$, se mantém presente de $t-2$ até $t+2$.

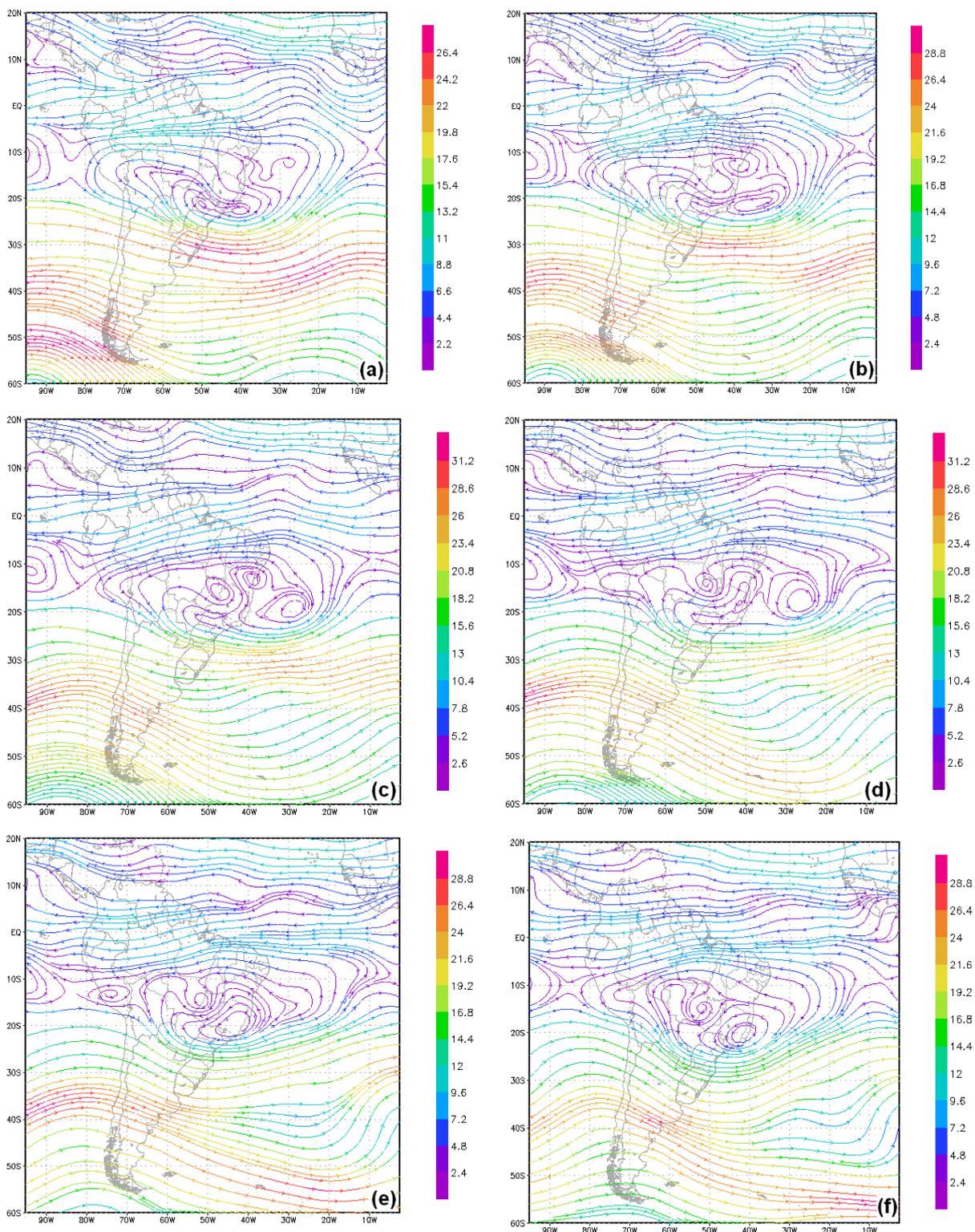


Figura 22 – Campos compostos de linhas de corrente no nível de 500hPa para o mês de agosto nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).

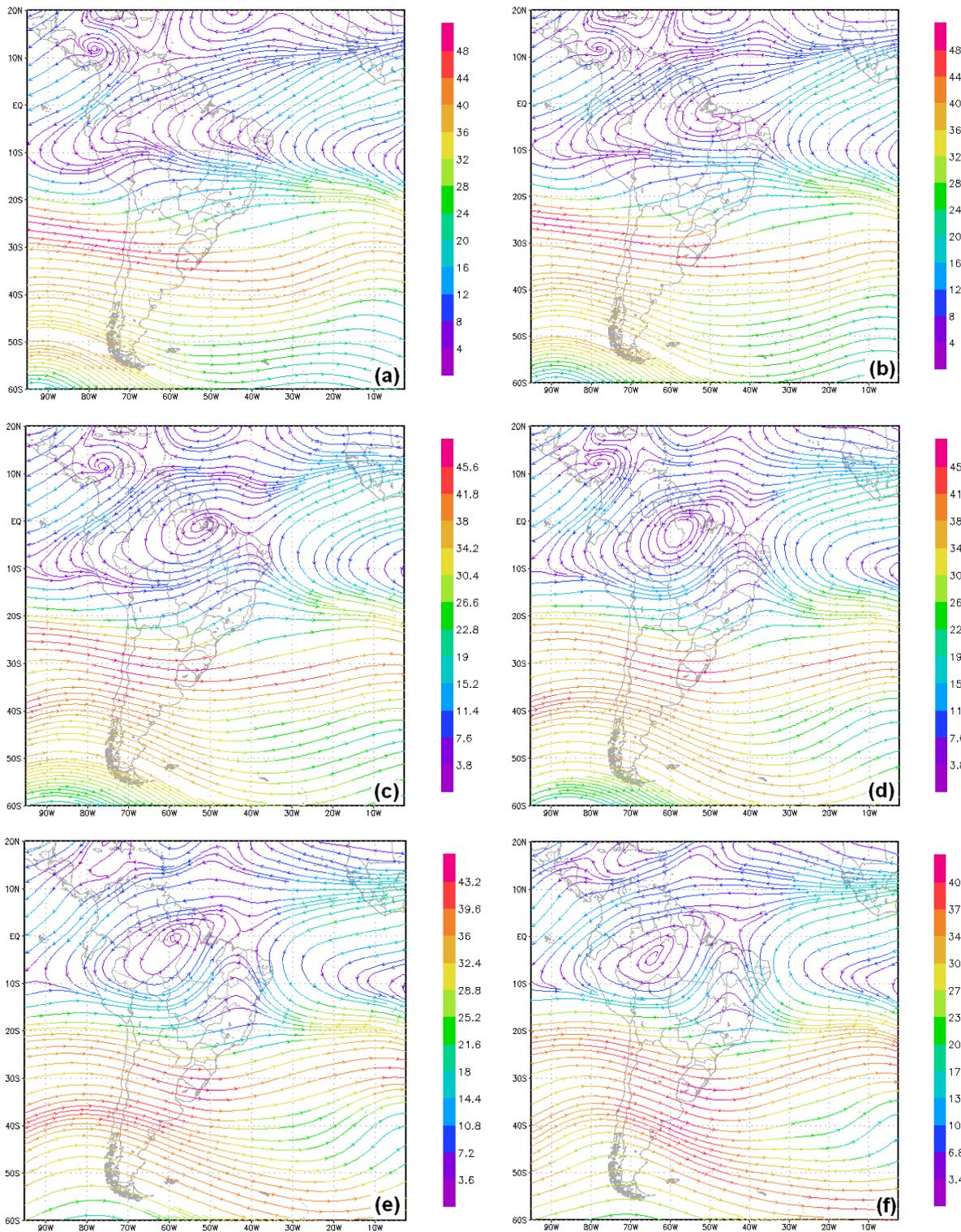


Figura 23 – Campos compostos de linhas de corrente no nível de 200hPa para o mês de agosto nos tempos ($t-3$, $t-2$, $t-1$, $t=0$, $t+1$, $t+2$) respectivamente (a, b, c, d, e, f).

Conforme o campo composto de pressão reduzida ao nível médio do mar no tempo $t=0$ para o mês de setembro (23 casos) na figura 24d, há um centro de baixa pressão sobre o continente com centro localizado aproximadamente sobre o estado do Amazonas. Também é identificado um centro de alta pressão ainda sobre o continente, sobre a região Noroeste da Argentina. A ASAS apresenta núcleo de 1024hPa e situa-se em torno de 30°S e 20°W e a Alta do Pacífico Sul com centro de pressão de 1022hPa é localizada aproximadamente em 30°S e 87°W . Um cavado atua sobre o Sul do oceano Atlântico a leste da Argentina.

Analisando, de acordo com a figura 24, a evolução temporal ($t-3$ até $t+2$) dos compostos de pressão para o mês de setembro, percebe-se o deslocamento para leste do cavado situado sobre o oceano Atlântico Sul, desde a região da costa leste da Argentina até 40°S e 45°W .

De acordo com o campo de anomalia do composto de pressão reduzida ao nível médio do mar do mês de setembro no tempo $t=0$ na figura 25d, observa-se que há anomalia negativa de pressão sobre a Argentina, Uruguai e região Sul do Brasil, além do oceano Atlântico próximo a Argentina e região Sul do Brasil, onde ocorre um cavado (Figura 24d). Sobre o oceano Atlântico é encontrado anomalia positiva de pressão com núcleo em 45°S e 28°W se estendendo até a região Nordeste do Brasil fazendo referência a ASAS (Figura 24d). Anomalia de pressão positiva também é observada sobre o oceano Pacífico centrada em torno de 45°S e 100°W e englobando o Chile.

De acordo com a análise temporal na figura 25, as anomalias mostram deslocamento para leste, desde $t-3$ onde ainda não é possível visualizar a anomalia positiva sobre o oceano Pacífico até $t+2$ onde já se encontram localizadas mais a leste.

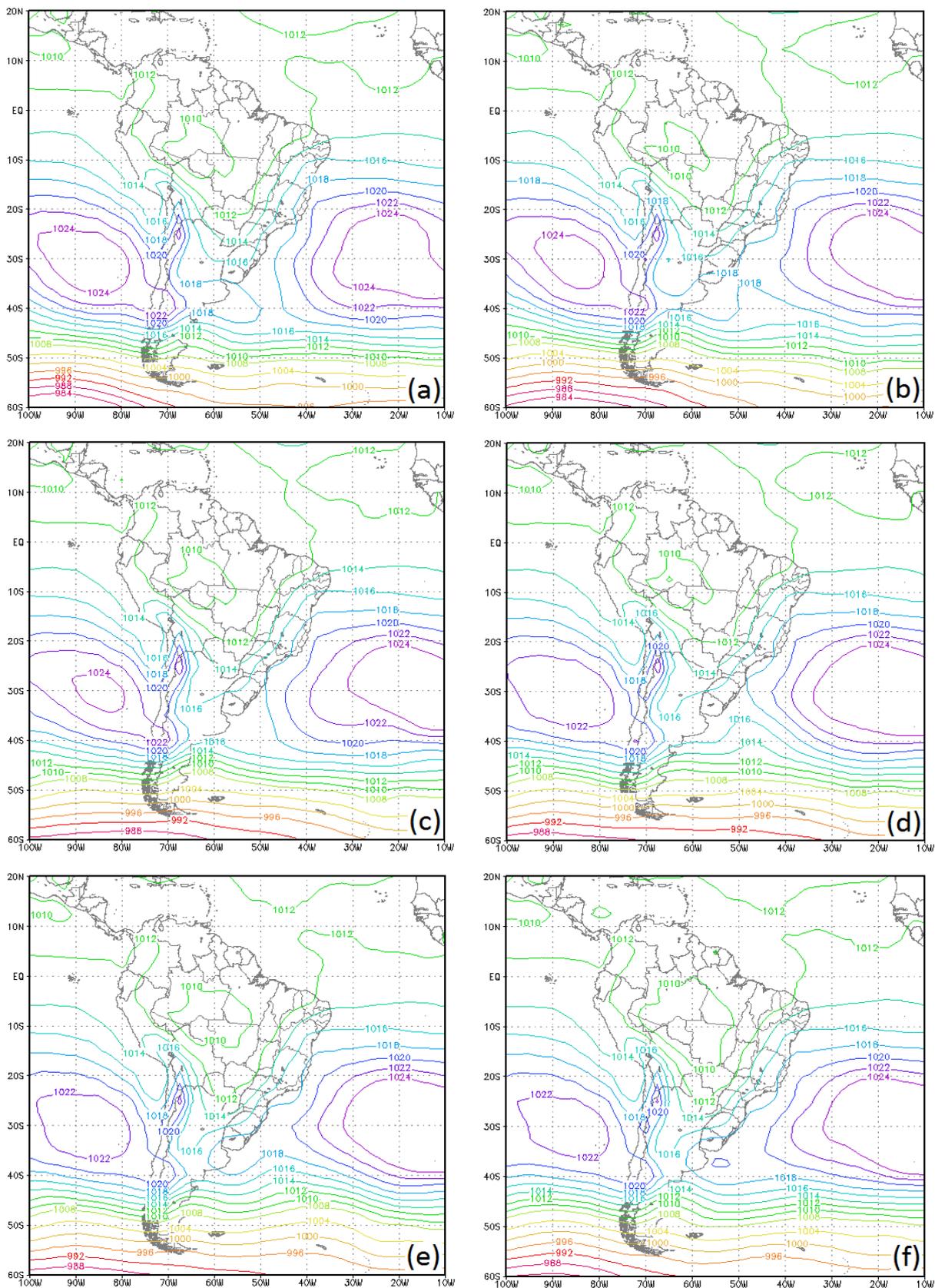


Figura 24 - Campos compostos de pressão reduzida ao nível médio do mar para o mês de setembro nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).

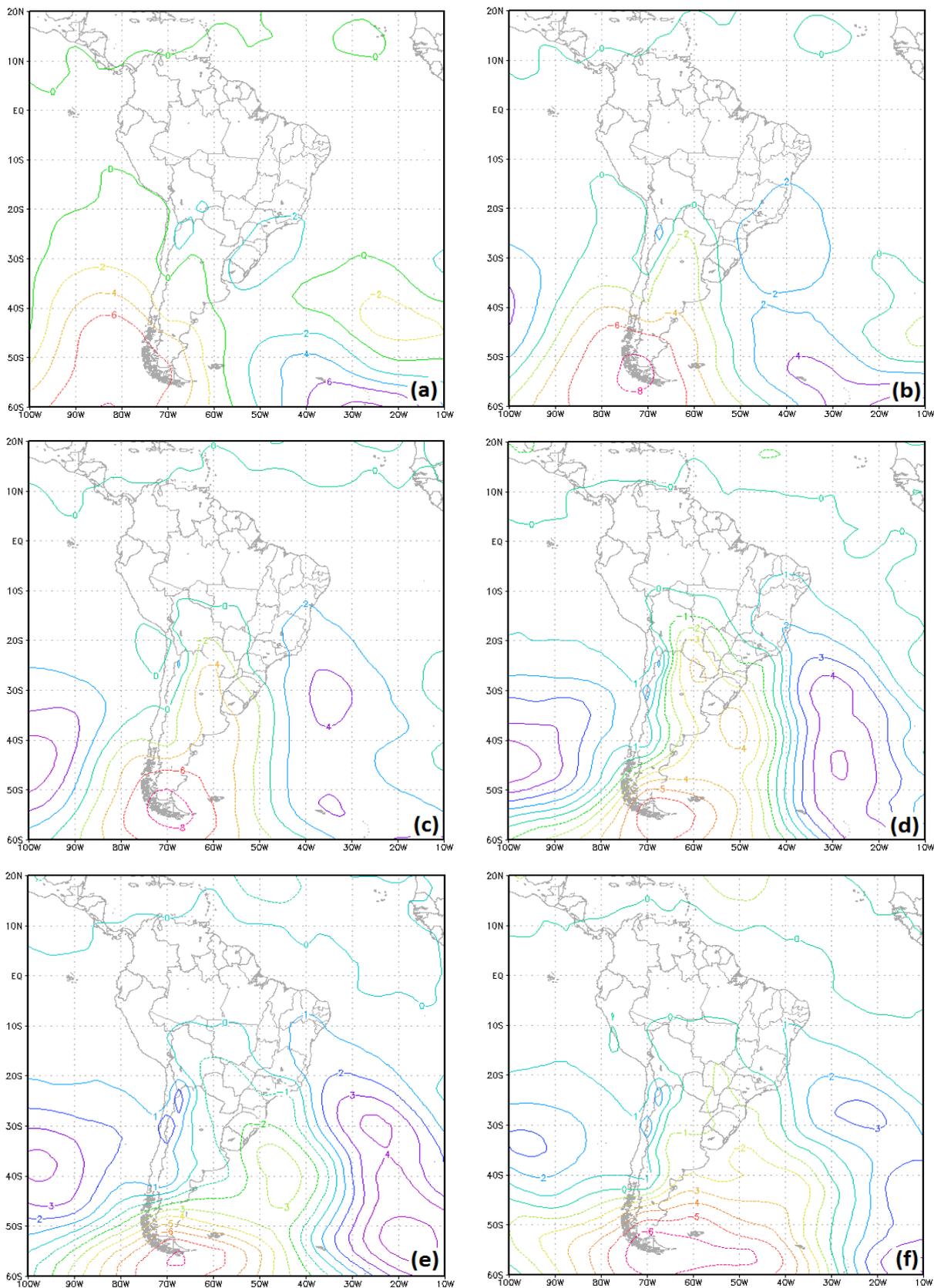


Figura 25 - Campos de anomalia pressão reduzida ao nível médio do mar dos compostos do mês de setembro nos tempos ($t-3$, $t-2$, $t-1$, $t=0$, $t+1$, $t+2$) respectivamente (a, b, c, d, e, f).

No composto do mês de setembro para o tempo $t=0$ do campo de linhas de corrente em 925hPa na figura 26d, é possível visualizar a circulação da ASPS, centrada em aproximadamente 29°S e 85°W , correntes ramificadas desta circulação predominando pelo oceano Pacífico ao longo da costa do Peru e Norte do Chile. A faixa Leste do Brasil é predominada por ventos de leste, mas sobre o Centro da AS, as linhas de corrente indicam uma convergência sobre o estado do Mato Grosso. A ASAS esta posicionada em cerca de 30°S e 15°W .

Os compostos exibidos pela figura 26 apresentam poucas alterações em relação ao padrão observado em $t=0$, sendo praticamente o mesmo nos tempos precedentes e posteriores.

A convergência que está sobre a região do estado do Mato Grosso indica movimento convectivo, que pode elevar aerossóis desta região a níveis mais elevados da atmosfera facilitando o seu transporte, levando em conta que, esse movimento convectivo não provoque precipitação, pois então ocorreria a deposição do material particulado.

De acordo com os campos compostos de linhas de corrente do caso de setembro para o nível de 850hPa no tempo $t=0$ pela figura 27d, a região que abrange a metade sul da Argentina e Chile é atingida por ventos de oeste. Na região Norte do Brasil, as linhas de corrente indicam ventos predominantes de leste e sobre a região Norte da AS, ventos de sudeste. Sobre a região Central da AS, as linhas de corrente acompanham a circulação da ASAS, centrada em torno de 26°S e 22°W , com ventos de noroeste sobre a região Sul do Brasil.

No decorrer dos compostos ($t-3$ até $t+2$) na figura 27, ocorre o surgimento de circulações anticiclônicas na região Nordeste da Argentina, indicando que em alguns dos dias desse composto ocorreram sistema de alta pressão.

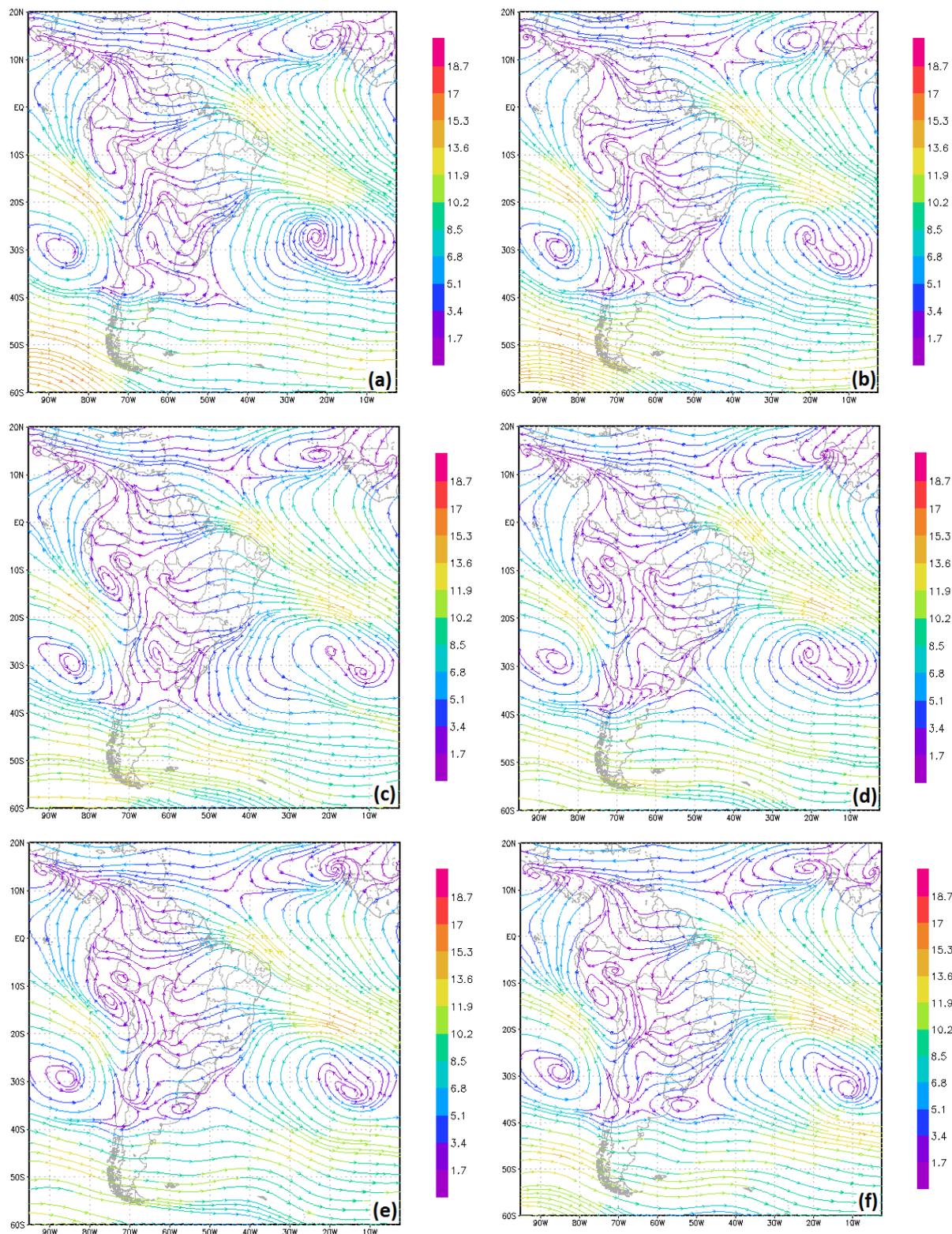


Figura 26 – Campos compostos de linhas de corrente no nível de 925hPa para o mês de setembro nos tempos ($t-3$, $t-2$, $t-1$, $t=0$, $t+1$, $t+2$) respectivamente (a, b, c, d, e, f).

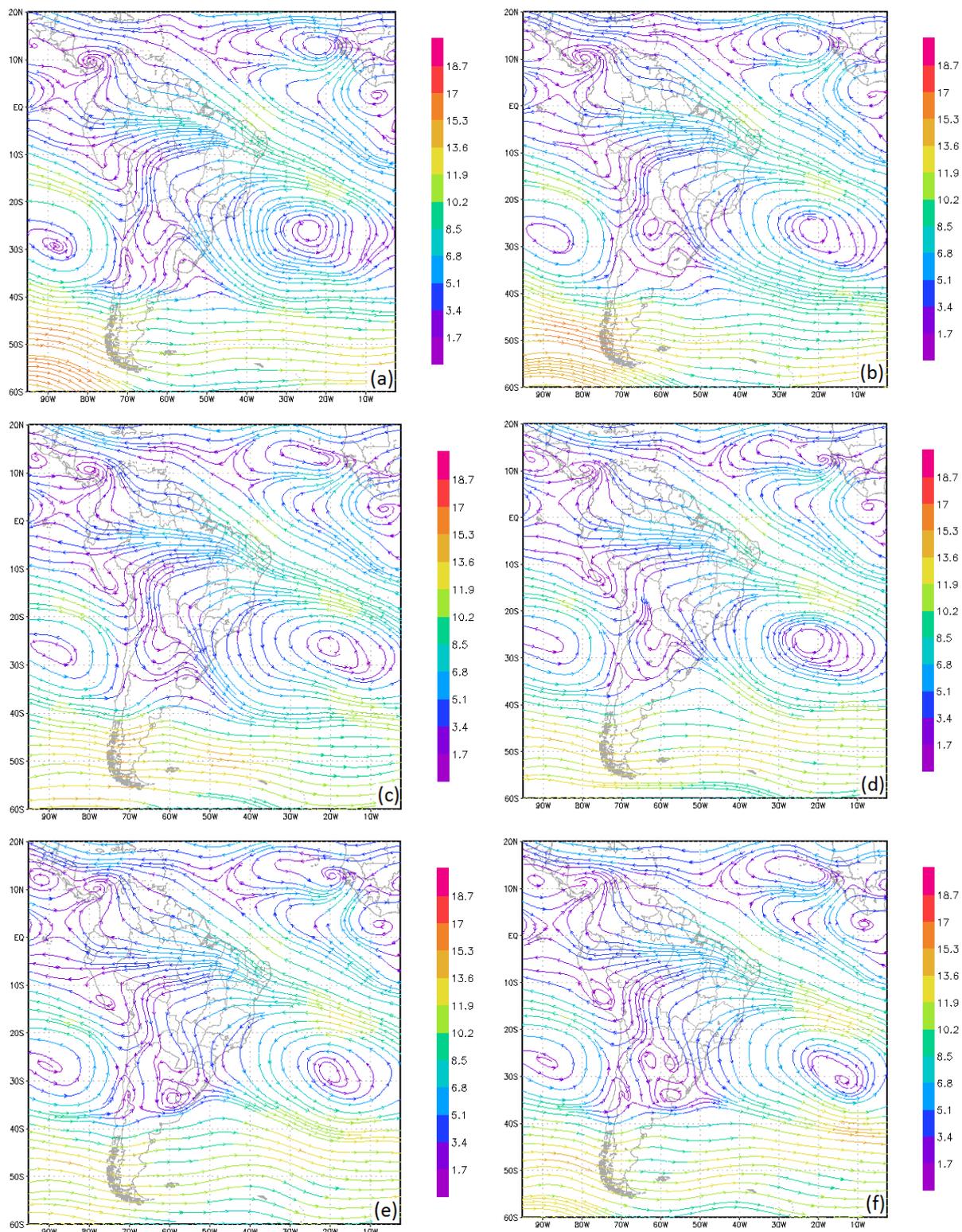


Figura 27 – Campos compostos de linhas de corrente no nível de 850hPa para o mês de setembro nos tempos ($t-3$, $t-2$, $t-1$, $t=0$, $t+1$, $t+2$) respectivamente (a, b, c, d, e, f).

No nível de 700hPa, como mostra a figura 28d, sobre a AS entre as latitudes de 25°S e 60°S, as linhas de corrente indicam ventos de oeste, entre as latitudes de 10°N e 10°S as correntes são de leste e sobre o Centro da AS é uma circulação anticiclônica que está predominando e abrangendo o oceano Atlântico na mesma região. Um vórtice ciclônico é observado sobre o oceano Atlântico com seu núcleo posicionado em 4°N e 33°W. A Alta Subtropical do Pacífico é encontrada com seu centro localizado em 20°S e 90°W.

A variação temporal apresentada pela figura 28 mostra que a circulação anticiclônica localizada sobre o Centro da AS apresenta uma expansão em direção ao Oceano Atlântico até indicar uma separação em dois núcleos de alta pressão sobre o oceano. A ocorrência do vórtice ciclônico identificado sobre o Oceano Atlântico é constatada na evolução do tempo.

A região Central da AS, que acompanha uma circulação anticiclônica com os ventos passando sobre o estado do Mato Grosso, possivelmente apresenta potencial para transportar aerossóis da região Centro-Oeste do Brasil, além da Bolívia e Paraguai, para a região Sul do Brasil.

Para o nível de 500hPa no tempo $t=0$ na figura 29d, entre as latitudes de 10°S e 20°S são encontrados três centros de circulação anticiclônica posicionadas sobre o oceano Pacífico, sobre o sul do estado do Mato Grosso e sobre o oceano Atlântico próximo a costa leste do Brasil. Sobre o oceano Atlântico, em torno de 10°N é presenciado um cavado. Entre as latitudes de 20°S e 50°S as linhas de corrente se apresentam de forma zonal com sentido de oeste sobre o Pacífico, AS e Atlântico.

Analisando a evolução temporal apresentada pela figura 29, observamos que na figura 29a somente a circulação anticiclônica sobre a AS estava configurada e no decorrer dos compostos analisados às outras duas circulações se apresentaram. A crista que está sobre o Oceano Atlântico apresenta intensificação.

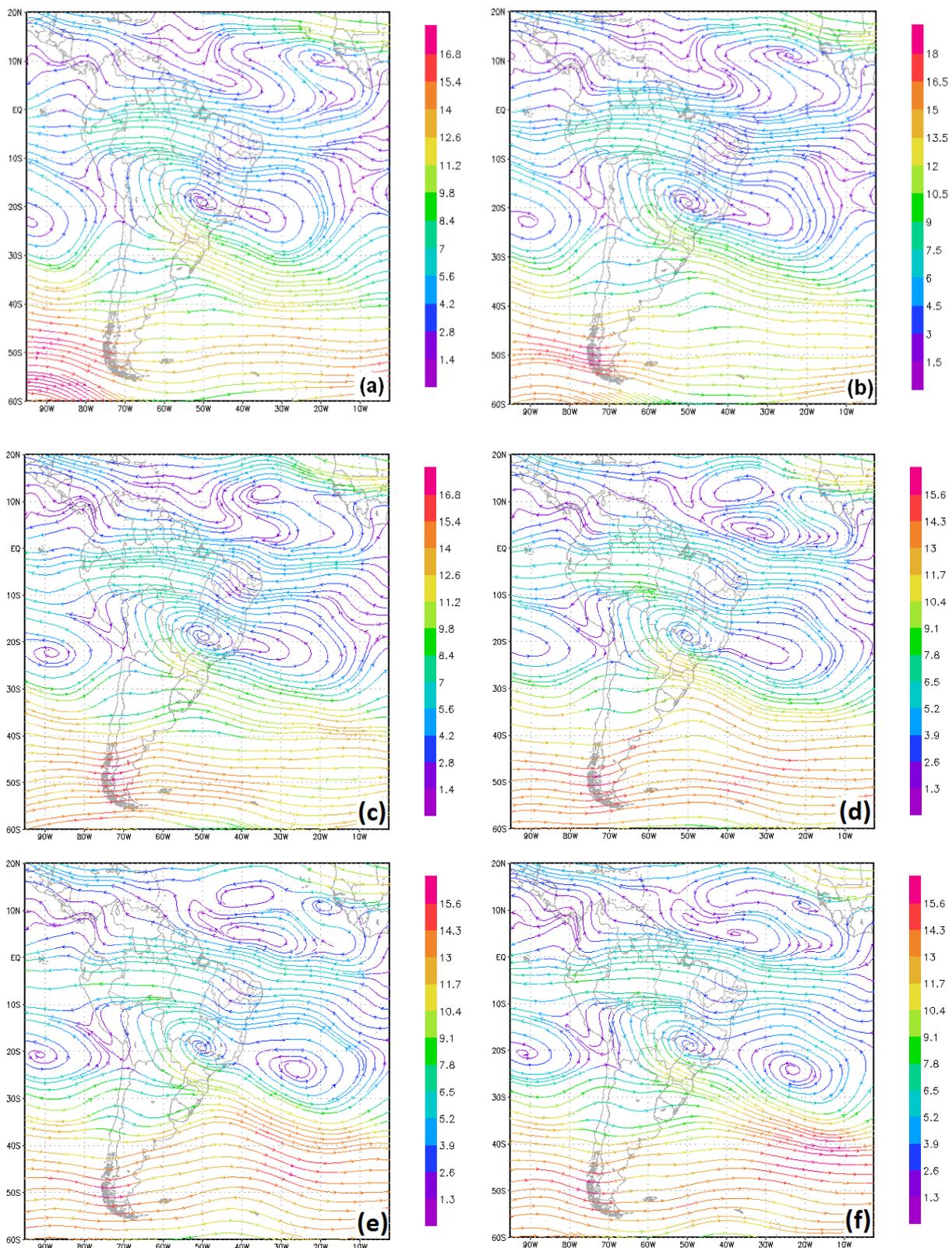


Figura 28 – Campos compostos de linhas de corrente no nível de 700hPa para o mês de setembro nos tempos ($t-3$, $t-2$, $t-1$, $t=0$, $t+1$, $t+2$) respectivamente (a, b, c, d, e, f).

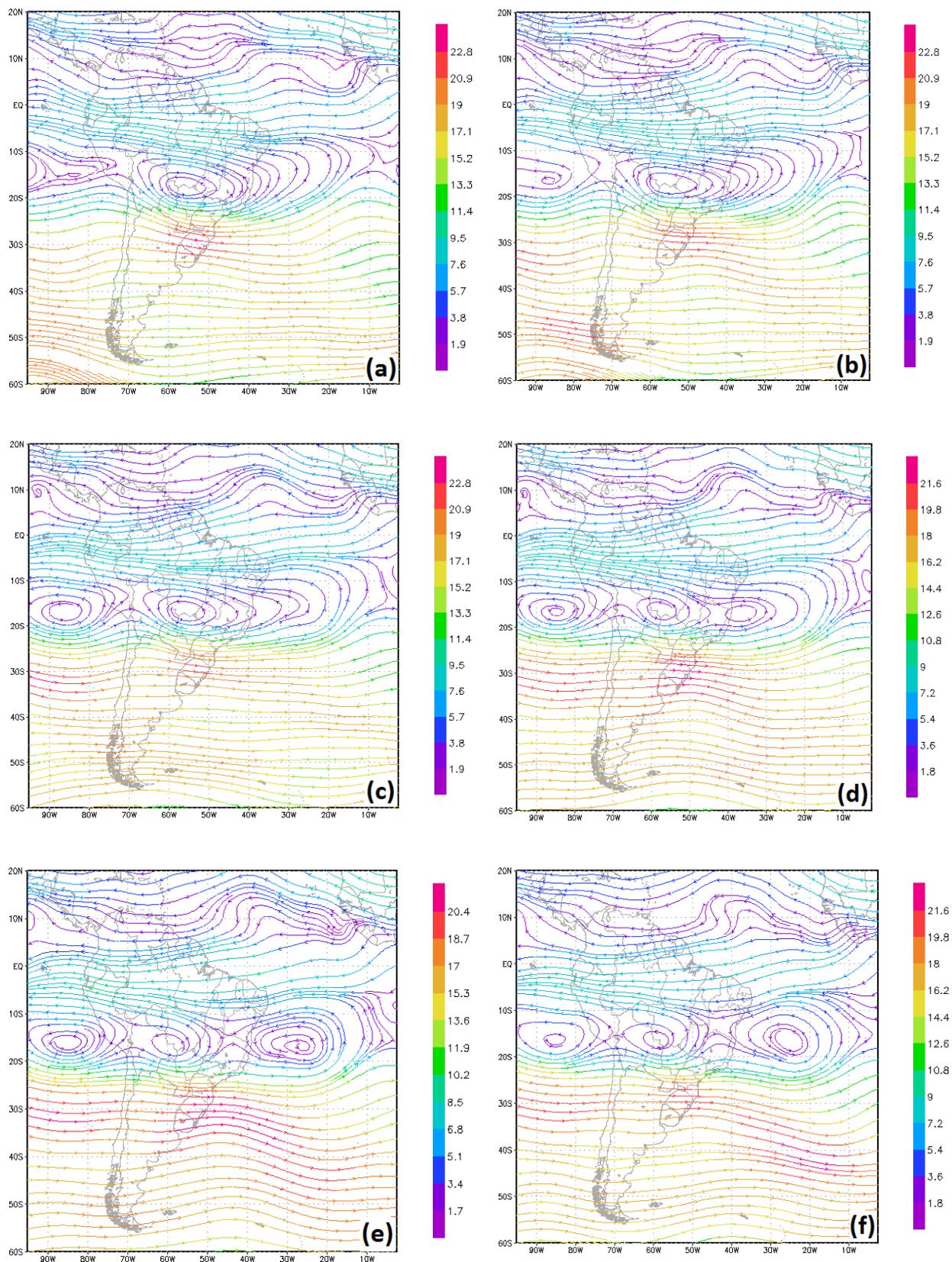


Figura 29 – Campos compostos de linhas de corrente no nível de 500hPa para o mês de setembro nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).

Em 200hPa, os compostos em $t=0$ na figura 30d, indicam que a Alta da Bolívia é encontrada com seu núcleo em torno de 9°S e 62°W , que se refere a região do estado de Rondônia. À leste da AB, sobre a região Nordeste do Brasil, há um cavado com fraca intensidade. O Jato Subtropical localizado sobre o oceano Pacífico e a AS entre as latitudes de 25°S e 32°S , apresenta configuração zonal com sua máxima intensidade sobre o oceano e o norte da Argentina de aproximadamente 44m/s.

Sobre a análise temporal dos compostos apresentados pela figura 30, é observada uma pequena intensificação sobre o cavado no Nordeste do Brasil, o restante não diverge da análise feita para o $t=0$.

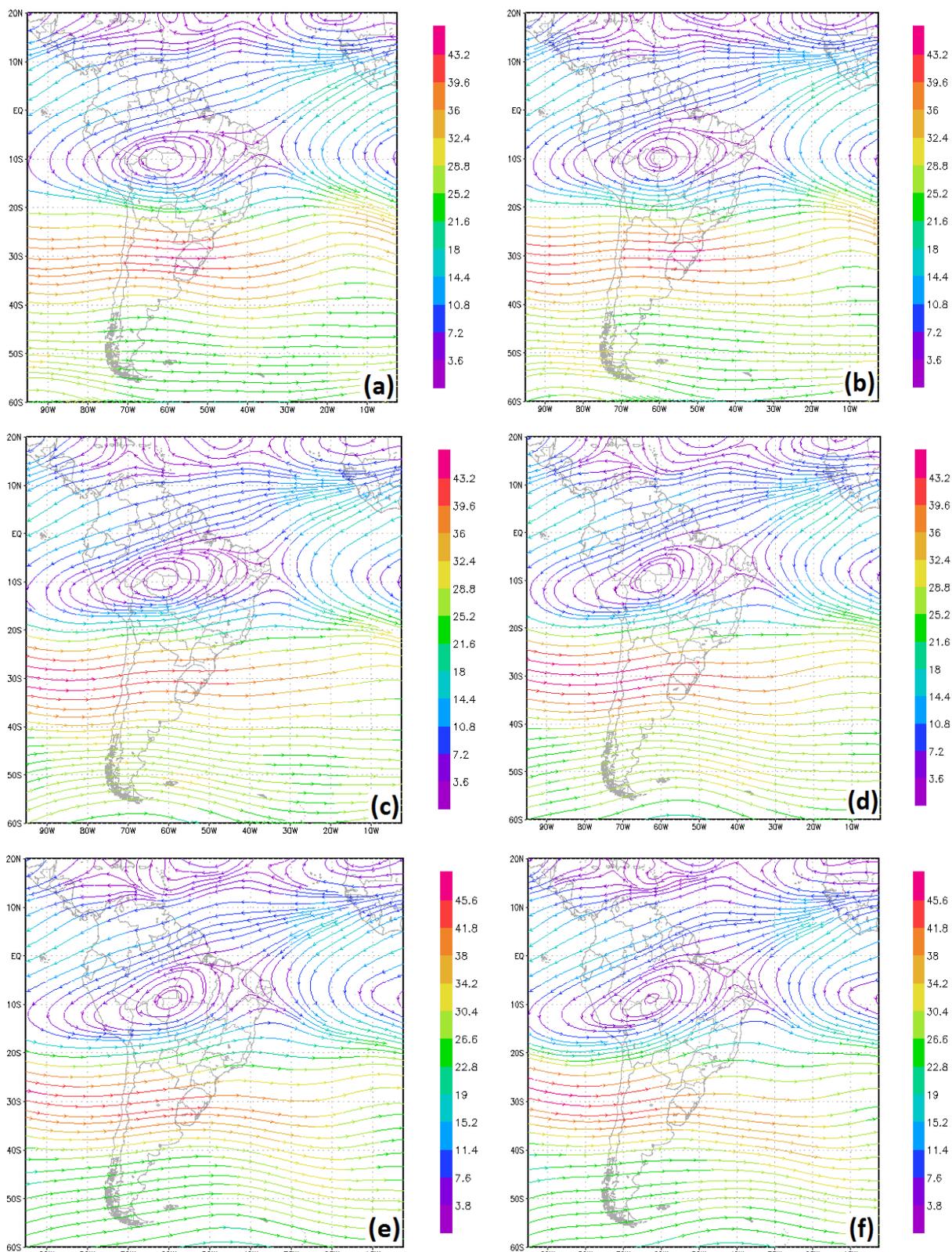


Figura 30 – Campos compostos de linhas de corrente no nível de 200hPa para o mês de setembro nos tempos ($t-3$, $t-2$, $t-1$, $t=0$, $t+1$, $t+2$) respectivamente (a, b, c, d, e, f).

De acordo com a análise do campo composto de pressão reduzida ao nível médio do mar para o mês de outubro no tempo $t=0$ (06 casos), visto na figura 31d, verifica-se que a ASPS tem seu centro com valor de 1024hPa localizado aproximadamente em 28°S e 105°W fora do domínio desta imagem, um centro de baixa pressão de 992hPa situado a 46°S e 82°W sobre o Sul do oceano Pacífico. Dois sistemas de pressão são identificados sobre o continente, um sistema de alta pressão sobre a região Noroeste da Argentina e outro sistema de baixa pressão sobre a região Nordeste da Argentina envolvendo o Paraguai e grande parte da Argentina.

Sobre a análise da variação temporal dos compostos de pressão para o mês de outubro apresentados na figura 31, percebe-se que, durante a evolução do tempo $t-3$ para o $t+2$ o centro de baixa pressão sobre o Sul do oceano Pacífico, apresenta um deslocamento do seu centro desde 57°S e 67°W até aproximadamente 47°S e 80°W e leve deslocamento para sudeste.

Analisando o campo de anomalia de pressão reduzida ao nível médio do mar do composto do mês de outubro no tempo $t=0$ na figura 32d, notamos um centro de anomalia negativa sobre a região Sul do oceano Pacífico englobando o Sul do Chile e da Argentina, onde nesta mesma região ocorre um centro de baixa pressão na figura 31d. Outro núcleo de anomalia negativa é encontrado sobre a região nordeste da Argentina, coincidindo com um centro de alta pressão pela figura 31d. Sobre o oceano Atlântico, em torno de 42°S e 22°W , é visualizado um centro de anomalia positiva, que pode ser associado a ASAS visualizada na figura 31d. No decorrer dos tempos $t-3$ até $t+2$ na figura 32, o centro de anomalia negativa de pressão sobre o Sul do Pacífico apresenta deslocamento para leste, sendo encontrado sobre o oceano Atlântico no tempo $t+2$.

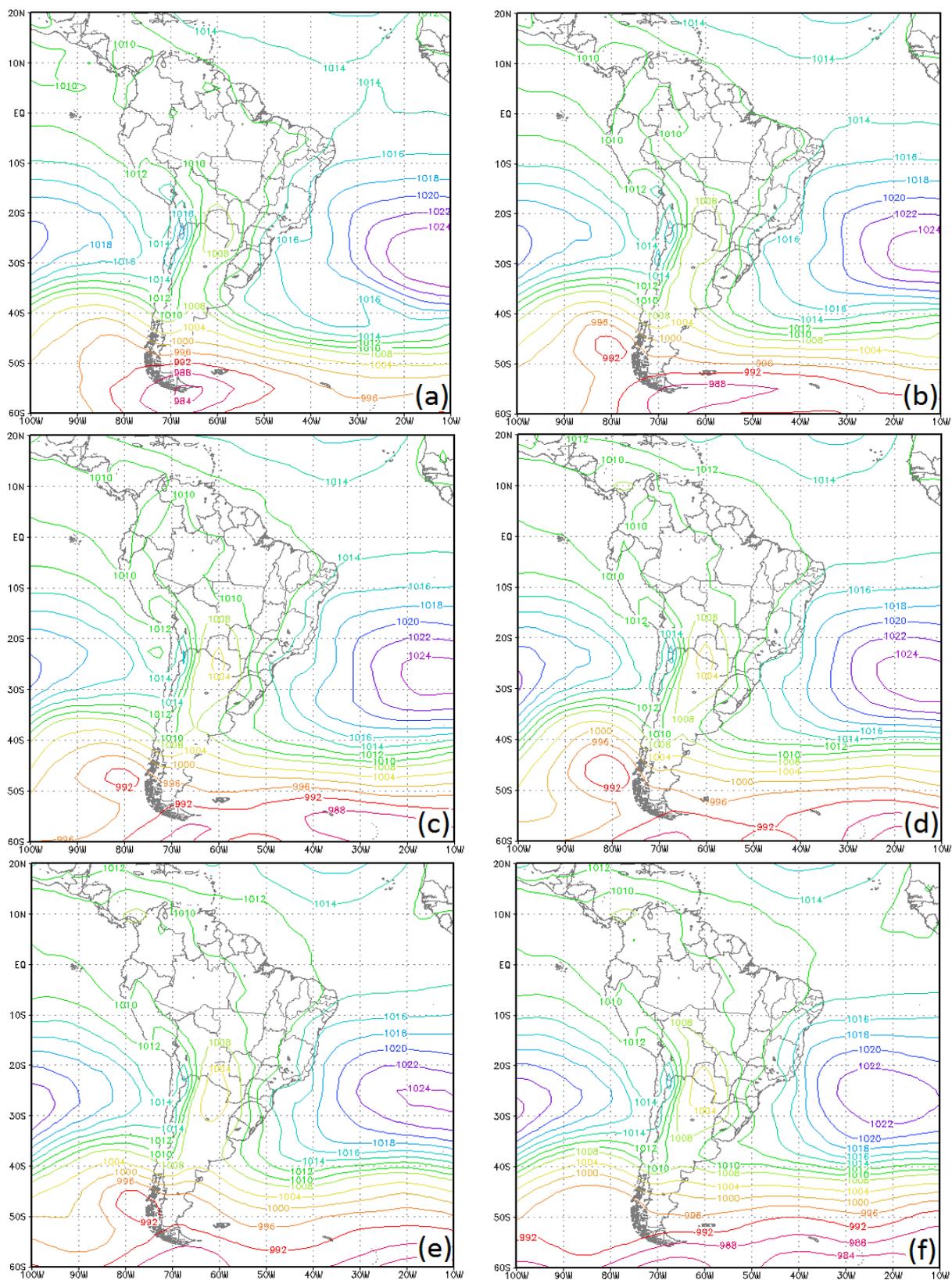


Figura 31 – Campos compostos de pressão reduzida ao nível médio do mar para o mês de outubro para os tempos ($t-3$, $t-2$, $t-1$, $t=0$, $t+1$, $t+2$) respectivamente (a, b, c, d, e, f).

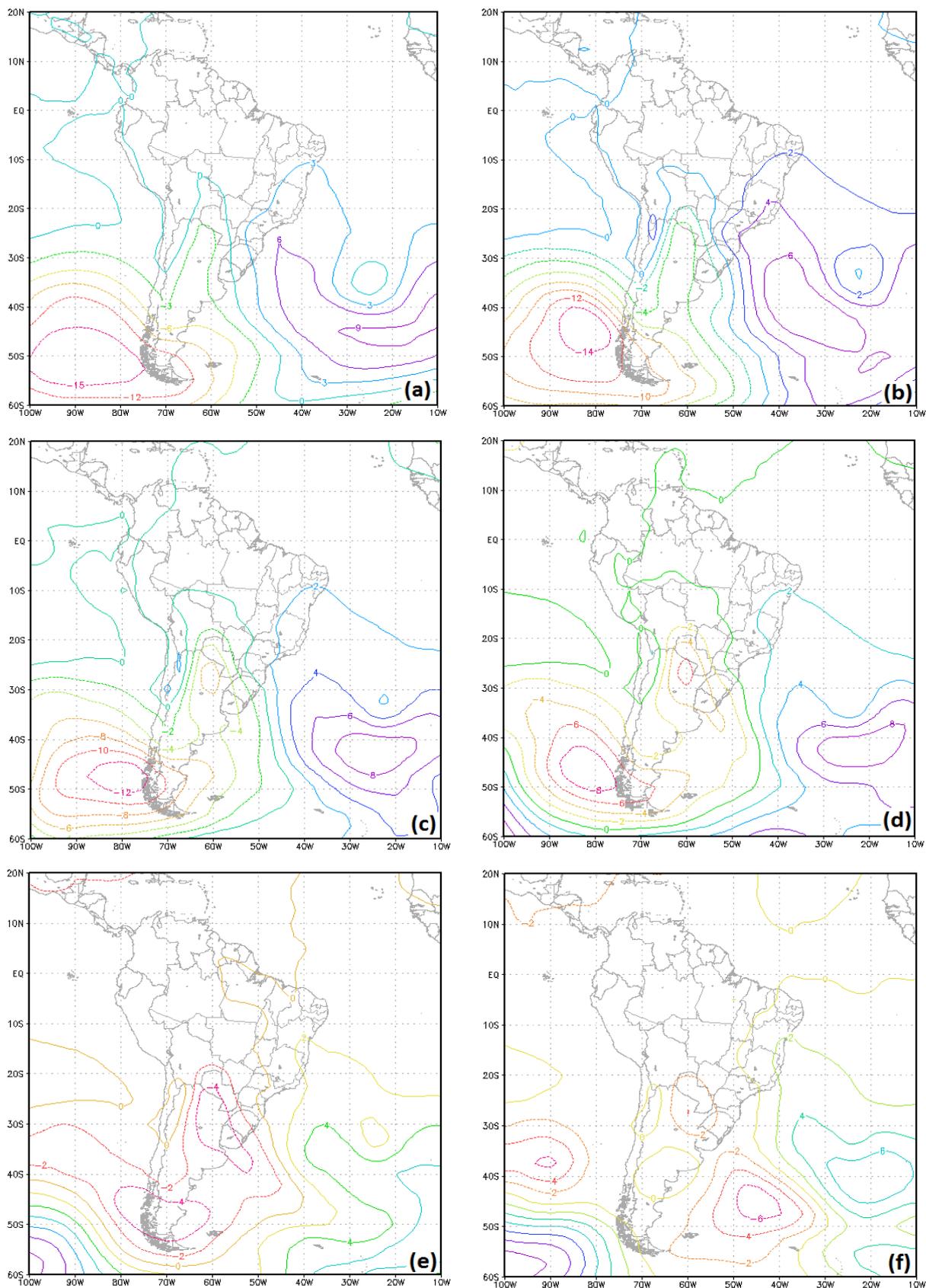


Figura 32 – Campos de anomalia de pressão reduzida ao nível médio do mar dos compostos do mês de outubro nos tempos ($t-3$, $t-2$, $t-1$, $t=0$, $t+1$, $t+2$) respectivamente (a, b, c, d, e, f).

Para o mês de outubro, a análise do campo composto de linhas de corrente no nível de 925hPa e instante $t=0$ na figura 33d, a circulação da ASAS é encontrada em torno de 28°S e 16°W , sua circulação influencia na predominância dos ventos sobre o litoral Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil, caracterizando a direção dos ventos nestas regiões como de nordeste no Sul e Sudeste do Brasil e de leste no Nordeste do Brasil. Uma circulação ciclônica está situada sobre o oceano Pacífico Sul entre 40°S e 50°S ocasionando ventos de noroeste sobre o Sul do Chile e Argentina. A costa Oeste da AS entre a linha do equador e a latitude de 30°S possuem ventos de sudeste influenciados pela ASP. Sobre o Norte do Brasil os ventos predominantes são de leste e sobre o Centro do Brasil os ventos estão de norte indicando uma convergência sobre o Norte da Argentina.

De acordo com a figura 33, que demonstra a evolução temporal dos compostos, a ASAS oscila a sua longitude entre 6°W e 24°W e sua latitude entre 25°S e 28°S .

O campo composto de linhas de corrente no nível de 850hPa para o caso de outubro no instante $t=0$ na figura 34d, apresenta a ASAS centrada em torno de 27°S e 19°W com sua circulação atingindo a costa Leste do Brasil com ventos de leste sobre a costa Nordeste do Brasil e ventos de nordeste sobre a costa Sudeste do Brasil. A circulação ciclônica encontrada na região Sul do oceano Pacífico, implica nas linhas de corrente que interceptam as regiões do Chile e da Argentina com ventos de noroeste. Sobre a região Norte da AS e inclusive Norte do Brasil, a predominância dos ventos é de leste. As linhas de corrente sobre a região Central da AS apresentam uma trajetória com ventos de leste sobre a região do Amazonas, posteriormente as linhas de corrente assumem o sentido de noroeste passando sobre as regiões da Bolívia, Paraguai, Mato Grosso do Sul, região Sul do Brasil, Nordeste da Argentina e Uruguai.

Em relação aos campos compostos entre $(t-3)$ e $(t+2)$ apresentados na figura 34, não apresentam variações que destoem da descrição feita para o $t=0$.

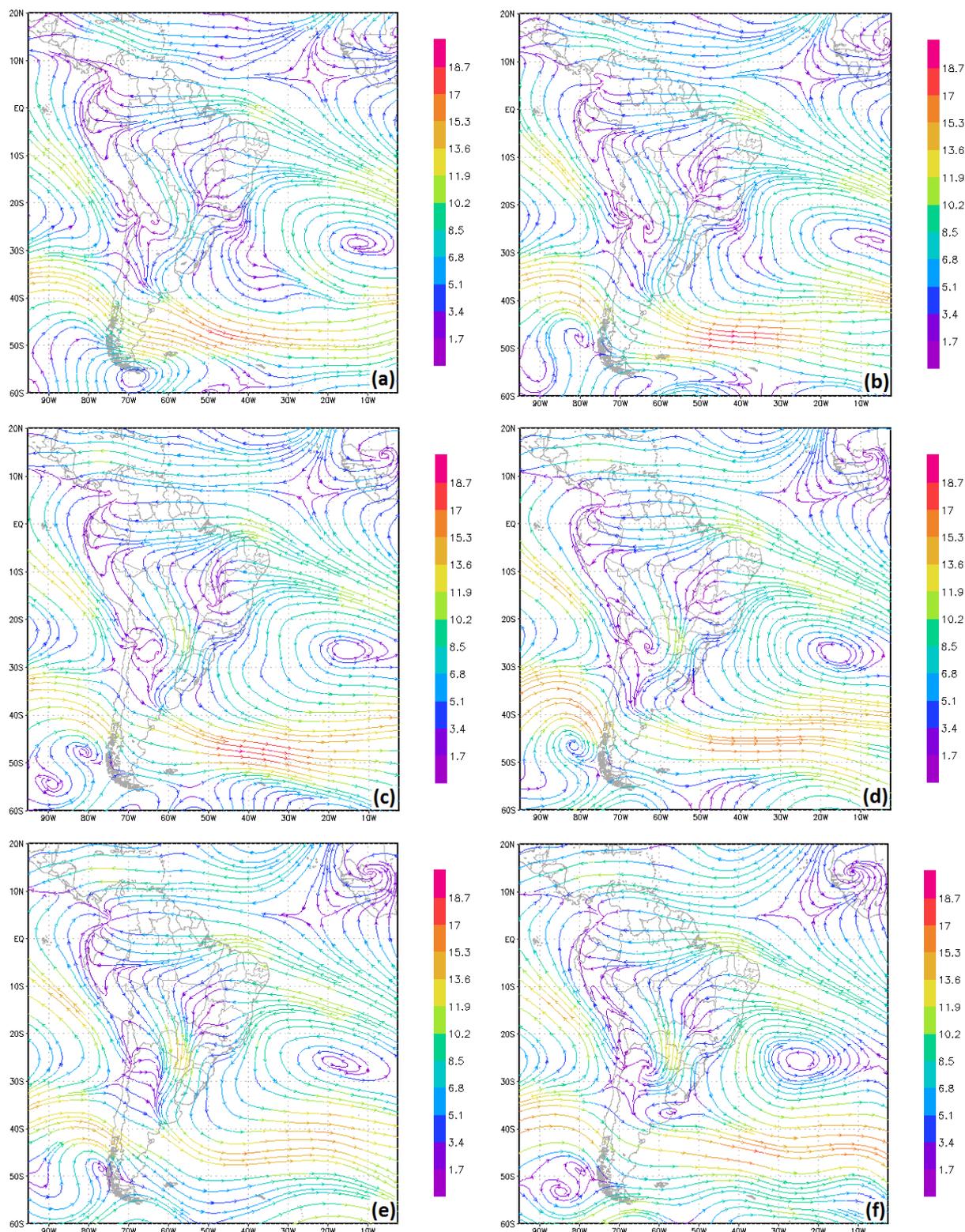


Figura 33 – Campos compostos de linhas de corrente no nível de 925hPa para o mês de outubro nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).

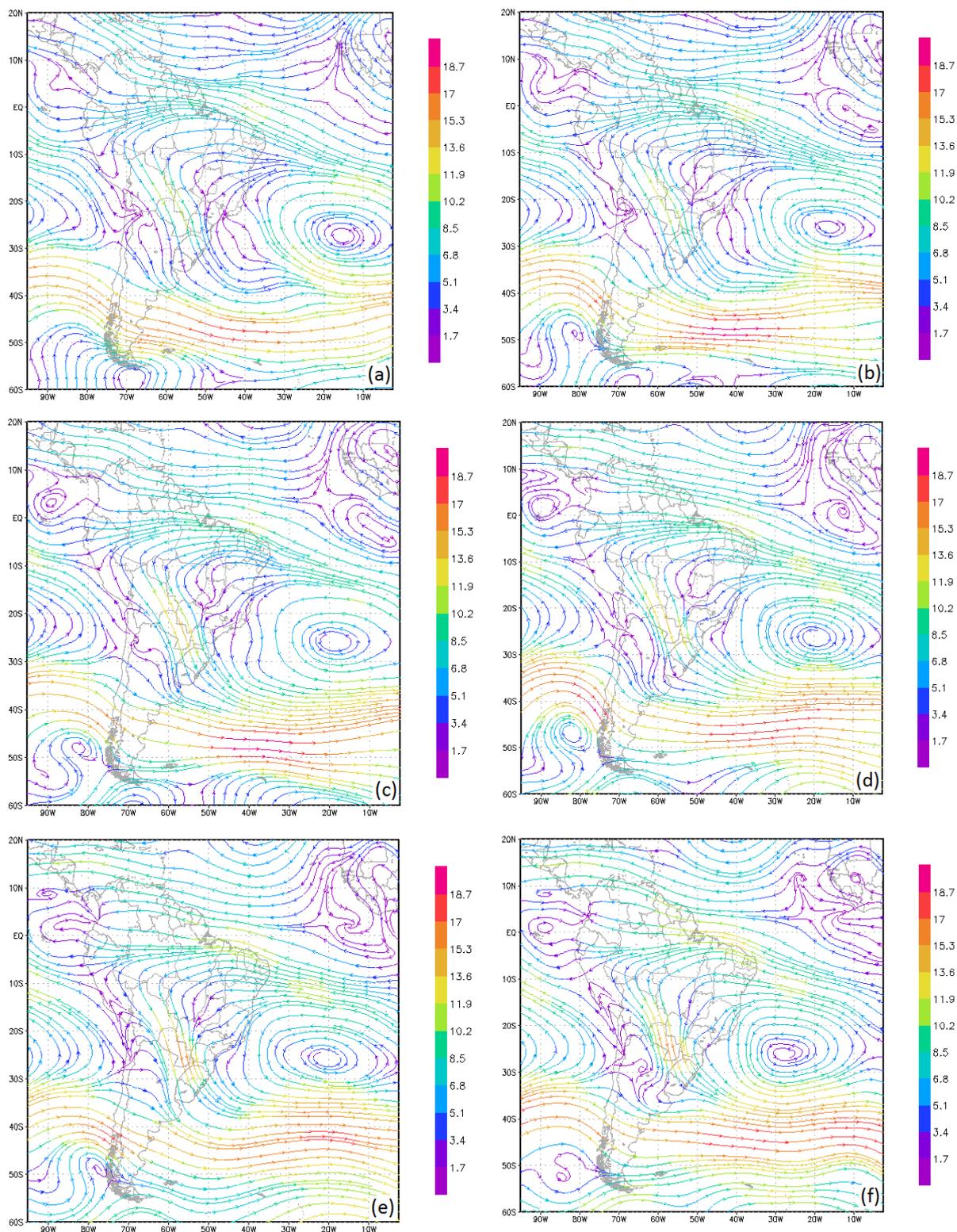


Figura 34 – Campos compostos de linhas de corrente no nível de 850hPa para o mês de outubro nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).

O nível de 700hPa em $t=0$ na figura 35d apresenta um cavado bem pronunciado sobre o oceano Pacífico Sul, localizado em torno de 85°W e estendendo-se desde 20°S até 45°S , fazendo com que as linhas de corrente indiquem uma circulação com sentido de noroeste sobre o Chile, Argentina e Uruguai. A circulação da ASAS tem centro localizado em torno de 25°S e 21°W . Sobre o Brasil, a predominância dos ventos é de uma circulação anticiclônica. Na região Norte da AS, composta pela Colômbia, Venezuela, Guiana, Suriname e Guiana Francesa, as linhas de corrente tem sentido de leste.

Os compostos apresentados pelos tempos precedentes e posteriores na figura 35, mostram que o cavado sobre o Pacífico Sul intensifica até o $t=0$ e posteriormente começa a enfraquecer além de não apresentar deslocamento. A ASAS apresenta deslocamento para oeste e a circulação anticiclônica sobre o Brasil apresenta deslocamento para leste, no tempo $t+2$ estas circulações se unem formando uma única circulação com sentido anti-horário em torno de 25°S e 30°W .

No nível de 500hPa para o $t=0$ na figura 36d, a circulação anticiclônica sobre o Brasil está mais definida, com seu centro sobre o estado do Mato Grosso do Sul abrangendo o Sul do Peru, Bolívia, Paraguai, Norte da Argentina, uma parte do oceano Pacífico do litoral do Peru, também uma parte do oceano Atlântico do litoral do Sul e Sudeste do Brasil e o Brasil com exceção da região Norte e Nordeste. À leste deste anticiclone há um cavado sobre o oceano Atlântico que se estende até a região Nordeste do Brasil. Ainda à leste deste cavado é percebida uma circulação anticiclônica fraca sobre o oceano Atlântico. Sobre o oceano Pacífico Sul é verificada a presença do cavado a oeste do Chile.

Sobre a análise de variação temporal dos compostos na figura 36, a circulação anticiclônica sobre o Brasil mostra um deslocamento para sudeste, aonde o seu centro chega a alcançar a região litorânea do estado de São Paulo. O cavado a leste do anticiclone intensifica até o instante $t=0$ e depois se dissipa.

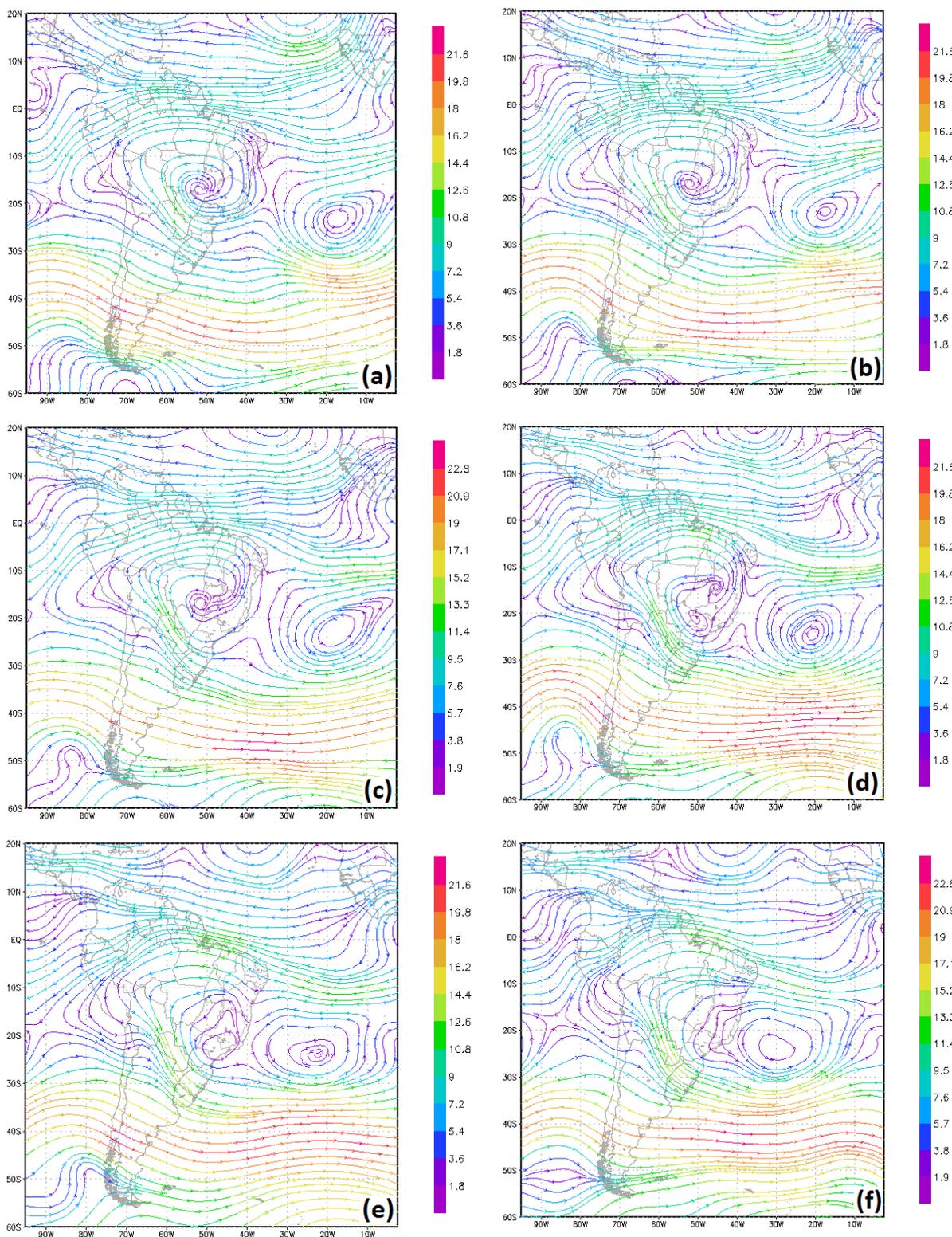


Figura 35 – Campos compostos de linhas de corrente no nível de 700hPa para o mês de outubro nos tempos ($t-3$, $t-2$, $t-1$, $t=0$, $t+1$, $t+2$) respectivamente (a, b, c, d, e, f).

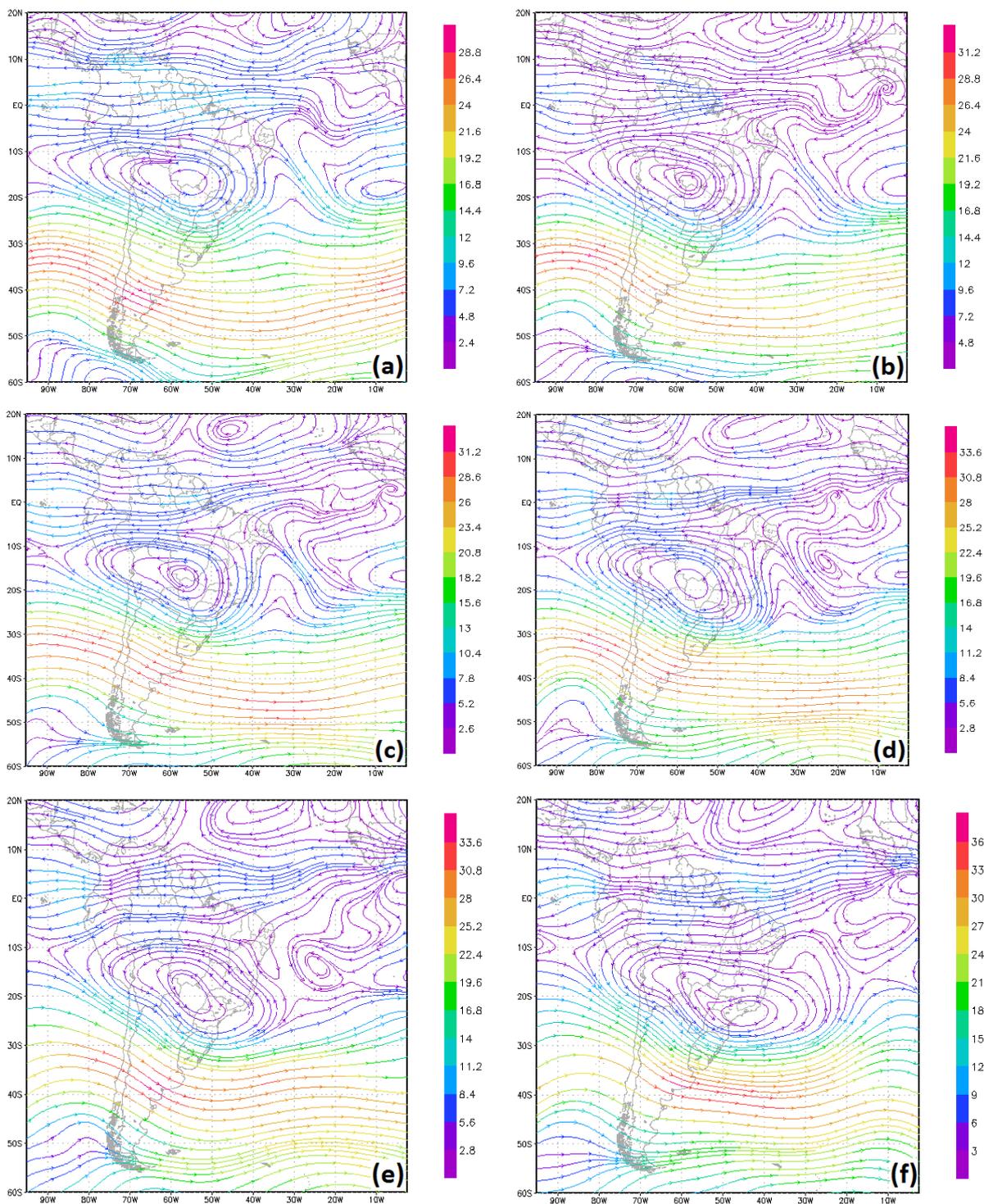


Figura 36 – Campos compostos de linhas de corrente no nível de 500hPa para o mês de outubro nos tempos ($t-3$, $t-2$, $t-1$, $t=0$, $t+1$, $t+2$) respectivamente (a, b, c, d, e, f).

No nível de 200hPa no tempo $t=0$ na figura 37d o sistema da AB esta centrado aproximadamente sobre a metade norte da Bolívia. A leste da AB e associado a este sistema é encontrado um intenso cavado que se estende desde a região Nordeste do Brasil até cerca 28°S sobre o oceano Atlântico. O Jato Subtropical apresenta configuração transversal de noroeste para sudeste com sua maior intensidade sobre a Argentina em torno de 55m/s. Outro cavado também é observado sobre o oceano Pacífico Sul a sudoeste do Chile.

De acordo com progressão do tempo dos compostos na figura 37, a AB demonstra enfraquecimento até a desconfigurar o seu centro de oclusão, ou seja, o composto não consegue manter o centro da AB fechado na média dos dias. O cavado a leste da AB apresenta intensificação. O cavado localizado no Pacífico Sul indica uma atenuação da sua onda.

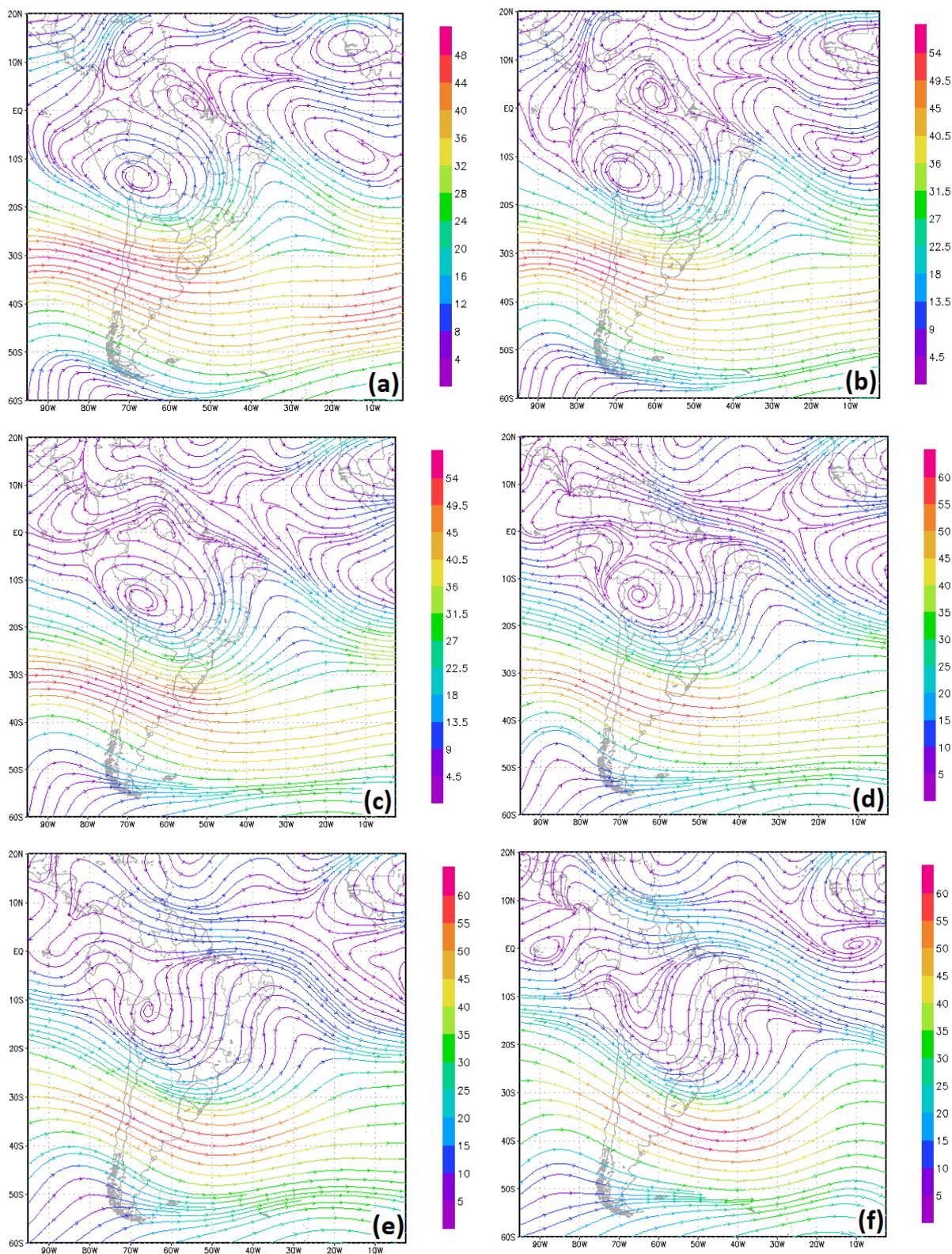


Figura 37 – Campos compostos de linhas de corrente no nível de 200hPa para o mês de outubro nos tempos (t-3, t-2, t-1, t=0, t+1, t+2) respectivamente (a, b, c, d, e, f).

Os campos de advecção de umidade relativa do ar na figura 38 apresentam para os três casos (agosto, setembro e outubro) advecção positiva sobre as regiões Nordeste do Brasil, Sul da Argentina e sobre o oceano Pacífico a oeste do Chile. Sinais negativos de advecção de umidade são encontrados sobre o oceano Pacífico a oeste do Peru e sobre o oceano Atlântico a leste da Argentina nos três casos. Sobre o continente, advecções negativas são visualizadas sobre a região Sul do Brasil e a leste desta sobre o oceano Atlântico para o caso de agosto na figura 39a, sobre região Leste do Paraguai para o caso de setembro na figura 38b e sobre o Sul do Paraguai, Nordeste da Argentina e Oeste do Rio Grande do Sul (Figura 38c).

Locais com disponibilidade elevados teores de umidade relativa do ar aliados a uma forçante térmica ou dinâmica indicam a possibilidade de ocorrer formação de chuva, principalmente com a presença de aerossóis na atmosfera, pois podem atuar como núcleos de condensação. A ocorrência da precipitação provoca uma limpeza na atmosfera, causando a deposição dos aerossóis. Em contrapartida, locais com baixos valores de umidade relativa do ar, inibem a formação de precipitação além de contribuírem para a ocorrência de queimadas que afetam a EOA.

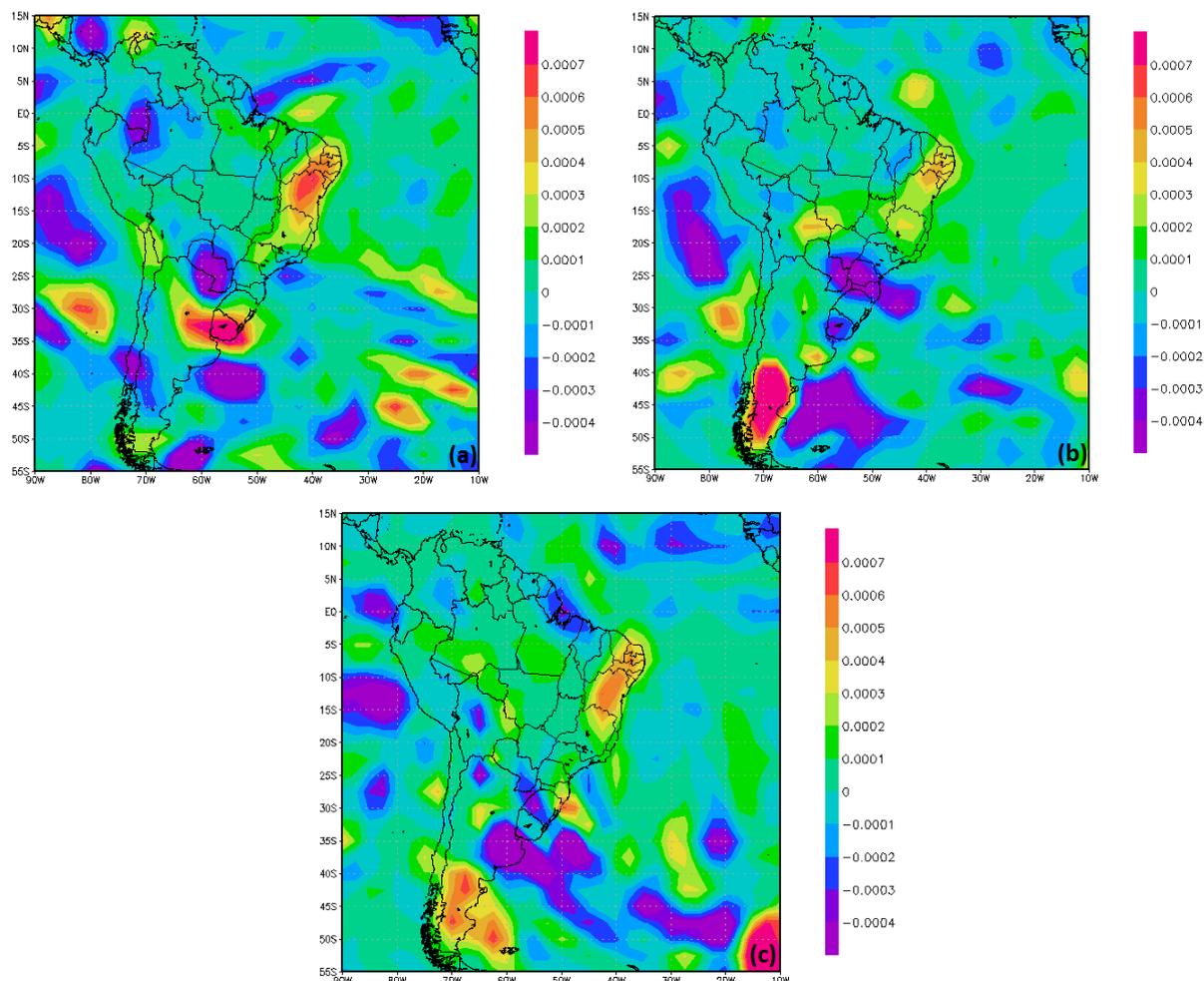


Figura 38 – Campos compostos de advecção umidade relativa do ar no nível de 925hPa para os casos de (a) agosto, (b) setembro e (c) outubro.

Os campos compostos de advecção de temperatura do ar no nível de 925hPa na figura 39, para os casos de agosto (a), setembro (b) e outubro (c), indicaram advecções de temperatura positiva que predominaram na região Sul do Brasil e sobre o oceano Atlântico próximo ao litoral para os casos de agosto e setembro. Para o caso de outubro a advecção de temperatura positiva ficou mais concentrada nas regiões do Rio Grande do Sul e litoral, região Sul do Paraguai e Nordeste da Argentina. Advecções de temperatura negativa são encontradas nas regiões Nordeste do Brasil e Sudeste da Argentina para os três casos.

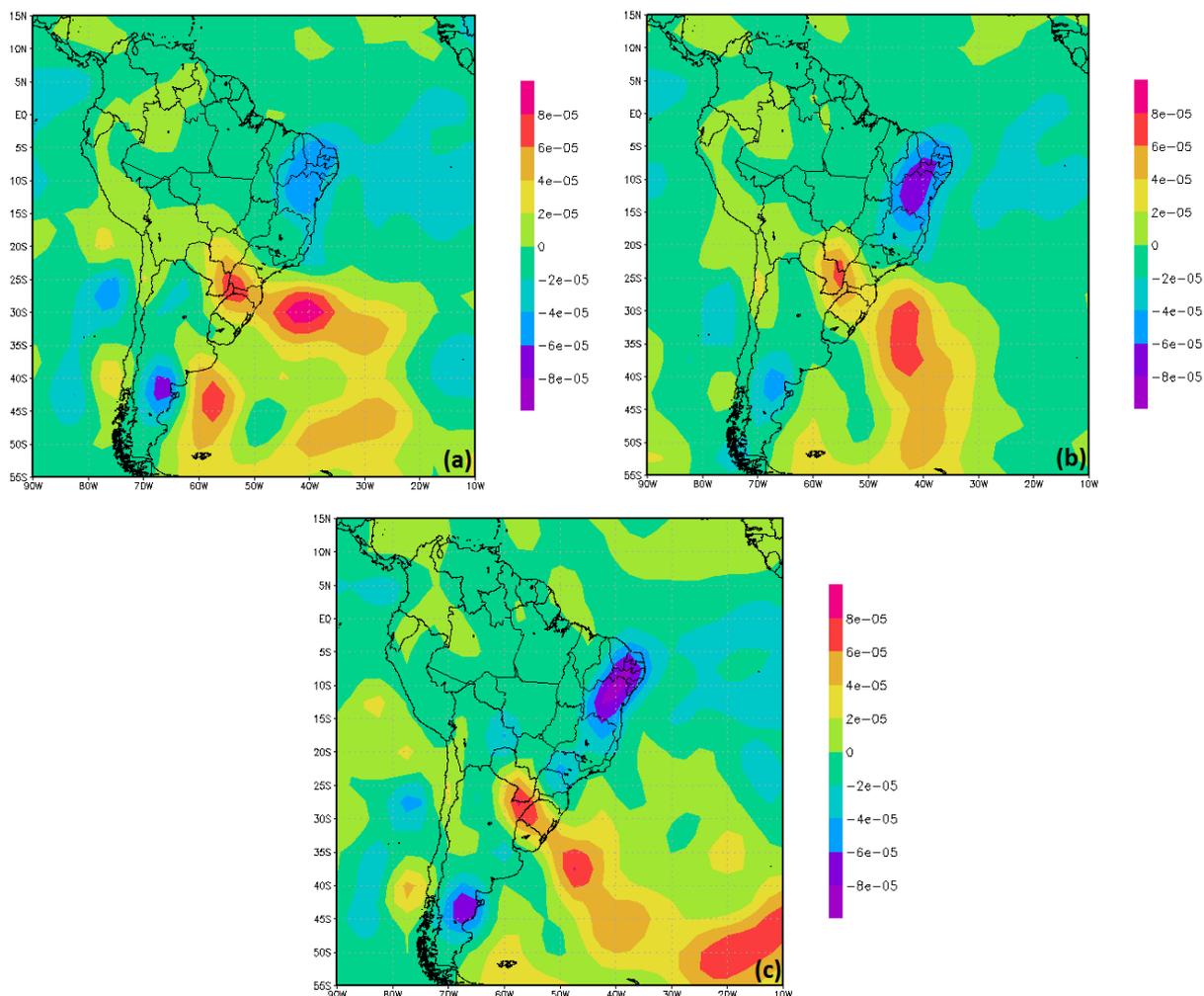


Figura 39 – Campos compostos de advecção de temperatura do ar no nível de 925hPa para os casos de (a) agosto, (b) setembro e (c) outubro.

Os campos compostos de ω no nível de 925hPa e no tempo $t=0$ apresentaram uma configuração similar durante os três casos (agosto, setembro e outubro) (Figura 40). Dispostos sobre a região Norte do Chile e Nordeste da Argentina, os núcleos com valores de ω positivos entre 0,10Pa/s a 0,25Pa/s, indicando movimento subsidente do ar. Outro núcleo, também com valores positivos de ω da ordem de 0,10Pa/s a 0,20Pa/s, esta localizado sobre a região Sudeste da Argentina. Sobre a costa Sudoeste do Chile está localizado um núcleo de ω com valores negativos, que indica movimento ascendente do ar. Ainda, sobre a região Nordeste do Brasil, há um centro de ω com valores negativos entre -0,05Pa/s e -0,10Pa/s.

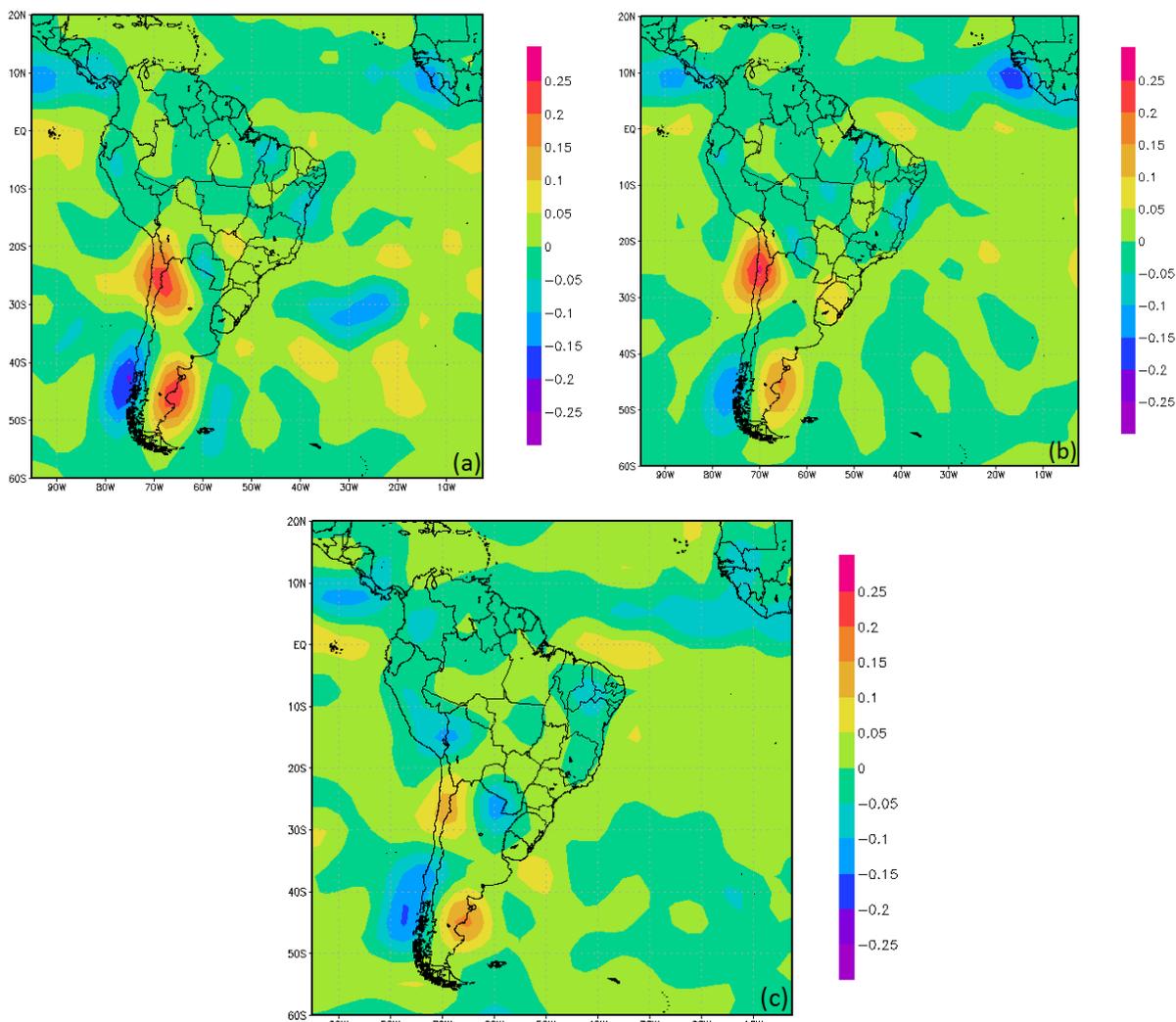


Figura 40 – Campos compostos de ω no nível de 925hPa no tempo $t=0$ para os casos de (a) agosto, (b) setembro e (c) outubro.

Valores de ω positivo indicam movimento descendente do ar, que inibem a formação de nuvens de chuva e conseqüentemente colaboram para a ocorrência de queimadas. Os valores negativos de ω apontam para movimentos ascendentes do ar, capaz de transportarem umidade para níveis mais elevados da atmosfera proporcionando a formação de nuvens de chuva, estas que interagem com a EOA através da deposição.

4.1 Análise do ENOS

Como já foi descrito anteriormente, o fenômeno do ENOS afeta o regime de precipitação da AS, que por sua vez implica em alterações na EOA, através de estiagens que favorecem as queimadas ou por intensificação da precipitação que colabora para a remoção dos aerossóis da atmosfera.

Na tabela 3 podemos visualizar a relação da ocorrência de eventos de ENOS com os dias selecionados de alto valor da EOA.

Tabela 3- Dias com espessura ótica elevada, associados ao ENOS no período de 2002 – 2011. El Niño (vermelho), La Niña (azul), Neutro (Preto).

Anos	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2009	2010	2011
Dias	16/08	07/02	14/09	28/08	15/09	26/08	14/01	23/08	04/01
	06/09	07/09	15/09	29/08		27/08		26/08	09/06
	17/09	20/09	16/09			07/09		27/08	29/08
	18/09		18/09			11/09		28/08	04/09
	30/09		19/09			14/09		12/09	05/09
	05/10		20/09			20/09		22/09	
	08/10		21/09			03/10			
			24/09			04/10			
						05/10			
					06/10				

Foram identificados 17 dias com evento El Niño representando 40% da amostra, 19 dias com evento La Niña representando 44% da amostra e 07 dias de neutralidade representando 16% da amostra que tem um total de 43 dias. A figura 41 demonstra a distribuição dos episódios do ENOS.

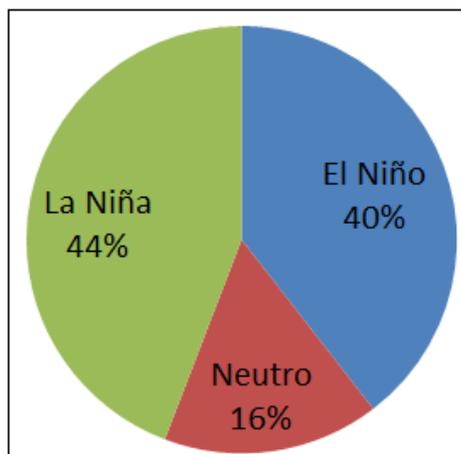


Figura 41 – Ocorrência de ENOS nos dias selecionados com elevada EOA no período de 2002 – 2011.

Do total de dias de elevada EOA, 40% ocorreram em anos de eventos El Niño, colaborando para maior ocorrência de focos de queimadas em algumas regiões, como por exemplo, nas regiões Nordeste do Brasil e extremo oeste da região Nordeste da Bolívia, devido ao El Niño estar associado a anomalias negativas de precipitação nestas regiões, entretanto, favorece para o aumento da precipitação em regiões como Centro-Sul do Brasil, Paraguai e Norte da Argentina, propiciando a diminuição de aerossóis na atmosfera pela chuva.

Através de dados do Grupo de Queimadas do CPTEC/INPE, os meses classificados com ocorrência de El Niño contabilizam um total de 201814 focos de queima de biomassa sobre as regiões Sul, Centro-Oeste e Norte do Brasil, sendo que, para cada uma destas regiões foram totalizados 3064, 95156 e 103594, focos de queimadas, respectivamente. Na ocorrência do evento El Niño, a anomalia mensal de focos de queimadas para o trimestre de agosto, setembro e outubro, foi positiva em relação ao período de estudo (2002-2011) para os três meses, nas regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil, mas foi negativa na região Sul do Brasil, como mostra a (Tabela 4).

A implicação do evento La Niña em relação aos eventos de altos valores de EOA sobre o Sul do Brasil em 44% dos dias da amostra indica um comportamento similar ao comentado para El Niño, variando apenas as regiões que afetam. O fenômeno La Niña influencia de forma positiva as anomalias de precipitação para regiões como: Peru, Colômbia, Norte da Bolívia, Paraguai, sudoeste da região

Sudeste do Brasil e colabora com anomalias negativas de precipitação nas regiões Noroeste da Argentina, extremos leste e oeste da região Norte do Brasil, região do semiárido nordestino, Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte.

Nos meses do período de ocorrência do evento La Niña, da amostra de altos valores de EOA, para as regiões Norte, Centro-Oeste e Sul do Brasil, ocorreram 147861, 113717 e 7811 focos de queimadas, respectivamente, totalizando 269389 focos na atuação do evento La Niña. De acordo com a tabela 4, a anomalia mensal de focos de queimadas, durante evento de La Niña, para as regiões Sul, Centro-Oeste e Norte do Brasil, foi positiva em relação ao período de estudo nos meses de agosto e setembro e foi negativa no mês de outubro.

Tabela 4- Anomalia dos focos de queimadas nos meses de agosto, setembro e outubro para as regiões Sul, Centro-Oeste e Norte do Brasil para o ENOS no período de 2002 - 2011.

	Anomalia para El Niño			Anomalia para La Niña		
	Sul	Centro Oeste	Norte	Sul	Centro Oeste	Norte
Agosto	-335,8	7238,4	3392,2	440,2	6961,4	13256,2
Setembro	-284,2	1918,4	594,6	590,5	4110,8	3672
Outubro	-193,3	5924,6	4202,2	-196,3	-298,4	-2179,8

O fenômeno El Niño Modoki, afeta a EOA similarmente ao ENOS tradicional, colaborando para a ocorrência de focos de queimadas em algumas regiões, que intensificam a EOA, ou aumentando o regime de chuvas em determinadas regiões, favorecendo para a limpeza dos aerossóis da atmosfera. O efeito do Modoki, basicamente diverge de El Niño tradicional com relação às áreas de atuação em que afetam o regime de precipitação, como por exemplo, aumento da precipitação na região do Nordeste e estiagem nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. O ENOS Modoki, portanto, também pode influenciar nos casos com dias de elevada EOA. A tabela 5 relaciona os casos/dias com a ocorrência o ENOS Modoki.

No caso de El Niño Modoki, o mês de setembro de 2004 apresentou 53176 focos de queima de biomassa para as regiões Sul, Centro-Oeste e Norte do Brasil, sendo 863, 28283 e 24030 para cada respectiva região. A anomalia de focos de queimadas em relação ao período de (2002-2011) foi de -106, 9472 e 1924 para as regiões Sul, Centro-Oeste e Norte do Brasil, respectivamente, durante o El Niño Modoki. Para os meses identificados com La Niña Modoki o total de focos de

queimadas para as regiões Sul, Centro-Oeste e Norte do Brasil foi de 59023, dividido para as regiões com 924, 26071 e 32028 focos respectivamente, segundo dados do Grupo de Queimadas do CPTEC/INPE. Em relação à anomalia mensal de focos de queimadas do período, em casos de La Niña Modoki, no mês de setembro foi positiva nas regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil e no mês de janeiro foi positiva somente na região Centro-Oeste.

Tabela 5- Dias com espessura ótica elevada, associados ao El Niño Modoki no período de 2002 – 2011. El Niño Modoki (vermelho), La Niña Modoki (azul), Neutro (Preto).

Anos	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2009	2010	2011
Dias	16/08	07/02	14/09	28/08	15/09	26/08	14/01	23/08	04/01
	06/09	07/09	15/09	29/08		27/08		26/08	09/06
	17/09	20/09	16/09			07/09		27/08	29/08
	18/09		18/09			11/09		28/08	04/09
	30/09		19/09			14/09		12/09	05/09
	05/10		20/09			20/09		22/09	
	08/10		21/09			03/10			
			24/09			04/10			
						05/10			
						06/10			

O El Niño Modoki esteve presente em 19% dos casos, enquanto o La Niña Modoki representa 9% dos casos e os casos neutros somam 72% da amostra como mostra a (Figura 42).

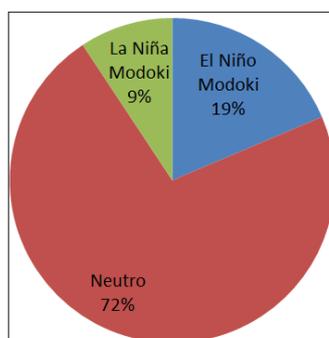


Figura 42 - Ocorrência de El Niño Modoki nos dias selecionados com elevada EOA no período de 2002 – 2011.

4.2 Estudo de caso

Os dias identificados com altos valores de EOA através do percentil 99 por Oliveira (2013) somam um total de 43 dias. De acordo com as análises feitas percebeu-se que 39 dias apresentaram uma distribuição sazonal, concentrando-se mais nos meses de agosto, setembro e outubro, onde foram estudados através da análise de campos compostos. Desta forma foram selecionados três dias/casos (23/08/2010, 21/09/2004 e 04/10/2007) de altos valores de EOA distribuídos nos meses de agosto, setembro e outubro para estudo de caso e para serem analisados em relação aos compostos.

4.2.1 Caso/dia 23/08/2010

O campo de pressão reduzida ao nível médio do mar para o caso/dia (23/08/2010) na figura 43, apresenta a ASAS com seu centro posicionado em torno de 25°S e 20°W, atingindo as regiões Nordeste, Sudeste e Sul do Brasil, e a ASPS posicionada em 28°S e 100°W, ambas não compreendidas totalmente nesta figura. As posições e abrangências das altas semipermanentes são praticamente as mesmas as encontradas no composto de pressão reduzida ao nível médio do mar para o mês de agosto (Figura 17d). Sobre o continente, observam-se dois centros de pressões, um centro de baixa pressão sobre a região Nordeste da Argentina envolvendo o Paraguai e o Uruguai e um centro de alta pressão sobre a região Noroeste da Argentina englobando o Norte do Chile. Sobre a região Sul do oceano Pacífico a sudoeste do Chile existe um cavado que se estende desde 65°S até 45°S em aproximadamente 90°W.

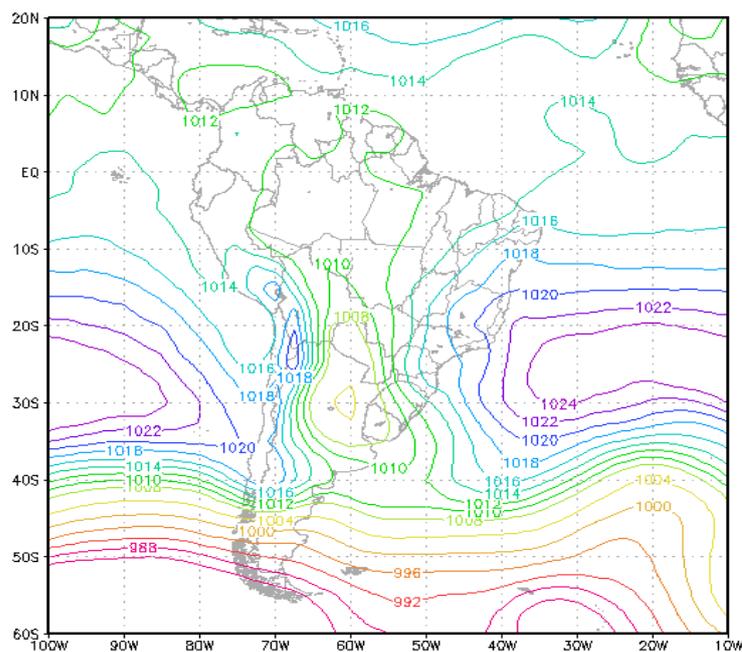


Figura 43 – Campo de pressão reduzida ao nível médio do mar do dia 23/08/2010.

O campo de linhas de corrente no nível de 925hPa na figura 44a, apresenta a circulação da ASAS, atingindo a costa Leste do Brasil com ventos de sudeste sobre a região Nordeste e ventos de nordeste sobre as regiões Sudeste e Sul. Sobre a região Norte e Central da AS a predominância das linhas de corrente indicam que os ventos estão convergindo nestas regiões. Na região Nordeste da Argentina os ventos possuem movimento de convergência e sobre a região Sul da Argentina e Chile os ventos são de noroeste, devido a influencia da onda que atua no oceano Pacífico Sul.

No nível de 850hPa o campo de linhas de corrente continua apresentando a ASAS alcançando a costa Leste do Brasil (Figura 44b). Sobre a região Norte da AS os ventos estão de sudeste. Na região Central da AS as linhas de corrente indicam ventos de leste sobre a região Norte do Brasil fazendo uma curvatura sobre a região do estado do Amazonas e assumindo o sentido de noroeste sobre as regiões da Bolívia, Paraguai, Mato Grosso do Sul e região Sul do Brasil. Esta configuração é muito semelhante a encontrada pelo composto de linhas de corrente para o mês de agosto no nível de 850hPa (Figura 20d). Sobre a região Sul do Chile e da Argentina os ventos tem orientação de oeste, influenciados pelo cavado encontrado no Pacífico Sul.

A figura 44c mostra o campo de linhas de corrente no nível de 700hPa, onde é possível visualizar a circulação da ASAS com seu centro posicionado aproximadamente em 23°S e 42°W e as linhas de corrente acompanham essa circulação sobre as regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste do Brasil. Na região Norte da AS os ventos estão de leste. Sobre a Argentina as linhas de corrente indicam ventos de oeste.

A configuração das linhas de corrente nos níveis de 850hPa e 700hPa indicam que possivelmente aerossóis poderiam ser transportados das regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil, Bolívia e Paraguai para a região Sul do Brasil. No mês de agosto de 2010 ocorreram 35796 focos de queimadas sobre a região Norte do Brasil, 19243 sobre a região Centro-Oeste, 13076 sobre a região Nordeste e 1511 focos sobre a região Sul do Brasil, de acordo com os dados do Grupo de Queimadas do CPTEC/INPE. Este fator corrobora com a ideia de transporte da material particulado para a região sul devido ao grande volume de queima de biomassa nas regiões Norte, Centro-Oeste e Nordeste do Brasil.

No campo de linhas de corrente no nível de 500hPa na figura 44d, observa-se uma circulação anticiclônica sobre a região Central da AS e sua circulação domina esta região. Na região Sul da Argentina e do Chile os ventos são de oeste, passando para ventos de noroeste na região Central e na região Norte. Sobre o Norte da AS as linhas de corrente indicam ventos predominantes de nordeste passando para leste. Um vórtice anticiclônico é encontrado sobre o oceano Atlântico em aproximadamente 9°N e 21°W.

Na figura 44e, o nível de 200hPa do campo de linhas de corrente exibe a circulação da Alta da Bolívia centrada em torno de 9°S e 57°W. Com núcleo localizado em 10°S e 10°W, um vórtice anticiclônico atua englobando a região Nordeste do Brasil. O Jato Subtropical apresenta configuração transversal com orientação de noroeste para sudeste sobre a região Central da Argentina e Chile.

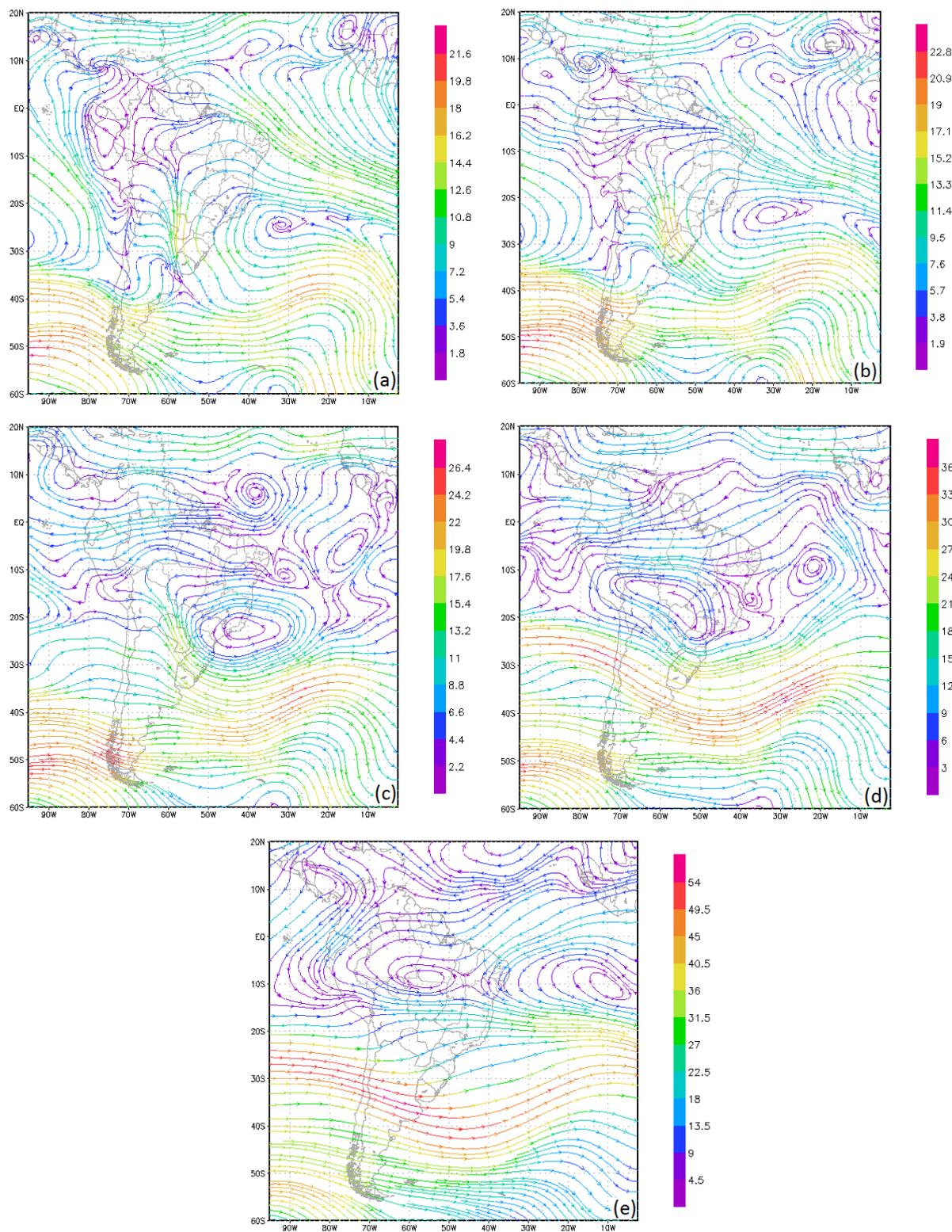


Figura 44 – Campos de linhas de corrente para o dia 23/08/2010 nos níveis (925hPa, 850hPa, 700hPa, 500hPa, 200hPa) respectivamente (a, b, c, d, e).

Pelo campo de ômega apresentado na figura 45, é constatado no nível de 925hPa um núcleo de ômega com valor positivo sobre a região Norte da Argentina. Sobre a região Sul da AS são encontrados três núcleos de ômega, dois com sinal negativo, um localizado sobre o oceano Pacífico a sudoeste do Chile e o outro na região Nordeste da Argentina, e um terceiro sobre a região Sudeste da Argentina com sinal positivo. Sobre a região Nordeste do Brasil, nota-se a existência de um núcleo de ômega com sinal negativo.

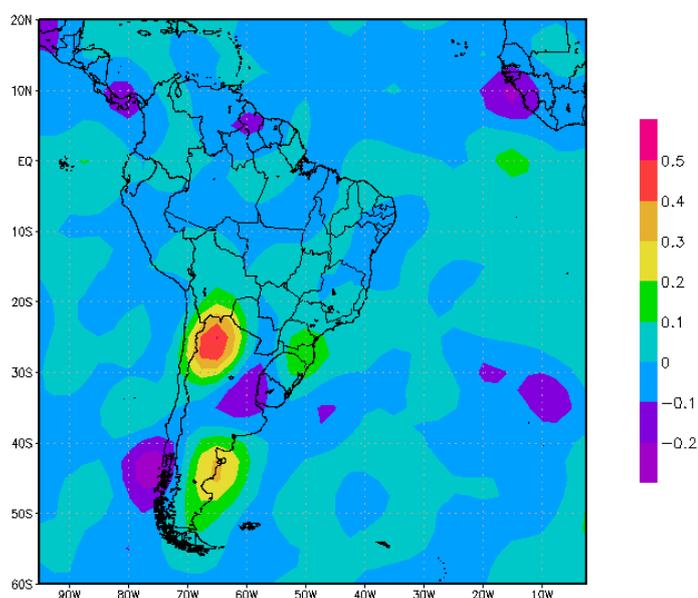


Figura 45 – Campo de ômega para o dia 23/08/2010 no nível de 925hPa.

No campo de advecção de temperatura do ar na figura 46a, visualizamos que os valores negativos de advecção de temperatura estão concentrados sobre a Argentina e nordeste do Brasil. Já as advecções positivas estão localizadas sobre o Uruguai, Nordeste da Argentina, Paraguai, Sul do Mato Grosso do Sul e Sudoeste do Rio Grande do Sul. Justamente nestas regiões de temperatura mais elevada foi onde também ocorreram advecções de umidade relativa do ar negativa (Figura 46b). Ainda, em relação à advecção de umidade relativa do ar, são encontrados sobre a região Noroeste e Sul da Argentina e Nordeste do Brasil, valores positivos de advecção de umidade. Em contra partida, sobre as regiões Norte da AS, Uruguai e Leste da Argentina, os valores de advecção de umidade relativa do ar são negativos.

As regiões onde a umidade relativa do ar está mais baixa estão mais suscetíveis à ocorrência de queimadas, por exemplo, as regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil apresentaram grande quantidade de focos de queimadas em comparação com a região Sul, ao contrário, as regiões com altos valores de umidade do ar estão mais dispostas à formação de nuvens e por consequência precipitação.

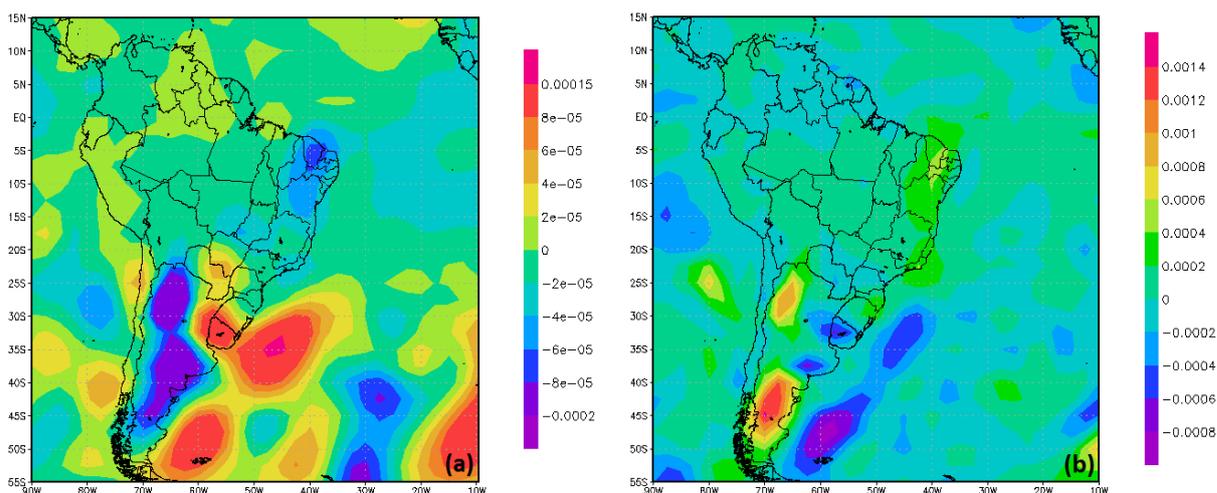


Figura 46 – Campos de advecção de temperatura do ar (a) e advecção de umidade relativa (b) para o dia 23/08/2010 no nível de 925hPa.

Este estudo de caso indica que, de acordo com a configuração dos campos meteorológicos, por exemplo, escoamento nos níveis de 850hPa e 700hPa apontando para a região Sul do Brasil, sistema de alta pressão próximo a costa Leste do Brasil, campo de advecção de umidade relativa do ar indicando valores negativos, número elevado de focos de queima de biomassa na trajetória do escoamento em direção ao Sul do país, possibilitem o transporte de aerossóis para a região Sul do Brasil.

4.2.2 Caso/dia 21/09/2004

O campo de pressão reduzida ao nível médio do mar na figura 47 ilustra um cavado sobre a região Sul da Argentina e Chile. A nordeste deste cavado, sobre o oceano Atlântico, existe um núcleo anticiclônico com seu centro posicionado

aproximadamente em 41°S e 38°W. A ASAS está posicionada em torno de 30°S e 22°W e a ASPS em torno de 34°S e 95°W, ambas não compreendidas totalmente nesta figura. O posicionamento do centro e a predominância da ASAS são muito próximos aos encontrados no campo composto de pressão ao nível médio do mar para o caso do mês de setembro (Figura 24d). Sobre a AS predomina a baixa pressão continental.

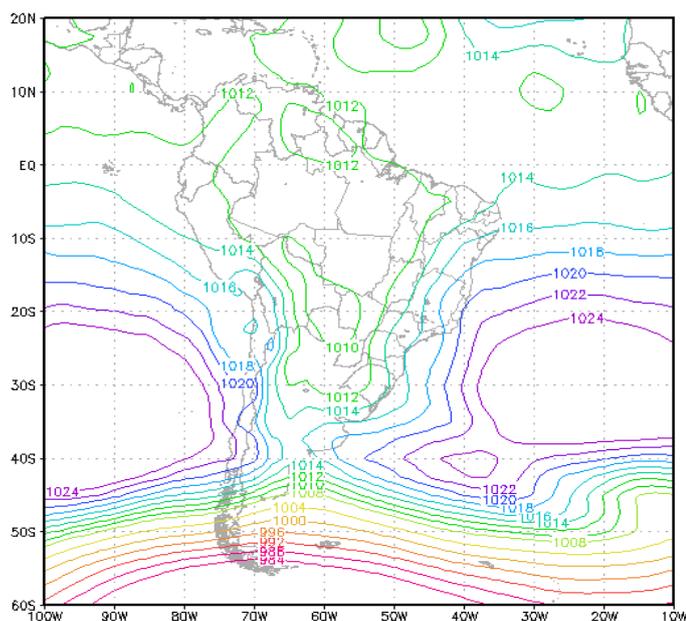


Figura 47 – Campo de pressão reduzida ao nível médio do mar do dia 21/09/2004.

O campo de linhas de corrente no nível de 925hPa na figura 48a, apresenta a região Sul da Argentina sendo interceptada por ventos de oeste que acompanham a circulação do cavado ao sul da Argentina. A ASPS está com seu centro posicionado em 35°S e 92°W e a ASAS está com seu centro em torno de 31°S e 19°W e sua circulação influencia os ventos na zona litorânea do Brasil com ventos de sudeste na região Nordeste do Brasil e ventos de nordeste nas regiões Sudeste e Sul do Brasil. Sobre o Brasil as linhas de corrente indicam convergência sobre o Mato Grosso e sobre o Nordeste da Argentina indicam uma vorticidade ciclônica.

A figura 48b, linhas de corrente no nível de 850hPa, mostra a ASAS com seu núcleo posicionado em torno de 30°S e 21°W e sua circulação atingindo o Centro do Brasil. As linhas de corrente acompanham a circulação da ASAS sobre o Brasil atingindo as regiões Nordeste, Sudeste e Norte com ventos de leste mudando sua

direção e atingindo as regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil além da Bolívia e o Paraguai com ventos de noroeste. A ASAS se apresentou de forma muito semelhante no composto de linhas de corrente para o caso de setembro no nível de 850hPa (Figura 27d). A ASPS está localizada em 33°S e 92°W. Sobre a região Sul da Argentina e Chile os ventos estão oeste acompanhando a circulação de um cavado que se encontra nesta localidade.

No campo de linhas de corrente no nível de 700hPa, o cavado no Sul da Argentina age nesta região implicando no sentido dos ventos de oeste. Sobre a região Central da Argentina há uma amplificação do cavado estendendo-se até 22°S e 78°W. A ASAS está localizada em 28°S e 24°W e atinge o Centro da AS com sua circulação. Ventos de noroeste atingem a Bolívia, o Paraguai, a região Nordeste da Argentina, a região Sul do Brasil e o Uruguai. As linhas de corrente apresentam-se de sudeste sobre a região Nordeste do Brasil e de nordeste sobre a região Noroeste da AS (Figura 48c).

A figura 48d, campo de linhas de corrente no nível de 500hPa, mostra uma circulação anticiclônica centrada sobre a região Oeste do Mato Grosso. Uma circulação ciclônica é encontrada sobre a região de Minas Gerais. No oceano Atlântico em torno de 27°S e 27°W há um anticiclone e uma outra vorticidade anticiclônica em 14°S e 28°W. Sobre a região Sul do Chile e da Argentina os ventos estão de sudoeste acompanhando a circulação do cavado situado a sul do Chile. Na região Norte da Argentina, Uruguai e região Sul do Brasil as linhas indicam ventos de noroeste, devido a influência do cavado a oeste do Chile sobre o oceano Pacífico. Na região Norte da AS a predominância dos ventos é de leste.

O campo de linhas de corrente no nível de 200hPa na figura 48e, ilustra a AB centrada sobre a região Oeste da Bolívia e Sul do Peru. Na região de Roraima é encontrada uma vorticidade anticiclônica. Sobre a região Sudeste do Brasil há um cavado que se estende até o oceano Atlântico em 25°S e 25°W. Sobre a metade sul da Argentina e Chile os ventos acompanham a curvatura do cavado localizado a sudoeste do Chile. O Jato Subtropical é visualizado sobre o oceano Pacífico, Chile, Argentina, Uruguai e oceano Atlântico compreendido entre 25°S e 30°S no Pacífico e estendendo-se por 85°W até 40°W atingindo o Atlântico entre 30°S e 35°S.

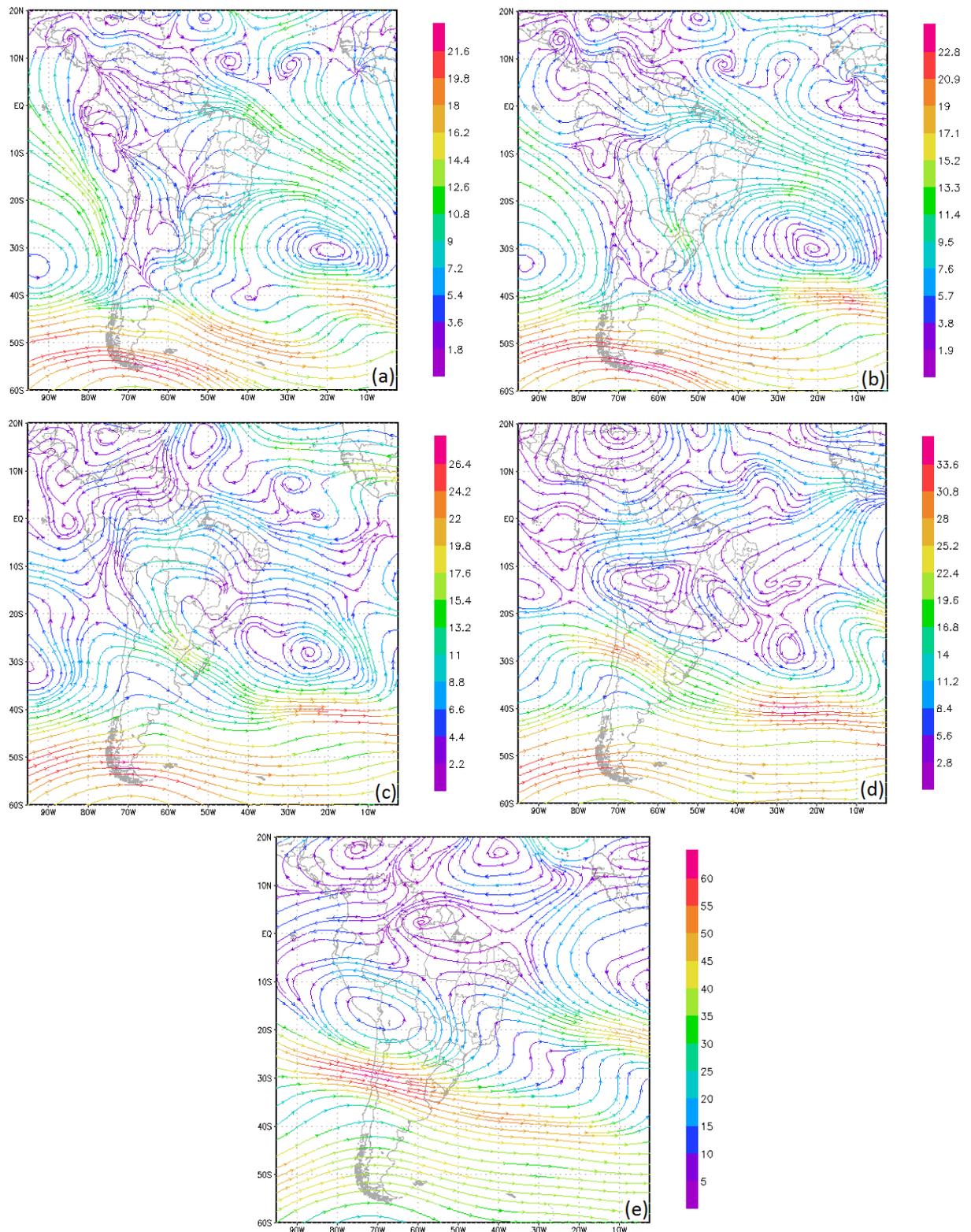


Figura 48 – Campos de linhas de corrente para o dia 21/09/2004 nos níveis (925hPa, 850hPa, 700hPa, 500hPa, 200hPa) respectivamente (a, b, c, d, e).

A figura 49 apresenta o campo de ômega no nível de 925hPa, onde são identificados núcleos de ômega com sinal negativo sobre as regiões Sudoeste do Peru e Sudoeste do Chile. Núcleos de ômega com sinal positivo são encontrados sobre as regiões Norte do Chile e Sudeste da Argentina.

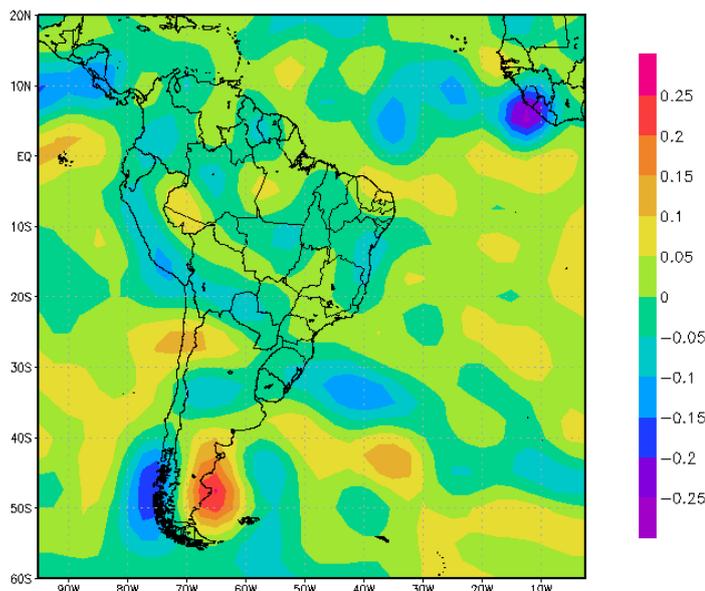


Figura 49 – Campo de ômega para o dia 21/09/2004 no nível de 925hPa.

A figura 50 apresenta os campos de advecção temperatura do ar (a) e advecção de umidade relativa do ar (b) ambas no nível de 925hPa. As advecções de temperatura positiva estão localizadas sobre a região Sul do Brasil, Paraguai, Sul da Bolívia, Norte do Chile e Noroeste da Argentina, enquanto que as advecções negativas são encontradas nas regiões Nordeste do Brasil e Sul da Argentina. No campo de advecção de umidade relativa os valores positivos estão concentrados nas regiões Sul da Argentina e Chile, Nordeste da Argentina e Nordeste do Brasil e os valores negativos estão localizados sobre a região Sul do Brasil e Sul do Paraguai.

Os valores negativos advecção de umidade relativa do ar podem ser associados à ocorrência de queima de biomassa, por exemplo, sobre o Brasil, as regiões onde ocorreram os advecções negativas de umidade podem ser associadas a região Centro-Oeste, onde foram registrados no mês de setembro 28283 focos de queimadas, seguido pela região Norte do Brasil com 24030 focos e na região Sul do

Brasil 863 focos queimadas, segundo dados do Grupo de Queimadas do CPTEC/INPE. Analisando estes fatores juntamente com as linhas de corrente, principalmente nos níveis de 850hPa na figura 48b e de 700hPa na figura 48c, que mostra o escoamento sobre a região Centro-Oeste do Brasil, que apresentou maior concentração de focos de queimadas, indicando que as condições são favoráveis ao transporte de aerossóis para a região Sul do Brasil.

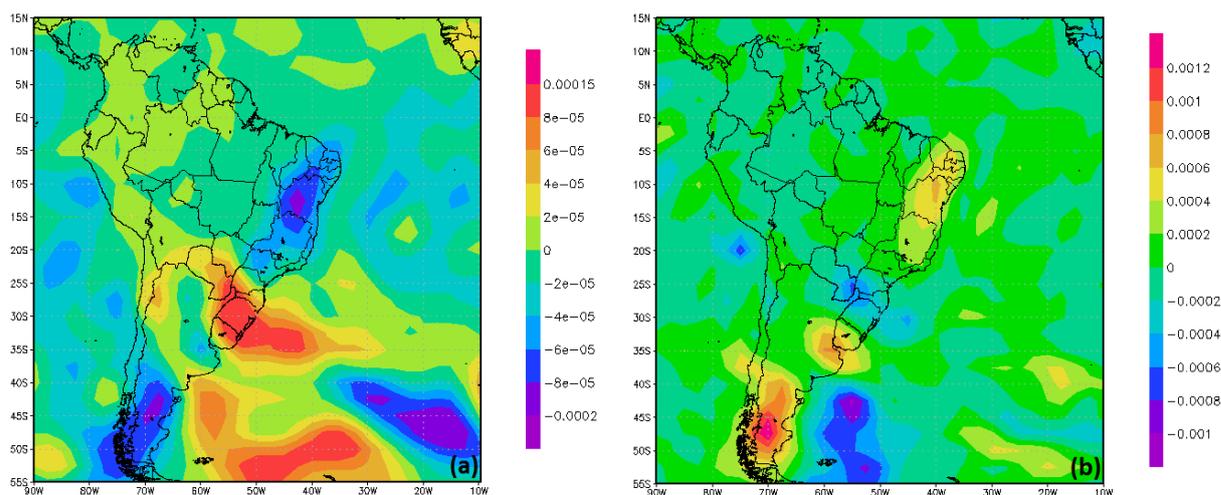


Figura 50 – Campos de advecção de temperatura do ar (a) e advecção de umidade relativa (b) para o dia 21/09/2004 no nível de 925hPa.

4.2.3 Caso/dia 04/10/2007

Na figura 51, o campo de pressão reduzida ao nível médio do mar apresenta a ASPS centrada em torno de 30°S e 100°W. Sobre o oceano Atlântico, a ASAS está localizada aproximadamente em 36°S e 20°W. Na região Noroeste da Argentina também ocorre uma alta pressão. Sobre o Paraguai e a região Norte da Argentina é encontrado um centro de baixa pressão continental. Estes centros de pressão sobre o continente são observados também no campo composto de pressão reduzida ao nível médio do mar para o caso do mês e outubro (Figura 31d). No Sul do oceano Pacífico há um centro de baixa pressão centrado em 60°S e 79°W.

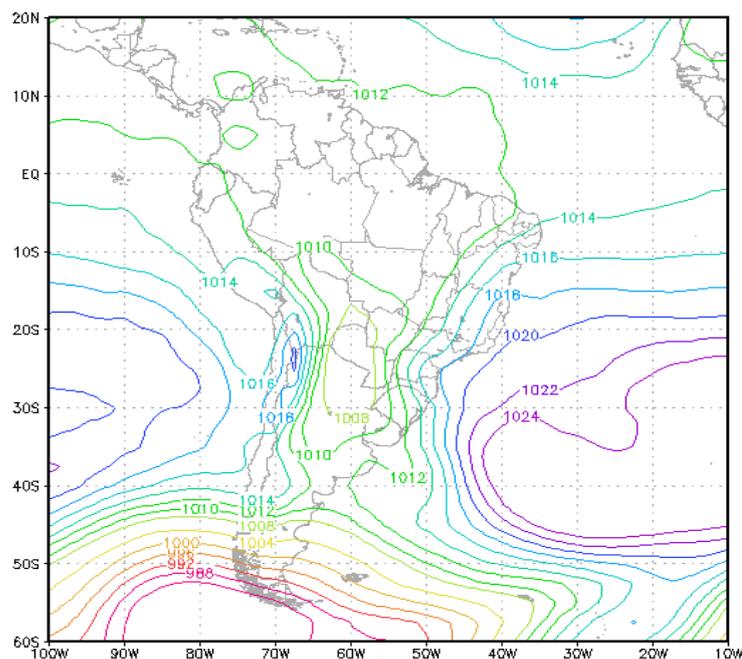


Figura 51 – Campo de pressão reduzida ao nível médio do mar do dia 04/10/2007.

O campo de linhas de corrente no nível de 925hPa na figura 52a, mostra a circulação da ASAS localizada em 35°S e 12°W. Na região Nordeste do Brasil a predominância das linhas de corrente é de sudeste, na região Sudeste as linhas são de leste e no Sul do Brasil predominaram as linhas de corrente de nordeste, influenciadas pela ASAS. Os ventos na região Sul do Chile e Argentina estão de noroeste devido a circulação do ciclone situado sobre o Sul do oceano Pacífico em 60°S e 80°W. No Norte da Argentina há uma circulação indicando convergência nesta região. A ASPS está posicionada em torno de 23°S e 95°W.

A figura 52b, campo de linhas de corrente no nível de 850hPa, exhibe a ASAS localizada em 36°S e 13°W. Esta circulação implica na atuação das linhas de corrente sobre o Brasil, com ventos de nordeste sobre a região Sudeste, ventos de leste sobre as regiões Norte e Nordeste e ventos de noroeste sobre as regiões da Bolívia, Paraguai, Nordeste da Argentina, Uruguai e Sul do Brasil. A configuração dos ventos de noroeste sobre as regiões da Bolívia, Paraguai, Nordeste da Argentina, Uruguai e Sul do Brasil, também é encontrada no campo composto de linhas de corrente do caso de outubro no nível de 850hPa (Figura 34d). Sobre a região Sul do Chile e da Argentina os ventos estão de noroeste acompanhando a circulação do vórtice ciclônico que esta sobre o Sul do Pacífico.

O escoamento no nível de 850hPa apresenta as linhas de corrente com uma configuração das regiões Nordeste, Norte e Centro-Oeste do Brasil para a região Sul do Brasil. Observando que, segundo os dados do Grupo de Queimadas do CPTEC/INPE, no mês de outubro foram constatados nas regiões Nordeste, Norte, Centro-Oeste e Sul do Brasil 13958, 7374, 6753 e 250 focos de queimadas, respectivamente.

No nível de 700hPa, figura 52c, o campo de linhas de corrente apresenta uma circulação ciclônica, centrada em torno de 60°S e 81°W sobre o oceano Pacífico Sul, onde esta circulação abrange o Chile e a Argentina. A ASAS esta posicionada em 32°S e 12°W. Uma circulação ciclônica é encontrada sobre o oceano Atlântico em 30°S e 30°W. Sobre a região Sul do Brasil e o Paraguai, há uma circulação anticiclônica, onde as linhas de corrente acompanham a circulação incidindo na região Norte com ventos de leste, fazendo a curvatura sobre a região da Amazônia e Peru e escoando pelo Uruguai com ventos de noroeste.

O escoamento do anticiclone posicionado sobre a região sul do Brasil no nível de 700hPa também indica o transporte de material particulado para a região sul, além de influenciar com movimento de subsidência neste nível.

O campo de linhas de corrente no nível de 500hPa, figura 52d, mostra os ventos sobre a metade Sul do Chile e Argentina com sentido de noroeste acompanhando a circulação da onda associada ao ciclone localizado em 60°S e 81°W. Uma circulação anticiclônica esta centrada sobre o Paraguai, abrangendo as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, além do Peru, Bolívia, Norte do Chile e da Argentina e o Uruguai. Sobre o oceano Atlântico há uma vórtice ciclônico em torno de 32°S e 28°W.

A figura 52e, campo de linhas de corrente no nível de 200hPa, apresenta a AB posicionada sobre o Acre. Sobre a região Nordeste do Brasil há um cavado que se estende desde 5°N e 45°W até 30°S e 30°W sobre o oceano Atlântico. O Jato Subtropical apresenta uma configuração transversal, com sentido de noroeste para sudeste, sobre a região Central da Argentina e Chile. Semelhantemente os sistemas da AB, cavado sobre o Nordeste do Brasil e Jato Subtropical, são observados no campo composto de linhas de corrente do caso de outubro no nível de 200hPa (Figura 37d)

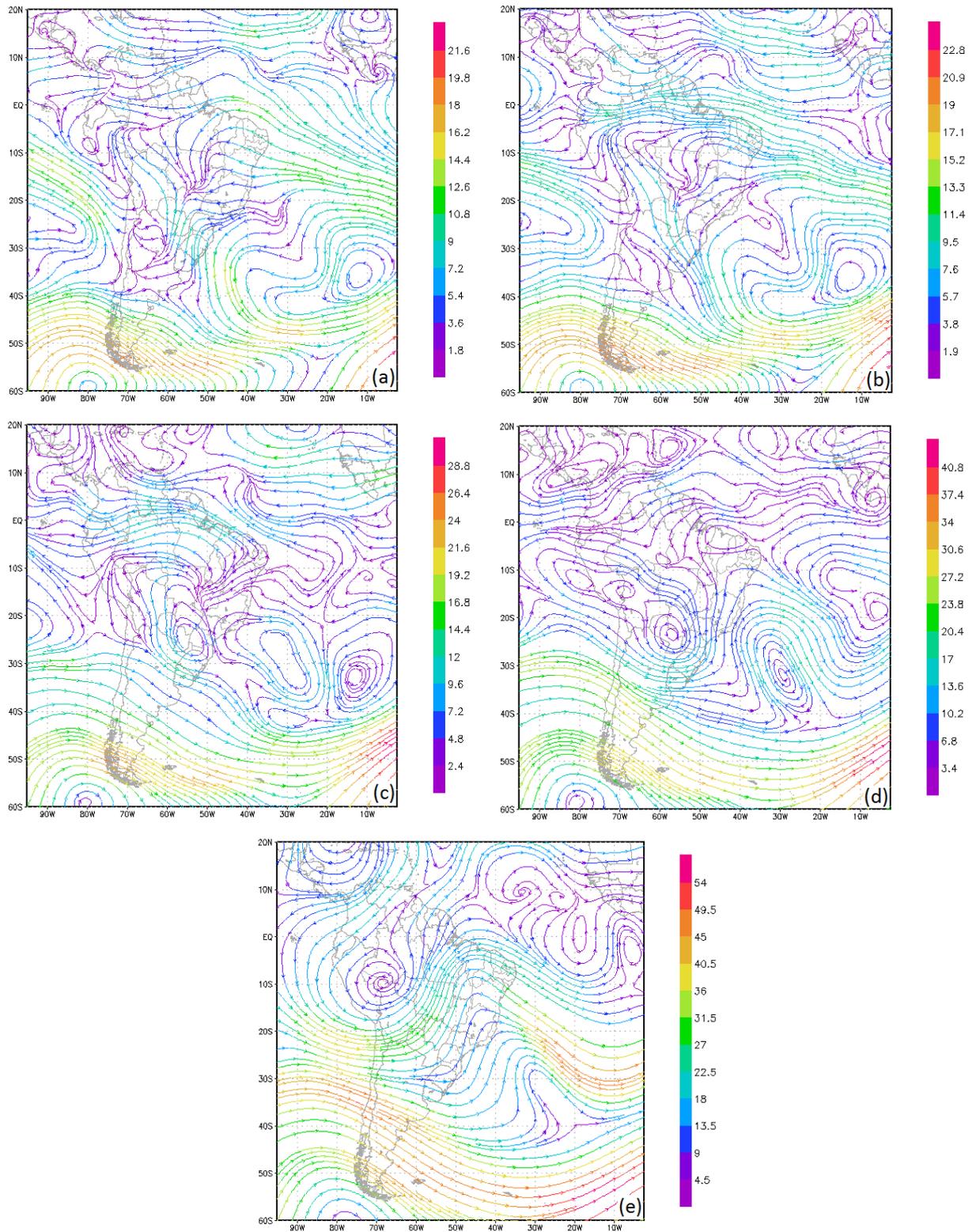


Figura 52 – Campos de linhas de corrente para o dia 04/10/2007 nos níveis (925hPa, 850hPa, 700hPa, 500hPa, 200hPa) respectivamente (a, b, c, d, e).

O campo de ω no nível de 925hPa observado na figura 53, apresenta núcleos de ω com sinal positivo sobre as regiões Norte do Chile e Sudeste da Argentina. Sobre as regiões do Peru, Nordeste do Brasil, Centro da Argentina e Sudoeste do Chile são encontrados núcleos de sinais negativos de ω .

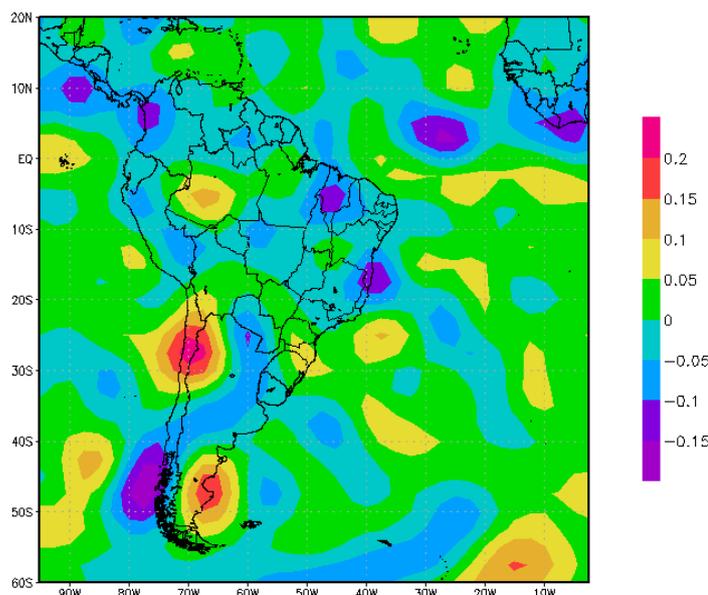


Figura 53 – Campo de ω para o dia 04/10/2007 no nível de 925hPa.

O campo de advecção de temperatura do ar no nível de 925hPa na figura 54a, apresenta valores de advecção positiva sobre a região Nordeste da Argentina, Sul do Paraguai, Leste do Rio Grande do Sul, Uruguai e Noroeste do Chile. As regiões Nordeste e Sudeste do Brasil e Sul da Argentina apresentam advecções de temperatura negativa. O campo de advecção de umidade relativa apresenta valores positivos de advecção sobre a região Nordeste do Brasil e Sul da Argentina. A região Nordeste da Argentina e Leste do Rio Grande do Sul apresentaram valores de advecção de umidade negativo (Figura 54b).

É possível perceber que as regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil apresentam céu com baixa nebulosidade, devido à alta pós-frontal localizada na costa Leste do Brasil, favorecendo o transporte de aerossóis.

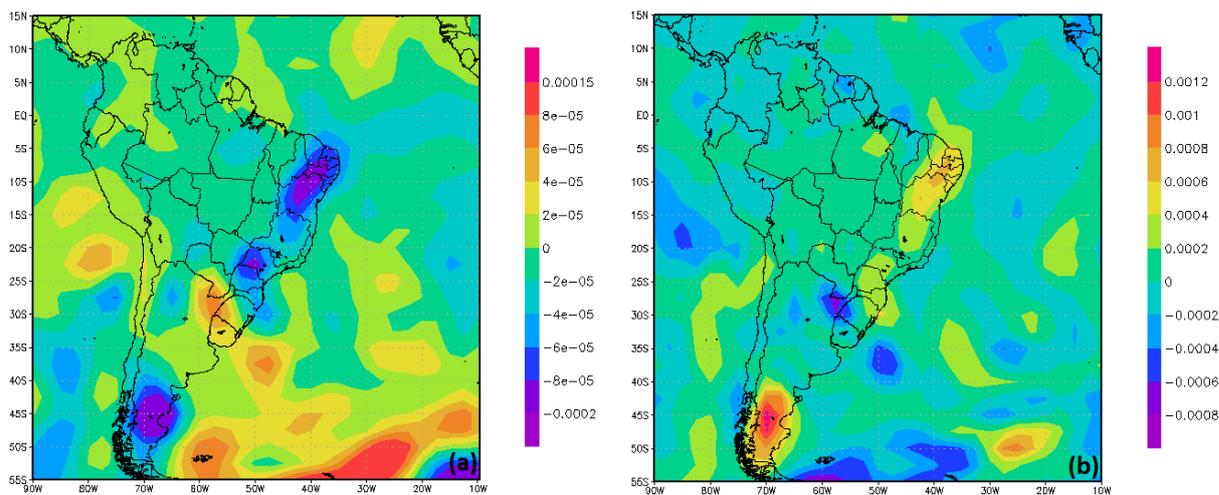


Figura 54 – Campos de advecção de temperatura do ar (a) e advecção de umidade relativa (b) para o dia 04/10/2007 no nível de 925hPa.

4.3 Modelos conceituais

Os modelos conceituais foram elaborados baseados na análise dos campos compostos gerados para os casos de agosto, setembro e outubro nos níveis baixos, médios e altos da atmosfera.

Desenvolvidos para a baixa e alta troposfera os modelos conceituais apresentam os sistemas mais persistentes encontrados nas análises dos compostos.

Os modelos conceituais para o caso de agosto são apresentados pela figura 55, onde na baixa troposfera, figura 55a, os sistemas que se caracterizaram no âmbito de altos valores de EOA foram a ASAS centrada em torno de 25°S e 20°W, o escoamento das linhas de corrente no nível de 850hPa sobre as regiões do Amazonas, Bolívia, Paraguai e Rio Grande do Sul, uma alta pressão sobre o Norte do Chile e um cavado sobre o oceano Pacífico Sul. Estes sistemas também foram encontrados no estudo de caso do mês de agosto (item 4.2.1).

Na alta troposfera, figura 55b, os sistemas identificados foram a alta da Bolívia posicionada aproximadamente sobre o Amazonas, um cavado sobre a região Nordeste do Brasil e o jato subtropical sobre o Rio Grande do Sul e região Norte do Chile e Argentina.

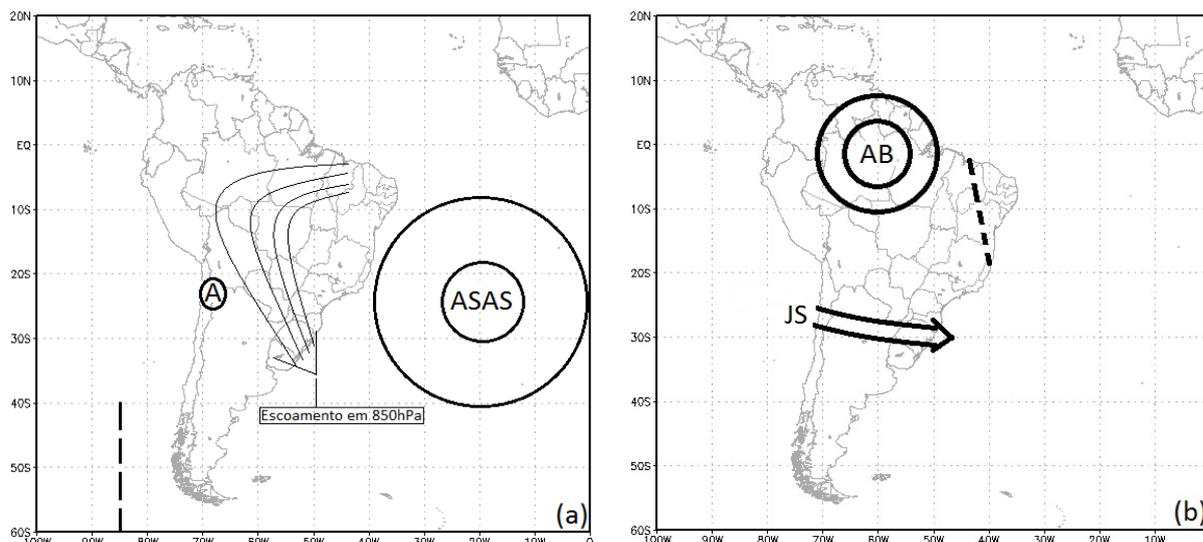


Figura 55 – Modelo conceitual para o caso do mês de agosto na baixa troposfera (a) e alta troposfera (b).

Para o caso do mês de setembro, o modelo conceitual na baixa troposfera, figura 56a, encontrou os sistemas semipermanentes da ASPS em 30°S e 86°W a também a ASAS em 30°S e 20°W, uma circulação anticiclônica no Noroeste da Argentina e uma ciclônica sobre o Noroeste do Mato Grosso, o escoamento no nível de 850hPa sobre as regiões da Bahia, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Paraguai e Rio Grande do Sul e um cavado sobre o oceano Atlântico em 48°W se estendendo de 45°S até 35°S. A posição e abrangência da ASAS, assim como o escoamento em 850hPa, foram semelhantemente observados no estudo de caso para o mês de setembro (item 4.2.2).

A figura 56b apresenta o modelo conceitual da alta troposfera do mês de setembro, onde os sistemas observados foram o jato subtropical com configuração zonal localizado em torno de 30°S sobre o oceano Pacífico passando pelo Chile, Argentina e Rio Grande do Sul e a alta da Bolívia centrada sobre Rondônia.

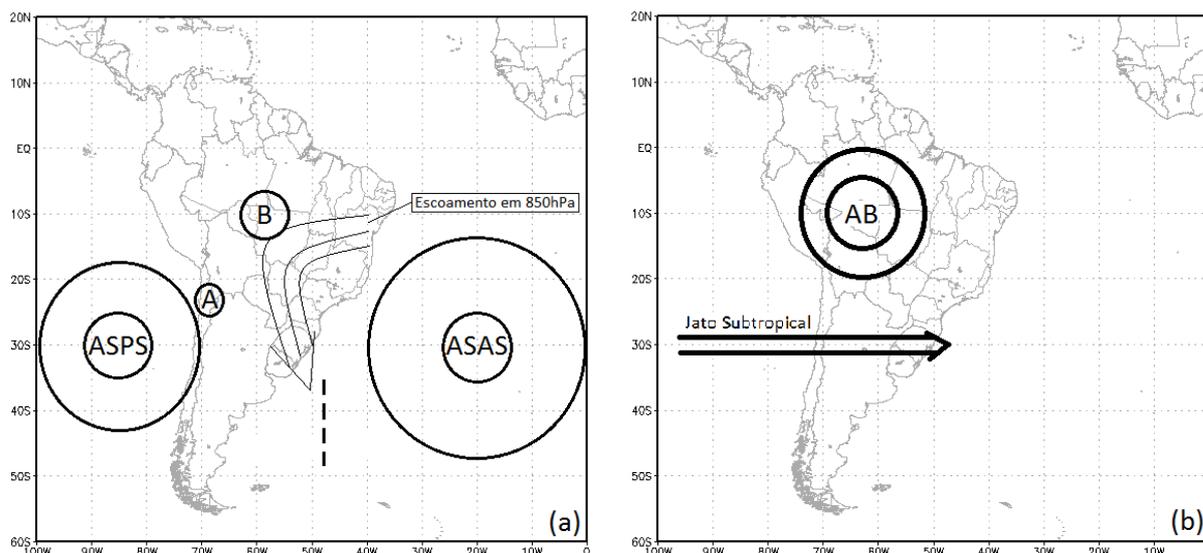


Figura 56 – Modelo conceitual para o caso do mês de setembro na baixa troposfera (a) e alta troposfera (b).

A figura 57a, modelo conceitual do caso de outubro para a baixa troposfera, exhibe os seguintes sistemas meteorológicos: um vórtice ciclônico localizado sobre o oceano Pacífico em 45°S e 84°W, uma circulação de alta pressão sobre o Nordeste do Chile, uma circulação ciclônica sobre o Paraguai, o escoamento no nível de 850hPa sobre as regiões Nordeste, Norte Centro-Oeste e Sul do Brasil, o jato de baixos níveis sobre a região do Paraguai e a ASAS com seu centro em 27°S e 15°W. Os sistemas de pressão sobre o continente e o escoamento no nível de 850hPa podem ser observados no estudo de caso do mês de outubro (item 4.2.3).

Para a alta troposfera, figura 57b, o modelo conceitual indicou a alta da Bolívia localizada sobre a Bolívia, um cavado sobre a região Nordeste do Brasil e outro cavado sobre o Sul do oceano Pacífico e o jato subtropical com configuração transversal partindo do oceano Pacífico em 28°S e 95°W passando pelo Chile, Argentina e Uruguai. Estes sistemas também foram visualizados, de forma muito semelhante, no estudo de caso feito para o mês de outubro (item 4.2.3).

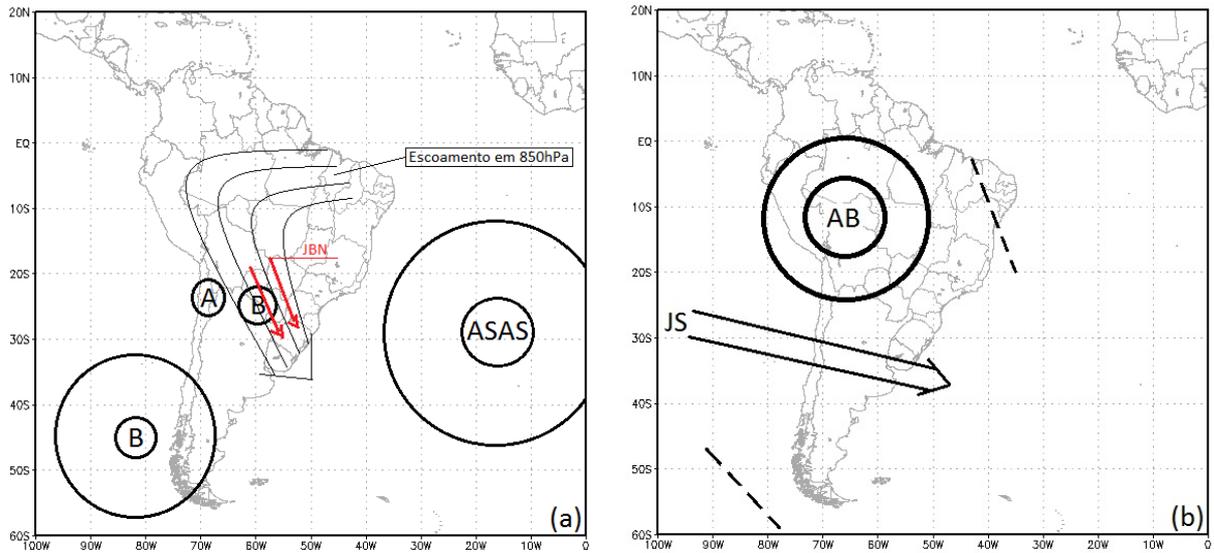


Figura 57 – Modelo conceitual para o caso do mês de outubro na baixa troposfera (a) e alta troposfera (b).

Conclusões

Este trabalho tem por objetivo principal identificar os sistemas sinóticos atuantes durante casos com ocorrência de altos valores de Espessura Ótica dos Aerossóis no Rio Grande do Sul, a partir de casos de elevada EOA já identificados sobre a região Sul do Brasil nos meses de agosto, setembro e outubro entre os anos de 2002 e 2011.

Analisando os dias com alta espessura ótica no mês de agosto através dos campos compostos gerados, foi observado que a ASAS interage com o continente através dos ventos anexos da sua circulação, provavelmente transportando aerossóis da região Norte para a região Sul da AS. A área central da AS apresenta uma configuração com potencial para transporte de aerossóis da região da Bolívia para a região Sul do Brasil, devido a um centro de baixa pressão seguido pela convergência nas linhas de corrente em 925hPa na região da Bolívia, indicando um movimento ascendente do ar, associado ao campo composto de linhas de corrente em 700hPa com sentido para a região Sul do Brasil. O campo composto de advecção de umidade relativa do ar indica baixos valores de umidade no nível de 925hPa sobre a região Central da AS que abrangem a Bolívia, corroborando para a inibição da formação de precipitação, fortalecendo esta possível configuração de transporte de aerossóis.

No caso do mês de setembro a depressão que abrange a maior parte do Brasil é marcada por uma convergência no composto de linhas de corrente em 925hPa sobre a região do estado do Mato Grosso. Nesta mesma região o composto de linhas de corrente no nível de 700hPa acompanha uma circulação anticiclônica com os ventos sobre o estado do Mato Grosso com sentido de leste fazendo a

curvatura e atingindo o Sul do Brasil com ventos de noroeste. Esta configuração possivelmente apresenta potencial para transportar aerossóis da região Centro-Oeste do Brasil, além da Bolívia e Paraguai, para a região Sul do Brasil. Ainda, pelo composto de advecção de umidade relativa do ar, sobre a região do Mato Grosso, os valores estão indicando advecção negativa, inibindo a formação de nuvens de chuva. Os campos compostos de ômega mostram valores neutros sobre esta região, não indicando uma convecção profunda.

Para o mês de outubro a circulação da ASAS atinge a região costeira do Brasil com ventos de leste e nordeste influenciando as correntes em superfície nesta região, além dos aspectos mencionados anteriormente que esse sistema pode aplicar em relação a EOA. Os centros de baixa pressão identificados pelo composto de pressão em superfície, localizados no Norte da AS e sobre a região Central do Brasil, mostram uma circulação de convergência sobre a Colômbia e o Norte da Argentina respectivamente, sendo que, para o Norte da AS as linhas de corrente em 700hPa indicam ventos de nordeste e no Norte da Argentina ventos de noroeste, possivelmente transportando material particulado nestes sentidos. De acordo com os compostos de advecção de umidade relativa do ar e ômega, sobre a região da Colômbia os valores de advecção de umidade estão fracos, mas o sinal de ômega indica movimento ascendente, colaborando para um movimento convectivo capaz de formar precipitação e, por conseguinte, deposição de aerossóis diminuindo as chances para o transporte desta região. Em contra partida, sobre a região Norte da Argentina o índice de advecção de umidade é negativo e o sinal de ômega indica movimento descendente do ar, inibindo a formação de precipitação.

Em relação à ocorrência do ENOS e dos dias da amostra de alto valor da EOA, notou-se que houve mais episódios de ENOS (fase positiva ou negativa) do que de casos neutros, sendo (84%) dos casos tendo ocorrido com ENOS. Os eventos La Niña prevaleceram com (44%) dos casos, seguido pelo El Niño com (40%) dos casos e por fim os casos neutros representando (16%). É possível que a similaridade da quantidade de ocorrência de El Niño e La Niña seja devido à proximidade de algumas localidades influenciadas por anomalias negativas de precipitação destes eventos em regiões diversas, como por exemplo, Nordeste do Brasil (El Niño) e extremo leste da região Norte do Brasil (La Niña) e/ou extremo

oeste da região Nordeste da Bolívia (El Niño) e oeste da região Norte do Brasil (La Niña), pois ao diminuírem o regime de precipitação colaboram para a ocorrência de queimadas interferindo na EOA. Durante os meses de ocorrência do evento El Niño, foram identificados 201814 focos de queimadas para as regiões Norte, Centro-Oeste e Sul do Brasil, e para as mesmas regiões durante o evento La Niña ocorreram 269389 focos de queimadas. A anomalia de focos de queimadas para o trimestre de agosto, setembro e outubro, na ocorrência de El Niño, foi positiva para o trimestre total do período de estudo (2002-2011), nas regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil e foi negativa na região Sul do Brasil. Já a anomalia de focos de queimadas, para o trimestre de agosto, setembro e outubro, durante evento de La Niña, para as regiões Sul, Centro-Oeste e Norte do Brasil, foi positiva nos meses de agosto e setembro e foi negativa no mês de outubro.

Já para o ENOS Modoki, a relação com os casos selecionados de altos valores de EOA, houve predominância em relação à ocorrência de casos neutros e ENOS Modoki (fase positiva ou negativa), com (72%) para casos neutros e (28%) dos casos para ENOS Modoki, sendo (19%) El Niño Modoki e (9%) La Niña Modoki. Possivelmente a ocorrência de muitos casos de altos valores de EOA em casos neutros de ENOS Modoki possa ser devido à coincidência com casos de ENOS clássico, pois dos 31 casos de ENOS Modoki neutro 24 coincidiram com o ENOS clássico, representando aproximadamente (77%).

Nos estudos de casos apresentados concluiu-se que nos níveis de 850hPa e 700hPa, o escoamento das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil se manteve persistente em direção a região Sul do Brasil. O sistema de alta pressão próximo a costa leste do Brasil implicou no escoamento para a região Sul, além de influenciar inibindo a entrada de sistemas, ocasionando em céu claro com Tempo seco nas regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil, facilitando o transporte de aerossóis. Em todos os casos, foi observado grande quantidade de focos de queimadas nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, em comparação com a região Sul, estando estas dispostas no escoamento em direção à região Sul.

Dos sistemas apresentados nos modelos conceituais, conclui-se que, o escoamento nos níveis de 850hPa e 700hPa, o anticiclone próximo a costa leste do Brasil e a baixa pressão continental são os que mais apresentam potencial para a

advecção de aerossóis para a região de estudo. Este mecanismo atua com o anticiclone mantendo o Tempo seco e auxiliando no escoamento sobre as regiões Nordeste, Norte e Centro-Oeste do Brasil, nos níveis de 850hPa e 700hPa o trajeto do escoamento passa sobre as regiões Nordeste, Norte e Centro-Oeste (que apresentaram valores elevados de focos de queimadas) para a região Sul.

Como sugestões de trabalhos futuros ressaltam-se:

- Estudar em maiores detalhes a relação do ENOS e Modoki com os altos valores de EOA na região Sul do Brasil;
- Utilizar Análise de Componentes Principais para identificação e determinação dos principais sistemas sinóticos atuantes no período;
- Analisar o regime de precipitação de regiões da AS associando aos altos valores de EOA no Sul do Brasil.

Referências

AHRENS, C. D. **Essentials of Meteorology: An Invitation to the Atmosphere**. Toledo: Brooks Cole, versão digital, 3ªed, 2000, 463p.

ALMEIDA, A. M. E. **Aerossol carbonoso: Contribuição para sua caracterização**. 2009, 111p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro.

ANDRADE, K. M.; CAVALCANTI, I. F. A. Climatologia dos sistemas frontais e padrões de comportamento para o verão na América do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13, 2004, Fortaleza-CE. **Anais do....** Fortaleza: SBMet, 2004.

ARTAXO, P.; OLIVEIRA, P. H.; LARA, L. L.; PAULIQUEVIS, T. M.; RIZZO, L. V.; JUNIOR, C. P.; PAIXÃO, M. A.; LONGO, K. M.; FREITAS, S.; CORREIA, A. L. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3a, p.168-22, 2006.

ASHOK, K; BEHERA, S. K.; RAO, S. A.; WENG, H.; YAMAGATA, T. El Niño Modoki and its possible teleconnection. **Journal of Geophysical Research**, v.112, C11007, 2007.

BASTOS, C.; FERREIRA, N. Análise climatológica da Alta Subtropical de Atlântico Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000, Rio de Janeiro. **Anais do....** Rio de Janeiro: SBMet, 2000. P.612-619.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul. Aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110p.

BJERKNES, J.; SOLBERG, H. Life cycle of cyclones and the polar front theory of atmospheric circulation. **Geofysiske Publikasjoner**, v.3, n.1, p.3-18, 1922.

BONNER, W. D. Climatology of the low level jet. **Monthly weather Review**, v. 98, n. 12, p. 833-850, 1968.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C. Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p.95-109.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, 463p.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Frentes frias sobre o Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p.135-147.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Climatology of South American cold fronts. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 7, 2003, Wellington, New Zealand. Proceedings... Wellington: **American Meteorological Society**, j6.9, 2003.

CHEN, T. C.; WENG, S. P.; SCHUBERT, S. Maintenance of austral summertime upper-tropospheric circulation over tropical South America: The Bolivian high - nordeste low sistem. **Journal Of The Atmospheric Sciences**, v.56, p.2081-2100, 1999.

CITEAU, J.; BERGÉS, J. C.; DEMARCQ, H.; MAHÉ, G. Position de la Zone de Convergence a 28 N et température de surface de l'ocean. **Veille Climatique Satellitaire**, v.21, p.3-7, 1988.

COELHO, C. A. S.; AMBRIZZI, T. Determinação dos padrões de precipitação sobre a América do Sul em associação à TSM da bacia do Pacífico Equatorial durante períodos extremos de ENOS através da utilização de técnicas estatísticas multivariadas. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11, 2000, Rio de Janeiro. Anais do **Congresso Brasileiro de Meteorologia** São Paulo: SBMet, 2000. P.488-497.

CPTEC/INPE – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/estatisticas_estados.php>. Monitoramento de Queimadas e Incêndios. Acesso em 28 de jun. de 2015.

EICHHOLZ, C. W; **Características físicas dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que afetaram o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008**. 2011, 102p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia – PPGMet, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

FERREIRA, N. F.; RAMÍREZ, M. V.; GAN, M. A. Vórtices ciclônicos de altos níveis que atuam na vizinhança do nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p.43-60.

FIGUEIROA, S. N.; SATYAMURTY, P.; DIAS, P. L. S. Simulations of the summer circulation over the South American region with the Eta Coordinate Model. **Journal Of The Atmospheric Sciences**, v.52, n.10, p.1573-1584, 1995.

FINLAYSON-PITTS, B. J.; PITTS, J. N. **Chemistry of the upper and lower atmosphere: theory, experiments and applications**. San Diego: Academic Press, 1999. 957p.

FREITAS, S. R. **Modelagem numérica do transporte e das emissões de gases traços e aerossóis de queimadas no cerrado e floresta tropical de América do Sul**. 1999, 205p. Tese (Doutorado em Física Aplicada) - Instituto de Física - Departamento de Física Aplicada, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FREITAS, S. R.; LONGO, M. K.; SILVA DIAS, F. A. M.; SILVA DIAS, L. P. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. **Estudos avançados**, v.19, n. 53, p.167-185, 2005.

FREITAS, S. R.; LONGO, K.; SILVA DIAS, A. M.; SILVA DIAS, L. P.; CHATFIELD, R.; FAZENDA, A.; RODRIGUES, F. L. The coupled aerosol end tracer transport model to Brazilian developments on the regional atmospheric modeling system: Validation using direct and remote sensing observations. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND ACEONAGRAPHY. 8. **Anais do ...** Foz do Iguaçu, 2006. p.101-107.

GAN, M. A. **Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e Leste do Brasil**. 1982, 126p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos.

GRIMM, A. M. Clima da região Sul do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p.259-275.

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T. Sudeste do Brasil: uma região de transição no impacto de eventos extremos da Oscilação Sul. Parte II: La Niña. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, 1998, Brasília. **Anais do....** Brasília: SBMet, 1998.

GRIMM, A. M.; SANT'ANNA, C. L. S. Influência de fases extremas da Oscilação Sul sobre a intensidade e frequência das chuvas no sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000, Rio de Janeiro. **Anais do....** Rio de Janeiro: SBMet, 2000. P.1101-1107.

HASTENRATH, S.; HELLER, E. L. Dynamics of climatic hazards in north-east Brazil. **Quarterly Journal of The Royal Meteorological Society**, v.110, p.411-425, 1977.

HINDS, W. C. **Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles**. New York: John Wiley & Sons, 1982. 465p.

HOUZE, R. A. **Mesoscale convective systems. In Cloud dynamics.** Academic Press, Inc, 1993. v.53, p.334-404.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Censo 2010. Acesso em 28 de nov. de 2013.

JONES, C.; HOREL, J. D. A circulação da Alta da Bolívia e a atividade convectiva sobre a América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.5, n.1, p.379-387, 1990.

KARAM, H. A. **Estudo do Jato de Baixos Níveis de Iperó e das implicações no transporte de poluentes no estado de São Paulo.** 2002, 213p. Tese (Doutorado em Ciências Atmosféricas) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

KAUFMAN, Y. J.; TANRÉ, D.; BOUCHER, O. A satellite view of aerosols in the climate system. **Nature**, v.419, p.215-223, 2002.

KODAMA, Y. Large-scale common features of Sub-tropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: characteristics of Subtropical Frontal Zones. **Journal of Meteorological Society of Japan**, v.70, n.4, p.813-835, 1992.

KOUSKY, V. E.; CAVALCANTI, I. F. A. Eventos Oscilação Sul - El Niño: Características, evolução e anomalias de precipitação. **Ciência e Cultura**, v. 36, n.11, p.1888-1899, 1984.

LANE; TIMOTHY E.; PINDER; ROBERT W.; SHRIVASTAVA; MANISH; ROBINSON; ALLEN L.; PANDIS; SPYROS, N. Source contributions to primary organic aerosol: Comparison of the results of a source resolved model and the chemical mass balance approach. **Atmospheric Environment**, v.41, p.3758-3776, 2007.

LEMOS, C. F.; CALBETE, N. O. **Sistemas frontais que atuaram no litoral de 1987-1995.** In: Climanálise Especial - Edição comemorativa de 10 anos. MCT/INPE/CPTEC. Cap.14, 1996.

LENTERS, J. D.; COOK, K. H. On the Origin of the Bolivian High and Related Circulation Features of the South American Climate. **Journal Of The Atmospheric Sciences**, v.54, p.656-677, 1997.

LENTERS, J. D.; COOK, K. H. Summertime Precipitation Variability over South America: Role of the Large-Scale Circulation. **Monthly Weather Review**, v.127, p.409-431, 1999.

LOURENÇO, M. C. M.; FERREIRA, N. J.; GAN, M. A. **Vórtices ciclônicos em altos níveis de origem subtropical.** In: Climanálise Especial – Edição comemorativa de 10 anos. MCT/INPE/CPTEC. Cap.20, 1996.

MACHADO, L. A. T.; ROSSOW, W. B.; GUEDES, R. L.; WALKER, A. W. Life cycle variations of mesoscale convective systems over the Americas. **Monthly Weather Review**, v.126, p.1630-1654, 1998.

MACHEL, H.; KAPALA, A.; FLOHN, H. Behaviour of the Centres of Action above the Atlantic since 1881. Part I: Characteristics of seasonal and interannual variability. **International Journal of Climatology**, v.18, p.1-22, 1998.

MADDOX, R. A. An objective technique for separating macroscale and mesoscale features in meteorological data. **Monthly Weather Review**, v.108, p.1108-1121, 1980.

MADDOX, R. A. Large-scale meteorological conditions associated with midlatitude, mesoscale convective complexes. **Monthly Weather Review**, v.111, n.7, p.1475-1493, 1983.

MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T. SOARES, W. R. Jato de baixos níveis ao longo dos Andes. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p.169-180.

MARENGO, J. A.; SOARES, W. R.; SAULO, C.; NICOLINI, M. 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, n.12, p.2261-2280, 2004.

MELO, A. B. C.; NOBRE, P.; MELO, M. L. D.; SANTANA, S.C. Estudo climatológico da posição da ZCIT no Atlântico equatorial e sua influência sobre o nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Anais do....** Rio de Janeiro: SBMet, 2000. P.1142-1147.

MOLION, L.C.B. ENOS e o Clima no Brasil. **Ciência Hoje**, v.10, n.58, p.23-29, 1989.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O.; OLIVEIRA, C. P. Variabilidade da Circulação da Grande Escala Sobre o Atlântico Subtropical. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13, 2004, Fortaleza. **Anais do....** Fortaleza: SBMet, 2004.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

NOBRE, C. A.; MOLION, L. C. B. The climatology of droughts and drought prediction. In: PARRY, M. L.; CARTER, T. R.; KONIJN, N. T. (Eds.). The impact of climate variations on agriculture . v. 2: Assessments in semi-Arid Regions. Dordrecht, The Netherlands: **Kluwer Academic Publishers**, p.305-323, 1988.

NOGUÉS-PAEGLE, J.; MECHOSO, R. C.; FU, R.; BERBERY, E. H.; CHAO, W. C.; CHEN, T. C.; COOK, K.; DIAZ, A. F.; ENFIELD, D.; FERREIRA, R.; GRIMM, A. M.; KOUSKY, V.; LIEBMANN, B.; MARENGO, J.; MO, K.; NEELIN, J. D.; PAEGLE, J.; ROBERTSON, A. J.; SETH, A.; VERA, C. S.; ZHOU, J. Progress in Pan American clivar research: Understanding the South American monsoon. **Progress In Pan American Climate....**, v.27, n.1, p.1-30, 2002.

OLIVEIRA, A. M., **Estudo do Impacto dos Aerossóis na Espessura Óptica da Atmosfera na Região Sul do Brasil**. 2013, 149p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia – PPGMet, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

OLIVEIRA, M. G. L.; JUNIOR, R. S. S.; Andrade, M. F.; FREITAS, E. D.; LANDULFO, E.; Uehara, S. T. Transporte de material particulado de queimadas para a região metropolitana de São Paulo: um estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14, 2006, Florianópolis-SC. **Anais do....** Florianópolis: SBMET, 2006. 6p.

PAIXÃO, E. B.; GANDU, A.W. Caracterização do vórtice ciclônico de ar superior no nordeste brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000, Rio de Janeiro. **Anais da SBMET**, 2000. p.3422-3428.

PERES, L. V.; KALL, E.; PINHEIRO, D. K.; SCHUCH, N. J.; LEME, N. M. P. Padrão sinótico atuante durante o evento de pico na espessura óptica de aerossóis sobre o Observatório Espacial do Sul no dia 6 de setembro de 2007. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17, 2011, Guarapari – ES. **Anais do....** Guarapari, 2011. 5p.

PINTO, L. B. **Estudo de um sistema convectivo de mesoescala (SCM) observado nos dias 19 e 20/02/2003 sobre o rio grande do sul**. 2006, 69p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia – PPGMet, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

POWER, H. C. The geography and climatologie of aerosol. **Progress in Physical Geography**, v.27, n.4, p.502-547, 2003.

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

RECUERO, F.S. **Estudo do Transporte das Partículas de Aerossol de Queimada via Sensoriamento Remoto**. 2003, 136p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Departamento de Ciências Atmosféricas – DCA, Universidade de São Paulo, São Paulo.

RECUERO, F. S.; LONGO, K. M.; FREITAS, S. R. Estudo do Transporte das Partículas de Aerossol de Queimada Via Sensoriamento Remoto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13, 2004, Fortaleza. **Anais do....** Fortaleza, 2004.

RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C.; **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos, SP. Parêntese, 2007. 427p.

SALIO, P.; NICOLINI, M.; ZIPSER, E. J. Mesoscale Convective Systems over Southeastern South America and Their Relationship with the South American Low-Level Jet. **Monthly Weather Review**, v.135, p.1290-1309, 2007.

SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A.; SILVA DIAS, P. L. South America. In: **Meteorology of the Southern Hemisphere**. Eds. Karoly D. J.; Vicent, D. G. American Meteorological Society, Meteorological Monographs, v. 27, n. 49, p. 119-139, 1998.

SEINFELD, J.; PANDIS, S. **Atmospheric Chemistry and Physics**. Hoboken, New Jersey: 2ed. John Wiley & Sons, Inc., 2006. 1248p.

SEVERO, D. U.; CAMPIGOTTO, A.P.; REFOSCO, J.C. Climatologia dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis que afetam o sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16, 2010, Belém-PA. **Anais do....** Belém, 2010. 16p.

SILVA, A. A. **A espessura óptica dos aerossóis na banda do UV-B**. 2005, 141p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos.

SILVA, G. B. S.; PEREIRA, G.; PRADO, B. R.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; MORAES, E. C. Distribuição espaço-temporal das queimadas no bioma cerrado no período de 1992 a 2007. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO, 9. E SINPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS, 2. 2008, Brasília. **Anais do....** Brasília, 2008. 6p.

STRETEN, N. A. Some characteristics of satellite observed bands of persistent cloudiness over the Southern Hemisphere. **Monthly Weather Review**, v.101, p.486-495, 1973.

TEDESCHI, R. G.; CAVALCANTI, I. F. A. Influência do ENOS Canônico e Modoki na precipitação da América do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16, 2010, Belém-PA. **Anais do....** Belém, 2010. 5p.

UVO, C. B. **A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação na região norte do Nordeste brasileiro**. 1989, 88p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais –INPE, São José dos Campos-SP.

UVO, C. B. **Influence of sea surface temperature on rainfall and runoff in Northeastern South America: analyses and modeling**. 1998, 78p. PhD Thesis, Lund University, Sweden.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Recife: Versão digital, 2ªed, 2006. 463p.

VIRJI, H. A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over south America estimated from cloud winds. **Monthly Weather Review**, v.109, p.599-610, 1981.

WENG, H.; ASHOK, K.; BEHERA, S. K.; RAO, S. A.; YAMAGATA, T. Impacts of recent El Niño Modoki on dry/wet conditions in the Pacific rim during boreal summer. **Climate Dynamics**, v.29, p.113-129, 2007.

YASUNARI, T. Stationary waves in the Southern Hemisphere mid-latitude zone revealed from average brightness charts. **Journal of the Meteorological Society.**, Japan, v.55, p.274-285, 1977.